

ББК 38.76  
Ш64  
УДК 621.644.073

Печатается по решению секции литературы по инженерному оборудованию редакционного совета Стройиздата

Рецензент — канд. техн. наук *А.А. Скворцов*

Редактор — *Е.А. Ларина*

**Ширакс 3.3.**  
**Ш64 Совмещенная прокладка инженерных сетей. — М.: Стройиздат, 1991. — 240 с.: ил. ISBN 5-274-01087-3**

Рассмотрены вопросы развития инженерных сетей, способы их подземного и наземного устройства, возможность применения совмещенной прокладки. Даны основные положения проектирования сетей, их элементов, строительных конструкций при совмещенной прокладке трубопроводов. Приведены гидравлический расчет трубопроводов, а также методика определения нагрузок на строительные конструкции и опоры.

Для инженерно-технических работников проектных и строительных организаций, а также может быть использована студентами вузов.

Ш 3309000000 — 285 50—91  
047 (01) — 91

ISBN 5-274-01087-3

ББК 38.76

© Ширакс 3.3., 1991

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Совершенствование проектирования и строительства трубопроводов различного назначения, повышение надежности их работы представляет важную, еще не полностью разрешенную проблему городского и промышленного строительства.

В настоящей книге рассмотрены главным образом новые технические вопросы и решения, появившиеся перед проектировщиками и строителями сравнительно недавно в связи с переходом к совместной прокладке технологических трубопроводов и электрических кабелей высокого напряжения с теплопроводами и паропроводами при подземном и наземном устройстве коммуникаций. Внедрение совмещенной прокладки инженерных сетей снижает финансовые, материальные и трудовые затраты в строительстве, увеличивает срок службы и повышает надежность в эксплуатации объектов народного хозяйства.

Особое внимание в книге уделено вопросам выбора того или иного способа осуществления совмещенной прокладки сетей, развития опыта проектирования, строительства и эксплуатации сетей, выбору наиболее рациональных конструкций. При освещении этих вопросов широко использован передовой опыт проектных организаций Латвийской ССР, Москвы и Киева.

Автор выражает благодарность инж. О.И. Шапиро за корректировку текста книги и полезные советы, сотрудникам Латгипропрома, ЛО ЛенПСК и РижТЭПа инженерам Р.Я. Крауя, Э.Р. Смилтенису, Я.И. Формальскому, М.К. Эртнеру, Ю.М. Онзулу, Г.Э. Карклину за полезные советы и участие в разработке отдельных тем и рисунков, рассмотренных и приведенных в книге, Латвийскому республиканскому правлению Союза НИО СССР и Э.Д. Карклину за творческий вклад в рассмотрение и внедрение новых прогрессивных технических решений, рецензенту канд. техн. наук А.А. Скворцову за творческий вклад при работе над книгой.

лением, из цветных и черных металлов и различных неметаллических материалов. Заводское изготовление таких труб началось в конце XVIII столетия.

Широкое применение водяного пара в производстве способствовало появлению конденсатопроводов. В условиях отсутствия в те времена систем химической водоочистки и деаэрации питательной воды паровых котлов срок службы котлов, паропроводов, париспользующего оборудования и машин был крайне мал. Сбор и возврат конденсата паровому котлу оказался необходимым и экономически выгодным мероприятием, поскольку оно сокращало расход топлива и воды и удлиняло срок службы парового котла, паропроводов и оборудования.

В первой половине XIX столетия появились сети светильного газа, который использовали для освещения улиц и зданий, а также для приготовления пищи, нагрева воды в жилых зданиях и на производстве.

Создание динамоэлектрических машин в 1832–1870 гг. вызвало необходимость в электропроводах, которые сначала были неизолированными. Потом началось изготовление одножильных и многожильных изолированных проводов и бронированных кабелей.

Провода связи начали появляться после изобретения электромагнитного телеграфа П. Шиллингом в 1832–1835 гг. и С. Морзе в 1837 г., а также телефона — Г. Беллом в 1876 г. Развитие производства голых и изолированных проводов и кабелей связи шло параллельно с производством электропроводов и электрокабелей.

После внедрения теплофикации в энергетическое хозяйство страны широкое развитие получило строительство водяных тепловых сетей. 25 ноября 1924 г. в Ленинграде был введен в строй первый теплотрассовый общий назначения, сооруженный по проекту и под руководством пионеров советской теплофикации Л.Л. Гинтера и В.В. Дмитриева.

Развитию водяных тепловых сетей в дальнейшем способствовала также централизация теплоснабжения потребителей посредством создания районных котельных.

Нефтепроводы и нефтепродуктопроводы появились после создания двигателей внутреннего сгорания Н. Отто в 1867–1876 гг. и моторов-дизелей конструкции Р. Дизеля в 1893–1897 гг. Возник большой спрос на бензин, керосин, дизельное топливо и смазочные материалы. Начались форсированная добыча и переработка нефти. Необходимость транспортирования нефти и различных нефтепродуктов на большие расстояния от места добычи к нефтеперерабатывающим заводам, крупным городам, железнодорожным узлам, речным и морским портам дала мощный импульс развитию трубопроводного транспорта.

Сети природного газа появились в середине XX века после освоения техники глубокого бурения скважин и открытия в стране крупных месторождений газа. Спрос на природный газ резко возрос, когда выяснилось, что он является не только дешевым, высококалорийным и чистым топливом, позволяющим весьма просто осуществить автоматизацию процессов горения в топках котельных и технологических печей, но и представляет собой также сырье для производства полимеров, синте-

## ВВЕДЕНИЕ

Трубопроводное транспортирование материалов, прежде чем получить широкое распространение, имело долгую историю. В далекой древности прообразом современных инженерных сетей являлись водоводы, предназначенные для орошения полей и водоснабжения населенных мест. Рост численности населения, развитие ремесел и мануфактур способствовали появлению уже целых систем водоводов различного назначения: для орошения полей, производства товаров и строительных материалов, осуществления строительства и транспорта, питьевых нужд и т. п. Возникла также необходимость улучшения санитарного состояния населенных мест, в результате чего были созданы канализационные системы в виде закрытых самотечных канализационных каналов. Предполагается, что они появились в четвертом тысячелетии до н. э. Известно, что Афины, Микены, Троя и другие города древнего мира имели уже весьма развитые системы городской канализации. В конце существования Римской империи в Риме была сооружена настолько совершенная система канализации, что некоторые ее участки эксплуатируются еще до сих пор (Клоака Максима и др.).

Водоводы и канализационные сети со временем появились во всех технически развитых странах древнего мира, однако до появления других видов инженерных сетей прошли тысячелетия. Следующими (хронологически) были паропроводы. Водяной пар, конечно, был известен уже древним римлянам и они применяли его в своих банях-термах, но паропроводов значительной протяженности для применения в производстве промышленной продукции или для транспортирования каких-то веществ римляне не знали. Только в конце XVIII в. создание И. Ползуновым и Дж. Ваттом паровых машин, а также общее совершенствование технологии производства с использованием теплоты и давления водяного пара привело к появлению паропроводов. Большое значение в развитии паропроводов и многих последующих видов инженерных сетей имело освоение производства труб, способных работать под дав-

тических волокон, резины, красителей и многих химико-фармацевтических материалов. В настоящее время по всей стране сооружаются газовые сети высокого, среднего и низкого давления, в том числе и для экспорта газа за границу.

Бурное развитие науки и техники в XX веке, появление новых технологий и материалов, особенно в металлургической, химической, нефтехимической, химико-фармацевтической, биологической, целлюлозно-бумажной, деревообрабатывающей, машиностроительной и пищевой отраслях промышленности, а также в строительстве и в производстве строительных материалов привело к невиданному до сих пор массовому сооружению все новых инженерных сетей для транспортирования материалов и осуществления технологических процессов производства:

кислородопроводов для экономической выплавки высококачественных металлов с применением кислородного дутья, а также для резки и сварки металлов;

сетей сжатого воздуха для транспортирования твердых веществ, работы в системе пневмотранспорта, осуществления технологических процессов производства;

кислотопроводов, для транспортирования кислот разной концентрации и разного качества на предприятиях химической, пищевой и химико-фармацевтической промышленности, в целлюлозно-бумажном производстве;

трубопроводов щелочных растворов — известкового молока, каустической соды, едкого натра и калия и др., применяемых в целлюлозно-бумажной, химической и химико-фармацевтической промышленности для производства разных лекарств, реагентов, минеральных удобрений, целлюлозы, бумаги, картонов и др.;

сетей хладагентов (разных рассолов, фреона и других материалов), сооружаемых для охлаждения продуктов на холодильниках, мясо-, рыбо- и молококомбинатах, плодоовощных, консервных предприятиях, пивзаводах, предприятиях химической, химико-фармацевтической, медицинской промышленности, в сооружениях зимнего спорта и др. Сети хладагентов применяют также в качестве спутников-охладителей для ряда транспортируемых по трубопроводам материалов, разлагающихся или портящихся от воздействия теплоты окружающей среды;

сетей горючих и взрывоопасных веществ — эфиров, бензинов, бензолов, мазутов, водорода, аммиака, уксусной кислоты высокой концентрации, метанолов, этанолов и других материалов, используемых на предприятиях по производству резиновых и древесно-стружечных изделий, продукции химической, химико-фармацевтической, медицинской и других отраслей промышленности, а также на автобазах, в аэропортах, котельных, нефтебазах;

сетей растворов солей и реагентов, применяемых в химической, химико-фармацевтической и других отраслях промышленности при изготовлении лекарств, химических реактивов и химикатов; в котельных, ТЭЦ, ГРЭС, АЭС и АТЭЦ как составная часть аппаратуры химической очистки питательной воды котлов и тепловых сетей. Осуществляется перекачка морской воды по сетям для использования ее в целебных це-

лях, выделения из воды разных солей и веществ, а также для опреснения ее и получения воды питьевого качества;

сетей пищевых продуктов — молокопроводов, винопроводов, пиво-проводов, трубопроводов для транспортирования разных фруктово-ягодных соков, минеральных вод и освежающих напитков. Сооружаются рыбопроводы для транспортирования рыбы как на близкие, так и на весьма значительные расстояния из судна на причалы, участки сортировки и обработки, рыбконсервные заводы;

сетей инертных и активных газов, применяемых, как, например, азот, для опорожнения различных трубопроводов и систем, наполненных активными материалами — кислотами, щелочами, различными растворами солей, реагентами, вредными, горючими и взрывоопасными веществами;

сетей для транспортирования твердых веществ — песка, гравия, грунта разного состава, дробленого каменного угля и разных руд, пылевидного топлива, древесной стружки, зерна и других твердых веществ небольших размеров. При этом такое пылевидное топливо, как каменноугольная пыль разных марок, пылевидный торф, древесная стружка, а также разные зерна, семена и другие вещества, требующие сухого состояния, транспортируются по трубопроводам с помощью струи воздуха разного давления, а песок, грунт, мелкогабаритный уголь и руда — с помощью струи воды, в виде водяной пульпы;

транспортных линий с горизонтальными, наклонными и вертикальными участками для перемещения каменных углей, руд, грунтов и других ископаемых в открытых, опрокидываемых контейнерах, движущихся по кольцевой линии от мест добычи к сортировочным и обогатительным предприятиям — потребителям, железнодорожным, шоссеиным и водным транспортным узлам. Горизонтальное и наклонное перемещение контейнеров осуществляется движущимися канатами, а вертикальное — подъемными элеваторами;

сетей пневмопочты с плавными поворотами, подъемами и опусканиями, по которым осуществляют транспортирование с помощью сжатого воздуха небольших контейнеров-ампул с документами, литературой, лекарствами, реагентами и разными другими малогабаритными предметами. Пневмопочта связывает отдельные цеха предприятий, а также различные предприятия и организации, расположенные на определенном расстоянии в одном и том же городе.

Кроме упомянутых инженерных сетей и городских коммуникаций существует еще и целый ряд других. Считается, что в настоящее время общее число разновидностей инженерных сетей достигает 200 единиц.

Эксплуатация многочисленных систем трубопроводного транспорта различного назначения убедительно доказала, что трубопроводные инженерные сети являются дешевым, надежным, быстрым, хорошо герметизированным и управляемым транспортным средством для газообразных и жидких веществ, а также для целого ряда твердых материалов небольших размеров. Это способствует более широкому распространению уже известных и появлению новых, разнотипных инженер-

ных сетей, что, в свою очередь, вызывает необходимость всесторонней разработки экономических и эффективных способов прокладки сетей.

Начиная со времени появления первых сетей для транспортирования материалов, технология их сооружения развивалась в двух направлениях — подземная и наземная прокладка.

Подземную прокладку сетей стали применять при сооружении крытых самотечных трубопроводов для перемещения воды. Расположение сетей под землей хорошо предохраняло транспортируемые воды от атмосферного влияния, загрязнения, испарения и доступа насекомых. Это приобретало особое санитарно-гигиеническое значение при отводе хозяйственно-фекальных и сточных вод.

Примером наземной прокладки сетей могут быть акведуки, которые служили для сооружения длинных самотечных водоводов, проходящих по местности с резко выраженным рельефом. Акведуки совместно с мостами образовали целую отрасль в строительном деле древних времен и выполнялись они на весьма высоком для той эпохи архитектурно-техническом уровне.

При заселении более северных географических районов, с холодными зимами преобладающим направлением стала подземная прокладка, которая давала возможность предохранить сети от замерзания и механических повреждений. Мнение о необходимости и целесообразности прокладки инженерных сетей только подземно в течение многих столетий развивалось и закреплялось во Франции, Англии, Германии, в странах Средней Европы, Скандинавии, России, США (подземная прокладка сетей по традиции зачастую преобладает в этих странах и в настоящее время). Предпочтение, отдаваемое подземной прокладке сетей, укрепилось в XVIII веке с развитием производства металлических труб и паровых насосов, дающих возможность сооружения трубопроводных сетей, способных работать под давлением.

Важным этапом в развитии способов прокладки инженерных сетей считается появление в XIX веке трубопроводов, покрытых теплоизоляционным слоем — паропроводов, конденсатопроводов и водяных тепловых сетей. Нанесение теплоизоляционного слоя, предохраняющего от замерзания трубопроводы с непрерывным движением рабочей среды, дало возможность применить наземную прокладку многих инженерных сетей в районах с холодными зимами, где ранее эти сети прокладывались только подземно.

Следующим шагом в развитии способов прокладки инженерных сетей явилось освоение техники попутного нагревания или охлаждения трубопроводов. Трубопроводы со спутником-нагревателем дают возможность транспортировать по трубам материалы, которые должны сохранять определенную положительную температуру (например, мазут), а также такие, которые должны быть гарантированно защищены от замерзания (например, воду). Трубопровод спутника-нагревателя размещается под нагреваемым трубопроводом, чтобы теплота, выделяемая спутником-нагревателем, поднимающаяся вверх, наиболее эффективно использовалась нагреваемым трубопроводом. Обогрев транспортиру-

емого материала возможно также осуществить путем использования электричества. В настоящее время в стране и за рубежом разработаны различные типы нагревателей и греющих систем. Существуют системы прямого обогрева, при которых ток пропускается непосредственно через обогреваемый трубопровод, и системы косвенного обогрева, при которых трубопровод нагревается, получая теплоту от электронагревателя-спутника, проложенного параллельно обогреваемому трубопроводу или спирально намотанного на этот трубопровод.

Анализируя пройденные этапы развития инженерных сетей и способов их прокладки, изучая практический опыт, можно сделать вывод, что в большинстве случаев наземная прокладка сетей имеет определенные преимущества технического и экономического характера перед подземной прокладкой (подробнее эти вопросы будут рассмотрены в следующих главах). Следует, однако, заметить, что в настоящее время наземную прокладку сетей применяют относительно редко. Одной из причин является недостаточное совершенство имеющихся строительных инструкций и разработанных современных архитектурных форм наземных эстакад. Представляется очевидным, что если в древности необходимость решения аналогичных задач привела к поиску и созданию эстетически выразительных форм наземных эстакад, то и в наше время, когда для этого имеются гораздо более обширные возможности, настоящая задача будет решена. Второй причиной является традиционно сложившееся за многие столетия мнение о необходимости и целесообразности прокладки инженерных сетей подземно. Подробная всесторонняя разработка способов наземной прокладки сетей, широкое освещение имеющегося в этой области опыта дадут определенные результаты в рестройке сложившихся представлений.



## Глава 1. ИНЖЕНЕРНЫЕ ТРУБОПРОВОДНЫЕ СЕТИ И ИХ ПРОКЛАДКА

### 1.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ

**Общие сведения.** Трубопроводное транспортирование материалов в большинстве случаев является наиболее быстрым и надежным. Оно не зависит от наличия, состояния и материально-технического обеспечения транспортных средств (кроме стационарных насосов или компрессоров), метеорологических условий, состояния дорог и других обстоятельств, влияющих на работу автомобильного, судового и воздушного транспорта.

Скорость движения материалов по трубопроводам относительно небольшая: для жидких и твердых веществ она составляет 3...7 км/ч, для газообразных — 50...100 км/ч. Однако с учетом бесперебойности работы сетей, возможности доставки материалов до конечного пункта использования или складирования без промежуточных перегрузок, а также при наличии нескольких параллельных трубопроводных ниток на практике может быть достигнуто выполнение почти любых заданных сроков доставки материалов в заданную точку и в заданном количестве.

Транспортирование материалов, с учетом погрузки и разгрузки их, требует значительных трудозатрат. При использовании трубопроводного транспорта они являются минимальными по сравнению с другими видами транспортирования. Однако следует отметить, что в настоящее время трубопроводным транспортом перемещается еще небольшой объем материалов.

В некоторой степени изучено, но только частично освоено транспортирование любых газообразных, жидких материалов и некоторых пылеобразных и мелкогабаритных твердых веществ: пылевидного топлива, опилок, щепы, песка, гравия и др. Крупногабаритные же материалы трубопроводному транспортированию пока не поддаются.

**Значение трубопроводных инженерных сетей.** Сохранение чистоты и гигиеничности транспортных маршрутов. Это достоинство трубопроводных инженерных сетей особенно важно при использовании их для снабжения населения питьевой водой и жидкими пищевыми продуктами.

**Предупреждение заболеваний и отравлений людей.** В этих целях трубопроводные сети используются уже давно, сооружение закрытых сетей хозяйственной кана-

лизации взамен открытых сточных канав и каналов резко снизило появление и распространение многих инфекционных заболеваний и эпидемий (в определенной степени это относится и к ливневой канализации).

Использование трубопроводных сетей особенно эффективно для перемещения применяемых в промышленности радиоактивных и токсичных материалов. При соблюдении необходимой плотности стыков, непроницаемости трубопроводов, соответствующей их изоляции и осторожности в эксплуатации достигается вполне достаточная степень безопасности трубопроводного транспортирования таких веществ.

**Защита окружающей среды.** Весьма часто существует необходимость транспортировать вещества, вредные не только для людей, но и для животного и растительного мира. В этом случае стенки трубопроводов, как и в предыдущих случаях, надежно защищают окружающую среду от соприкосновения с транспортируемым материалом.

**Предотвращение утечек.** В трубопроводных сетях, по сравнению с другими видами транспорта, наблюдаются относительно небольшие утечки транспортируемого материала (кроме аварийных ситуаций). К тому же трубопроводы могут быть подведены непосредственно к месту потребления, хранения или дальнейшего транспортирования материала к рабочему месту технологических процессов производства, накопительным бакам-резервуарам, емкостям транспортных судов и т.п. Они также исключают потери материала, что практически невозможно осуществить при других видах транспорта. Небольшие утечки материалов на трубопроводном транспорте происходят только в местах установки арматуры, на насосных станциях перекачки, в местах опорожнения действующих сетей при их промывке.

К своего рода утечкам следует отнести и потери теплоты в тепловых сетях и холода в хладопроводах. В этом случае теряется уже не сам транспортируемый материал, а содержащиеся в нем энергоресурсы. Минимальная потеря теплоты в тепловых сетях наблюдается при их совмещенной прокладке в проходных каналах, технических коридорах и при наземной прокладке, где сведено до минимума намокание теплоизоляционного слоя.

**Пожаро- и взрывобезопасность.** В народном хозяйстве постоянно увеличивается количество производимых, потребляемых и транспортируемых на разные расстояния пожаро- и взрывоопасных материалов — нефти, бензина, керосина, топочного мазута, минеральных масел, эфира, аммиака, аммиачных вод, природного газа, водорода, разных спиртов и др. Трубопроводное транспортирование таких материалов, по сравнению с другими видами транспорта, является наиболее

безопасным, поскольку конструкция трубопроводов надежно защищает транспортируемый материал от доступа к нему огня и кислорода воздуха, необходимого для процесса горения.

## 1.2. СПОСОБЫ ПРОКЛАДКИ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ

**Раздельная прокладка.** В этом случае сети прокладывают по заданной трассе без учета прокладки каких-либо других попутных инженерных сетей. Раздельная прокладка может быть осуществлена как подземно — непосредственно в грунте или в специальных каналах, так и наземно — по отдельно стоящим опорам или эстакадам, а также по стенам зданий. Раздельная прокладка является наиболее распространенным видом прокладки, технически и экономически оправданным, когда число прокладываемых инженерных сетей относительно небольшое и имеется свободная территория.

Существует несколько способов раздельной прокладки сетей:

подземная раздельная прокладка электрокабелей, контрольных кабелей и кабелей связи непосредственно в грунте (рис. 1.1, а); глубина прокладки — 0,8...1,2 м от поверхности земли. Для защиты кабелей в грунте над ними иногда укладывают ряд кирпичей или черепицы;

подземная прокладка кабелей в асбестоцементных трубах (рис. 1.1, б);

прокладка непосредственно в грунте неизолированных металлических и неметаллических трубопроводов — водопроводов, канализационных сетей, газопроводов и др. (рис. 1.1, в); глубина прокладки — 0,6...3 м и более от поверхности земли;

прокладка в грунте водяных тепловых сетей с теплоизоляцией бесканально и в типовых сборных непроходных железобетонных каналах (рис. 1.1, г, д); таким же образом возможна прокладка пароконденсатных сетей и сетей хладагентов. Глубина прокладки — 0,5...2 м от поверхности земли;

прокладка сетей в грунтовых валах при наличии высокого уровня стояния грунтовых или паводковых вод, а также при наличии вечномерзлых или солончаковых грунтов (рис. 1.1, е). Обвалования сооружают из неагрессивных, сыпучих, хорошо дренирующих грунтов и часто устраивают над ними пешеходные дорожки и даже проезды;

наземная прокладка водяных тепловых сетей на низких, средних и высоких опорах (рис. 1.1, ж). Таким же образом можно прокладывать пароконденсатопроводы, газопроводы, сети хладагентов и др. Следует отметить, что прокладка инженерных сетей в грунтовых валах, а также по наземным опорам выше уровня грунтовых и паводковых вод предохраняет сети от действия воды, агрессивности грунтов и от электрокоррозии;

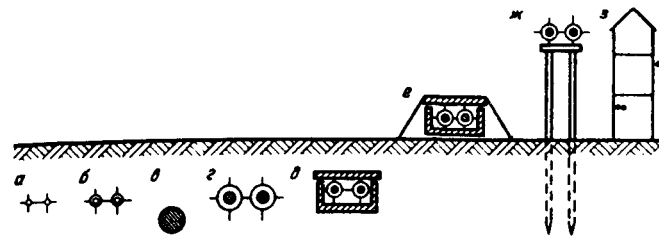


Рис. 1.1. Раздельная прокладка инженерных сетей

а — прокладка кабелей непосредственно в грунте; б — прокладка кабелей подземно в асбестоцементных трубах; в — прокладка голого трубопровода непосредственно в грунте; г — бесканальная подземная прокладка тепловых сетей, покрытых теплоизоляционным слоем; д — прокладка тепловых сетей в подземных непроходных каналах; е — прокладка каналов тепловых сетей в обвалованиях; ж — прокладка тепловых сетей наземно по сваям-опорам; з — прокладка сетей по стенам зданий

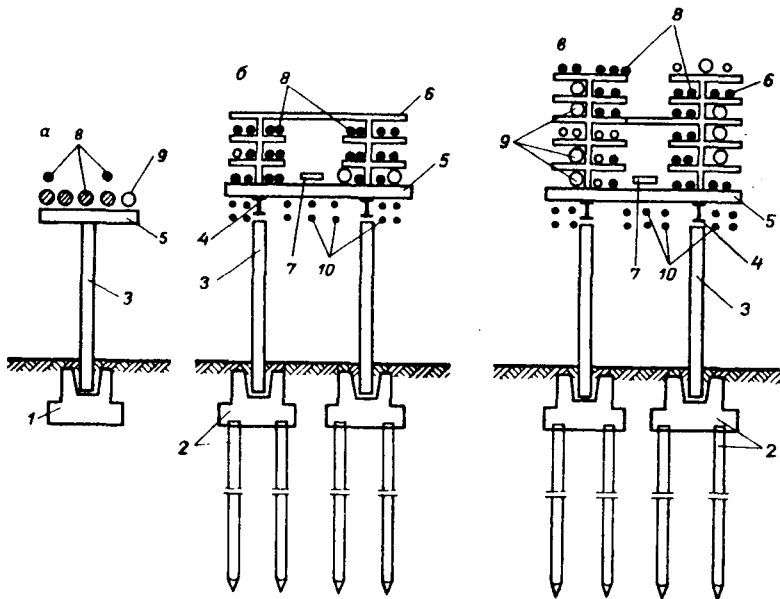
прокладка сетей по стенам здания внутри или вне сооружения (рис. 1.1, з). Сети, проложенные внутри здания, хорошо защищены от атмосферного влияния. Снаружи допустима прокладка сетей, не боящихся замерзания или имеющих спутники нагреватели.

**Совмещенная прокладка сетей.** При большом числе инженерных сетей и недостатке свободных территорий целесообразно применять совместную прокладку сетей по единым строительным конструкциям. Это может быть выполнено различными способами, как наземно, так и подземно.

Хотя преимущества совмещенной прокладки инженерных сетей во множестве случаев очевидны, ее практическое внедрение в настоящее время осуществляется неровно и недостаточно быстрыми темпами (причины этого рассмотрены в последующих главах книги). Наиболее успешно она развивается на территориях промышленных предприятий и промузлов и весьма медленно — в жилых районах городов.

Совмещенную прокладку инженерных сетей следует рассматривать как новый метод, который имеет еще много нерешенных и спорных вопросов. Действующие в стране системы совмещенной прокладки инженерных сетей несмотря на некоторые недостатки технического, архитектурного и эстетического характера зарекомендовали себя как рациональные решения, сокращающие площади застройки территорий, дающие экономии капитальных затрат, обеспечивающие упрощение и облегчение эксплуатации и ремонта, увеличение срока службы и повышение надежности действия инженерных сетей.

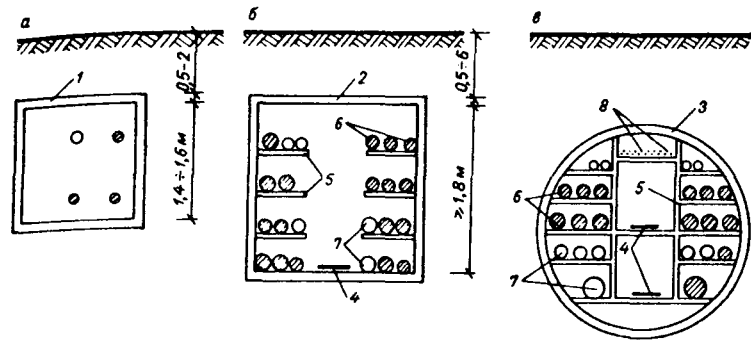
Весьма часто совмещенной прокладкой инженерных сетей в отечественной практике называют также и единовременную



**Рис. 1.2. Совмещенная прокладка инженерных сетей по наземным эстакадам**  
 а — совмещенная прокладка сетей по односторонней непроходной эстакаде; б — совмещенная прокладка сетей по односторонней проходной эстакаде; в — совмещенная прокладка сетей по двухъярусной проходной эстакаде; 1 — фундамент; 2 — свайные основания; 3 — колонна; 4 — балка; 5 — траверса; 6 — верхнее строение эстакады; 7 — проходная дорожка; 8 — трубопроводы проектируемые; 9 — трубопроводы перспективные; 10 — кабели

подземную прокладку их в общей траншее, чем достигается некоторое упрощение процесса производства работ и заметное снижение сметной стоимости строительства. Однако учитывая, что в последующей эксплуатации и ремонт их ни в чем не отличаются от эксплуатации и ремонта сетей, проложенных раздельно, этот способ прокладки сетей в настоящей книге не рассматривается.

Совмещенная прокладка инженерных сетей наземно по непроходным и проходным эстакадам. При небольшом числе трубопроводов и отсутствии кабелей, требующих защиты от солнечного воздействия, сети прокладывают по наземной непроходной эстакаде (рис. 1.2, а). Для прокладки значительного числа трубопроводов использу-



**Рис. 1.3. Совмещенная прокладка инженерных сетей в подземных конструкциях**  
 а — в полупроходных каналах; б — в проходных каналах; в — в проходных туннелях; 1 — сборный железобетонный полупроходной канал; 2 — сборный железобетонный проходной канал; 3 — сборный двухъярусный проходной туннель; 4 — проходная дорожка; 5 — внутреннее строение проходного канала и туннеля; 6 — трубопроводы проектируемые; 7 — трубопроводы перспективные; 8 — кабели

ют одноярусную проходную эстакаду (рис. 1.2, б), на которой предусмотрена проходная дорожка для обеспечения удобства прокладки, эксплуатации и ремонта сетей. При необходимости используют двухъярусную эстакаду с проходными дорожками как на первом, так и на втором ярусах (рис. 1.2, в).

Совмещенная прокладка инженерных сетей подземно по проходным каналам и туннелям. В случаях, когда число трубопроводов небольшое и диаметры их малы, совмещенную прокладку сетей ведут подземно в сборных полупроходных каналах высотой 1,4...1,6 м (рис. 1.3, а).

При большем числе трубопроводов используют проходные каналы высотой 2,1...3 м\* (рис. 1.3, б). Заглубление проходных, а также полупроходных каналов небольшое и составляет 0,5...0,2 м от поверхности земли до верха каналов. При большом числе трубопроводов и наличии кабелей совмещенную прокладку инженерных сетей ведут в подземном проходном двухъярусном туннеле диаметром 5 м и более. Заглубление этих туннелей, сооружаемых из сборных элементов, может быть любым.

Совмещенная прокладка инженерных сетей по техническим коридорам и этажам

\* Байрамов О.А., Кузнецов П.Г., Погребецкий Г.М. Совмещенная прокладка городских подземных коммуникаций в проходных коллекторах. — М.: ГОСИНТИ, 1976.

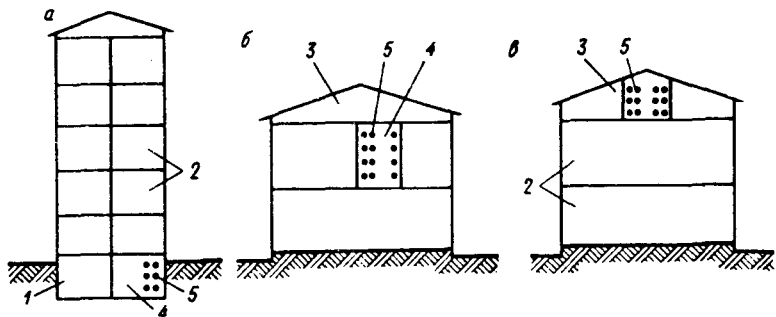


Рис. 1.4. Совмещенная прокладка инженерных сетей внутри зданий по техническим коридорам

а — в подвалах; б — на этажах; в — на чердаках; 1 — подвал; 2 — этажи зданий; 3 — чердак; 4 — технический коридор; 5 — инженерные сети

з д а н и й. Такая прокладка сетей (рис. 1.4) особенно целесообразна в случаях, когда здания расположены на небольших расстояниях друг от друга.

В настоящее время проектным институтом "Латгипропром" и многими другими проектными организациями хорошо освоена совмещенная прокладка инженерных сетей по проходным техническим подвалам, этажам и чердакам промышленных зданий. То же самое можно осуществлять и в жилых зданиях.

Совмещенная прокладка инженерных сетей по кровлям зданий. В настоящее время инженерные сети прокладывают только по кровлям промышленных зданий (рис. 1.5), хотя это возможно и в жилых зданиях. При пологой кровле трубопроводы размещают на высоте

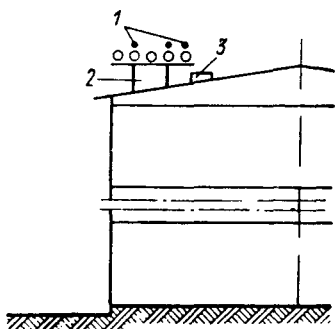
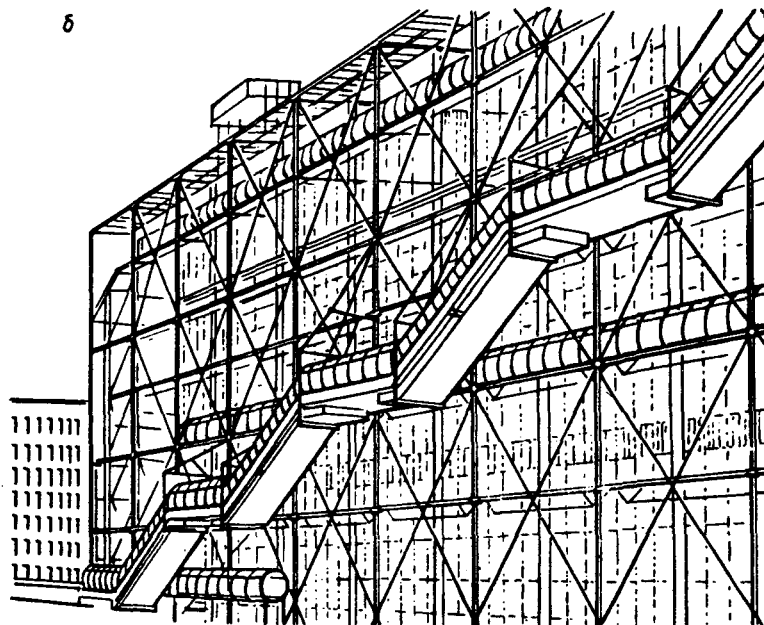
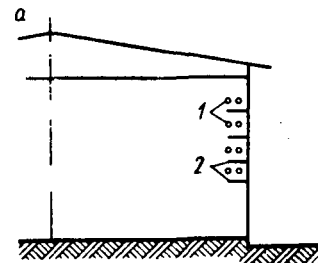


Рис. 1.5. Совмещенная прокладка инженерных сетей по кровлям зданий

1 — инженерные сети; 2 — опорные конструкции; 3 — проходная дорожка

Рис. 1.6. Совмещенная прокладка инженерных сетей по стенам зданий  
а — по внутренней стороне стены (Центр Помпиду в Париже); б — по наружной стороне стены



0,3...1 м над поверхностью крыши. При более крутой кровле сети располагают ступенями — лестницеобразно. Для обслуживания и ремонта сетей при необходимости может быть сооружена проходная дорожка.

Совмещенная прокладка инженерных сетей по стенам зданий. Этот способ прокладки является весьма экономичным, поскольку стена — ограждающий элемент здания — одновременно выполняет роль несущей конструкции для сетей. Чаще всего, трубопроводы, размещают на

внутренней стороне стены (рис. 1.6, а); в этом случае они хорошо защищены от влияния солнца и атмосферы.

Однако нередко внутренняя сторона стен здания занята технологическим оборудованием, устройствами для складирования и транспортирования материалов, и свободного места для прокладки сетей нет. Поэтому в ряде случаев сети размещают по наружным сторонам стен зданий (рис. 1.6, б). Этим достигается также освобождение помещений от загромождения трубопроводами. Однако при использовании такого способа прокладки необходимо не забывать о складывающемся архитектурном и эстетическом образе как самого здания, так и всего ансамбля застройки окружающей местности.

Подобный способ прокладки сетей может быть оправдан и рекомендован в застройке зданий промышленного назначения при условии высокого качества выполнения строительно-монтажных и отделочных работ. В общественной застройке (например, вынос тех же сетей на наружную сторону здания Центра Помпиду) следует рассматривать как эксперимент, который подлежит проверке временем.

## Глава 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОВМЕЩЕННОЙ ПРОКЛАДКИ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ

### 2.1. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Опыт строительства и эксплуатации совмещенно проложенных инженерных сетей как в СССР, так и за рубежом за последние десятилетия подтвердил, что этим способом прокладки сетей достигается:

- экономия площади застройки территорий;
  - значительное сокращение капитальных вложений в строительство;
  - экономию расходов строительных материалов;
  - значительное упрощение и результативность эксплуатации и ремонта инженерных сетей;
  - повышение надежности действия и срока службы сетей.
- Опыт проектирования совмещенной прокладки инженерных сетей в большинстве проектных институтов страны показал, что для успешного выполнения задачи, целесообразно определить ведущих отдел и ведущих специалистов из числа работников, участвующих в разработке проекта.

В разных проектных институтах страны ведущими отделами являются: технологические отделы, отделы генплана и транспорта, теплотехнические отделы.

В СССР одной из республик, в которых уделяется большое внимание развитию способа совмещенной прокладки сетей, является Латвийская ССР. Ведущим институтом в этом вопросе — "Латгипропром" — разработано несколько десятков проектов, реализация которых подтвердила целесообразность применения совмещенной прокладки сетей.

Так, например, на производственной площадке Олайнского производственного химико-фармацевтического объединения "Олайнфарм" Латвийской ССР на первоначальном этапе ее проектирования требовалось проложить 48 трубопроводов разного назначения и около 10 электрических кабелей, кабелей связи и сигнализации в одном, наиболее нагруженном сетями разрезе. Согласно действующим нормам и правилам получилось, что ширина полосы, необходимой для раздельной подземной прокладки сетей ПО "Олайнфарм" составила бы 80...100 м. Это потребовало бы весьма существенно раздвинуть здания и сооружения в плане, что в свою очередь вызвало бы увеличение территории предприятия, удлинение инженерных коммуникаций, внутриплощадочных путей сообщения и транспорта, увеличение капитальных затрат и усложнение эксплуатации завода.

С учетом этого, а также принимая во внимание наличие весьма высокого уровня грунтовых вод в районе расположения данного предприятия и технологические рекомендации о применении преимущественно наземной прокладки для ряда сетей, генеральная проектная организация — институт "Латгипропром" — выдвинула предложение о применении совмещенной прокладки инженерных сетей по наземным проходным и непроходным эстакадам. Это дало возможность совмещенно проложить 40 трубопроводов (т. е. 83% общего их числа) по эстакадам с максимальной шириной траверс 4,2 м и довести расстояние между стенами отдельных корпусов предприятия (с учетом размещения проездов, тротуаров, газонов и некоторых раздельно подземно проложенных сетей) до 20...40 м.

После принятия предложения о применении совмещенной прокладки сетей в институте "Латгипропром" был определен перечень специализированных отделов и ведущих специалистов, привлекаемых к разработке проекта. В нем принимали участие:

технологи основного производства, определяющие технологию прокладки значительной части сетей, необходимых для технологического процесса производства;

сантехники, разрабатывающие сети технической и питьевой воды, напорной и самоточной канализации, а также сети дренажа грунтовых вод;

теплотехники отдела тепловых сетей, разрабатывающие проекты водяных тепловых сетей, сетей горячего водоснабжения и пароконденсатопроводов;

электротехники и связисты электротехнического отдела, ведущие прокладками электрокабелей, контрольных кабелей и кабелей связи; специалисты контрольно-измерительных приборов и систем автоматизации, решающие задачу прокладки кабелей сигнализации, автоматизации и диспетчеризации разных технологических процессов производства;

строители-конструкторы, разрабатывающие проекты наземных эстакад и проходных каналов для прокладки сетей;

специалисты по разработке генпланов, определяющие размещение эстакад совмещенных инженерных сетей в плане предприятия и расположение их в профиле на поверхности земли, а также расположение автодорог и железнодорожных путей.

В своей дальнейшей работе институт "Латгипропром" (по ряду причин внутреннего характера и после выполнения некоторых проектов в порядке опыта) ведущим отделом по проектированию совмещенной

прокладки инженерных сетей определил отдел тепловых сетей. Этот отдел ранее занимался разработкой проектов водяных тепловых сетей, пароконденсатопроводов, сетей горячего водоснабжения, тепловых пунктов зданий промышленного и другого назначения, а также решал вопросы централизации теплоснабжения городов и поселков республики.

Основой такого решения явилось следующее:

практически во всех разрабатываемых проектах присутствовали тепловые сети, в то время как вид сетей другого назначения в разных проектах весьма часто менялся, а водопроводы, напорная канализация, разные кабели и технологические трубопроводы иногда отсутствовали;

тепловые сети, как правило, присутствовали на всех проектируемых участках, в то время как инженерные сети другого назначения прокладывались только местами;

тепловые сети создавали самые большие осевые и боковые горизонтальные усилия на опоры и самые большие термические перемещения трубопроводов, что в итоге решающим образом влияло на строительные конструкции, несущие инженерные сети;

принципы устройства сетей спутников-нагревателей и спутников-охлаждавателей трубопроводов весьма близки принципам устройства тепловых сетей. На ведущий отдел кроме общего руководства по разработке проектов совмещенной прокладки сетей было возложено также проведение авторского надзора за осуществлением строительного-монтажных и пусконаладочных работ.

Двадцатилетний опыт разработки институтом "Латгипропром" проектов совмещенной прокладки инженерных сетей ряда заводов и промышленных узлов для разных городов Латвийской ССР и некоторых других республик подтвердил правильность выбора отдела тепловых сетей в качестве ведущего.

Исходными материалами для проектирования совмещенной прокладки инженерных сетей вновь сооружаемого завода, предприятия, группы заводов, промышленного узла являются:

программа производства вновь сооружаемых предприятий;

данные о производительности и ориентировочном объеме помещений производственных корпусов и вспомогательных сооружений;

предварительный генплан рассматриваемой территории с предварительно размещенными зданиями и сооружениями;

перечень инженерных сетей, подводимых к каждому вновь возводимому зданию и сооружению, составленному специализированными отделами проектных или научно-исследовательских организаций.

Если совмещенную прокладку инженерных сетей необходимо осуществить на действующем заводе, предприятии, промышленном узле или в застроенной части города, то перечень необходимых сетей к каждому отдельному зданию и сооружению составляют службы главных энергетиков, механиков, технологов, связистов, принадлежащие соответствующим заводам, предприятиям и ведомствам.

При наличии упомянутых исходных материалов в случаях проектирования новых промышленных предприятий или реконструкции существующих технологический отдел выдает задания архитектурно-строительному отделу на разработку проектов

строительной части всех необходимых зданий, кроме вспомогательных, разрабатываемых соответственно другими специализированными проектными отделами. К таким вспомогательным зданиям и сооружениям относятся котельные, очистные сооружения и насосные станции перекачки в системах водопровода и канализации, трансформаторные подстанции, мастерские, гаражи, административные здания и др.

После получения от архитектурно-строительного отдела планов этажей с привязкой помещений и разрезов зданий, а также заданий от технологического отдела относительно процесса производства и численности необходимого эксплуатационного персонала для каждого здания все специализированные проектные отделы, при наличии технических условий, получают возможность приступить к разработке заданий на проектирование инженерных сетей по своей специфике для каждого здания и сооружения. Эти задания передаются ведущему отделу для дальнейшей работы по совмещению прокладки инженерных сетей.

Задания на проектирование внутримплощадочных или внеплощадочных инженерных сетей предприятий бывают разные по сложности их составления. Наиболее сложными являются задания на проектирование трубопроводов, транспортирующих активные материалы, предназначенные для выполнения технологических процессов производства: разных кислот, щелочей, солей, реагентов и других агрессивных веществ. В заданиях на проектирование сетей, транспортирующих подобные материалы, должны быть даны ответы на следующие вопросы:

точное название материала с указанием его характерных параметров: концентрации, давления, рабочей температуры и т. п.;

агрегатное состояние, плотность, кинематическая вязкость жидких и динамическая вязкость газообразных материалов при рабочей температуре;

из какого корпуса и из какой точки (в плане и в разрезе здания) отправляется материал;

в какой корпус и в какую точку (в плане и в разрезе здания) должен быть подан материал;

максимальный, средний и минимальный расходы материала в единицу времени: час, сутки, год, проектный период и более далекая перспектива;

диаметры проектируемого трубопровода внутри зданий в начальной точке сети;

материал трубопровода;

соединение трубопровода — на сварке, фланцах, резьбе и т. д.;

шаг опирания сетей;

способы опирания трубопровода;

постоянство транспортирования материала (при наличии перерывов в расходе материала, указывается периодичность или продолжительность их);

требования или рекомендации нормативных материалов, регламентирующих способ прокладки трубопровода: наземно или подземно;

рабочая температура транспортируемого материала в начальной точке;

необходимость покрытия трубопровода теплоизоляционным слоем;

необходимость обогрева трубопроводов спутником-нагревателем или путем электронагрева;

необходимость охлаждения трубопровода спутником-охладителем;

расчетное давление в начальной точке материалопровода; необходимое минимальное давление в конечной точке материалопровода;

характеристика транспортируемого материала по горючести, взрывоопасности, ядовитости, токсичности;

допустимость совмещения прокладки проектируемого трубопровода с другими инженерными сетями в наземных и подземных конструкциях;

способ опорожнения трубопровода — необходимость или допустимость установки воздушников и спускников в наружных сетях;

прочие особенности транспортируемого материала, не указанные выше, которые при проектировании, строительстве, эксплуатации и ремонте сетей вызывают необходимость учета следующих факторов: защиты сетей от солнечной радиации; недопустимости создания в сетях "мешков" с возможным выпадением осадка более тяжелых твердых веществ и закупоркой трубопровода; необходимости уклонов в сетях более 0,03‰; потребности в наличии проходных дорожек; необходимости промывки сетей реагентами перед их ремонтом; свойств сгущения, застывания, разложения транспортируемого материала и т. п.

Для облегчения составления задания на проектирование технологических трубопроводов и удобства пользования им при осуществлении совмещенной прокладки сетей задание составляют в табличной форме (табл. 2.1).

К заданию на проектирование технологических трубопроводов прилагают пояснительную записку, эскиз расположения вводов инженерных сетей в здание (рис. 2.1) и эскизы прокладки сетей на эстакадах (рис. 2.2).

На рис. 2.2 приведены необходимые диаметры трубопроводных сетей, прокладываемых внутри здания. В коротких сетях зданий допускаются увеличенные скорости движения транспортируемых материалов и повышенные потери давления. Диа-

2.1. Задание на проектирование внешних технологических материалопроводов по расходам на \_\_\_\_\_ год

Пример. Объект—корпус № 3; предприятие — ПО "Олайнфарм"

№ трубопровода	Технологический материал	Направление сети		Технологические параметры материала					материал в конце	
		из корпуса №	в корпус №	расход расчетный G, т/ч	плотность при t = 20°C, кг/м³	температура, °C	давление, МПа	в начале		
						рабочая	застывания			
<b>Ввод № 1</b>										
1	Рассол прямой 27%, t = -15°C	37	3	43,8	1250	-15	-28	0,35	0,3	Ст. 3
2	Рассол обратный 27%, t = -13°C	3	37	43,8	1250	-13	-28	0,2	0,15	Ст. 3
3	Рассол прямой 20%, t = 0°C	37	3	72	1200	0	-14	0,35	0,3	Ст. 3
4	Рассол обратный 20%, t = 5°C	3	37	72	1200	5	-14	0,2	0,15	Ст. 3
21	Метанол "яд", 99%	10	3	2,4	800	20	-97	0,3	0,15	Ст. 3
10	Серная кислота 92%	9	3	5,9	1840	20	-25	0,3	0,15	Ст. 3
19	Изопропиловый спирт 99%	10	3	2,5	780	20	-89	0,3	0,15	Ст. 3
13	Аммиачная вода 25%	10	3	2,9	905	20	-40	0,3	0,15	Ст. 3
7	Сжатый азот технический	13	3	0,18	1,25	20		0,6	0,5	Ст. 3
<b>Ввод № 3</b>										
9	Соляная кислота 27,5%	9	3	9,4	1170	20	-40	0,3	0,15	Ст. Ф
16	Уксусная кислота 99%	10	3	3,2	1050	20	-16	0,3	0,15	нж. ст
25	Гидразингидрат 65%	10	3	4	1030	20	-40	0,3	0,15	нж. ст
47	Жидкие отходы на сжигание	3	16	20	1020	20	0	0,3	0,15	Ст. Ф





В табл. 2.1 приведен пример окончательного задания на проектирование технологических трубопроводов к конкретному производственному корпусу. Однако на практике встречаются случаи, когда необходима разработка предварительного задания на проектирование тех же или подобных технологических трубопроводов к производственным зданиями или предприятиям. В таких случаях составляют предварительные задания по приведенному выше образцу, но без указания точек вводов в здания, диаметров трубопроводов, давлений и других показателей, не определяемых на первичных стадиях проектирования объекта.

Более простыми являются задания на проектирование пароконденсатных сетей, обеспечивающих пароснабжение зданий сооружений и предприятий. В случае, если ведущим отделом является отдел тепловых сетей, который одновременно проектирует тепловые пункты и готовит задания другому отделу (тепломеханическому) или другой проектной организации на сооружение нового или реконструкцию существующего источника теплоты, то в этих заданиях должны быть открыты следующие вопросы:

точное название потребного пара: сухой насыщенный, перегретый, мокрый;

давление пара, необходимое потребителю: минимальное максимальное;

температура поставляемого пара: минимальная и максимальная;

расход пара и возврат конденсата на проектный период и на программу производства объекта по очередям строительства: максимально-часовой, среднечасовой, минимально-часовой, суточный, годовой, а также на 15...20-летнюю перспективу;

число рабочих часов в сутки, рабочих дней в неделе и в году

постоянство потребления пара. При наличии перерывов в ходе потребления пара указывается периодичность или продолжительность их; в случаях выраженной неравномерности расхода пара даются суточные, недельные и месячные графики парового потребления;

образование вторичных энергоресурсов при потреблении пара в технологических процессах производства;

чистота или загрязненность конденсата, возвращаемого технологическими процессами производства;

возможности использования чистого или загрязненного конденсата на производстве;

давление конденсата, возвращаемого производством.

Задания на проектирование наружных паровых сетей, конденсатопроводов и тепловых пунктов также составляют в такой же форме (табл. 2.2).

2.2. Задание на проектирование внешних пароконденсатных сетей и тепловых пунктов пара и конденсата по расходу на \_\_\_\_\_ год

Пример. Предприятие — фанерный завод "Лигнумс"

№ здания, сооружения по генплану	Наименование потребителя пара	Рабочее время		Параметры пара		Часовой расход пара, т/ч			Суточный расход пара, т	Годовой расход пара, тыс. т	Возврат конденсата			Примечания	
		часов в сутки	дней в неделю	давление, МПа	температура, °С	максимальный	средний за смену	минимальный			давление, МПа	температура, °С	% расхода пара		
1	Главный производственный корпус	16	5	260	1,2	191	0,4	0,3	0	5	1,4	0,4	144	90	
1.1	ребросклеивание	16	5	260	0,8	175	2	1,7	0	14	2,7	0,3	134	90	
1.2	Бассейны пропарки древесины	24	7	345	0,3	134	28	22	0	370	24,2	—	—	—	
3	Цех смол со складом химикатов	16	5	260	0,3	134	4,2	4,2	0	67	17,5	0,15	111	70	
Итого		—	—	—	—	—	34,6	28,2	0	456	45,8	—	—	—	

Примечания: 1. Линия пропитки потребляет пар в то время, когда установка сжигания вредных отходов не работает. 2. Конденсат возвращается в районную котельную через насосную станцию перекачки, размещенную в тепловом пункте № 1 главного производственного корпуса.

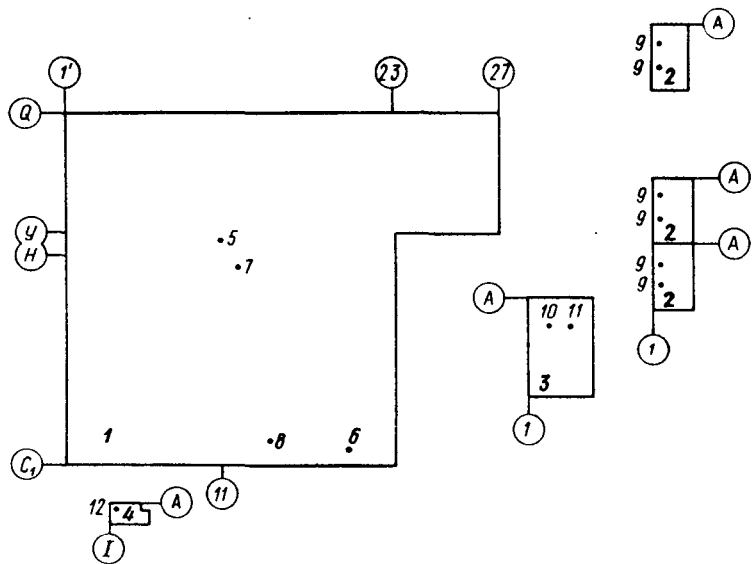


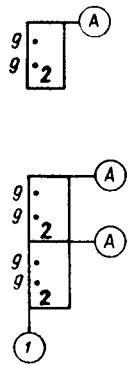
Рис. 2.3. Эскиз расположения точек потребления пара и возврата конденсата в зданиях (пример)

1 — главный производственный корпус; 2 — бассейны гидротермической обработки древесины; 3 — цех смол; 4 — склад химикатов; 5, 6, 9, 10, 12 — точки потребления пара; 7, 8, 11 — точки возврата конденсата; (I), (A) — оси зданий

К заданию на проектирование внешних пароконденсатных сетей и тепловых пунктов пара и конденсата прилагают эскизы расположения точек потребления пара технологическим оборудованием вторичных энергоресурсов на производстве, выделении вредных отходов или вентиляционных выбросов производства, подлежащих сжиганию и т. п.

В пояснительной записке к заданию даются ответы на те из вышеприведенных вопросов, которые не нашли отражения в табличной форме и на эскизах с необходимыми пояснениями о перспективах расширения предприятия по годам и пятилеткам, образовании вторичных энергоресурсов на производстве, выделении вредных отходов или вентиляционных выбросов производства, подлежащих сжиганию и т. п.

Задания на проектирование других наружных инженерных сетей, передаваемые из специализированных отделов в ведущий отдел, обычно являются еще более простыми. Однако каждая сеть имеет свои особенности, которые необходимо раскрыть и отразить в соответствующих заданиях на проектирование, знать и учитывать при проектировании их совмещенной прокладки с другими инженерными сетями.



Следует отметить, что задания на проектирование сетей являются фундаментальными материалами в комплексе разработки проекта. Чем качественнее будут разработаны эти задания, тем более полноценным может быть разработан проект совмещенной прокладки инженерных сетей. Особенно это важно в случаях, когда задания на проектирование сетей составляет специализированная проектная или научно-исследовательская организация и передает их ведущему отделу другой проектной организации, размещенной в другом городе страны, и связи между разработчиками общего проекта затруднены.

## 2.2. СОСТАВЛЕНИЕ СВОДНЫХ ТАБЛИЦ СЕТЕЙ, СОВМЕЩЕННО ПРОКЛАДЫВАЕМЫХ ПО НАЗЕМНЫМ ЭСТАКАДАМ И ПРОХОДНЫМ КАНАЛАМ

После получения всех заданий на проектирование инженерных сетей по всем основным зданиям и сооружениям проектируемого объекта от специализированных организаций и отделов ведущий отдел приступает к разработке сводных таблиц совмещенно прокладываемых сетей, предварительно выполнив следующие подготовительные работы.

Составляют перечень всех инженерных сетей, прокладываемых по площадке и территориям, расположенным вне площадки проектируемого объекта. В него вносят сведения о возможных способах прокладки каждой сети: требуемом, оптимальном, допустимом. Так, например:

самотечную ливневую и хозяйственно-канализационную возможно прокладывать только подземно;

водяные тепловые сети, паропроводы, конденсатопроводы и сети горячего водоснабжения прокладываются согласно СНиП 2.04.07—86;

дренажные системы, предназначенные для понижения уровня грунтовых вод застраиваемых территорий можно устраивать только подземно;

трубопроводы, транспортирующие активные и агрессивные технологические материалы: разные кислоты, щелочные растворы, легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ), взрывоопасные и ядовитые химикаты рекомендуется прокладывать наземно, в целях немедленной констатации и ликвидации утечек, способных вызвать серьезное загрязнение окружающей среды, значительный материальный ущерб и даже аварийные ситуации;

некоторые технологические трубопроводы, транспортирующие малоактивные и недорогие материалы (сжатый азот, воздух и др.) разрешается прокладывать как подземно, так и наземно;

водопроводы разного назначения предпочтительно прокладывать подземно, ниже глубины замерзания грунта. Однако они могут быть и наземными при бесперебойном протоке воды в трубопроводах или с кратковременными его остановками;

газопроводы природного газа прокладывают согласно СНиП 2.04.08–87;

кабели прокладывают согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ).

Следующим шагом является внимательное, всестороннее ознакомление с предварительным генеральным планом, геологическими изысканиями, наблюдаемыми и предполагаемыми максимальными уровнями грунтовых и паводковых вод рассматриваемой площадки или района застройки. При ознакомлении с материалами геологических изысканий необходимо обращать серьезное внимание на наличие болотистых, слабых, водонасыщенных, слабофильтрующих, скальных, солончаковых грунтов, карстовых и оползневых явлений, явлений вечной мерзлоты и тектоники. Особенно серьезное внимание следует уделять вопросам, связанным с расположением уровней грунтовых вод, колебаниями их (по долготлетним наблюдениям) и возможностями понижения, а также перспективам ликвидации паводков.

Большинство инженерных сетей при подземной прокладке непосредственно не страдает от присутствия влаги и грунтовых вод. К ним относятся сети из керамических, чугунных, железобетонных, асбестоцементных труб, трубопроводы из разных полимеров, не покрытые теплоизоляционным слоем, и кабели разного назначения. Однако многолетний опыт строительства и эксплуатации инженерных сетей в разных районах страны показал, что грунтовая и паводковая вода для инженерных сетей, проложенных подземно, нежелательна: строительство сетей удорожается, а их эксплуатация становится более сложной.

Такие же тепловые сети как водяные, пароконденсатные, сети горячего водоснабжения, имеющие теплоизоляцию, сильно страдают при их намокании от грунтовых или паводковых вод. Потери транспортируемой теплоты достигают 25...30% и более. При намокании теплоизоляционный слой теряет свои теплоизоляционные качества и, по существу, происходит усиленный нагрев грунтов и грунтовых вод. Продолжительность срока службы сетей вследствие усиления внешней коррозии снижается в 2...5 раз. Такое явление происходит, в частности, при теплоизоляции сетей минеральной ватой и другими традиционными теплоизоляционными материалами. От грунтовых вод страдают также проложенные подземно, покрытые теплоизоляционным слоем трубопроводы, транспортирующие хладагенты. При намокании теплоизоляционный слой в значительной степени теряет способность сохранения холода хладагентом.

Учитывая отрицательное влияние грунтовых и паводковых вод на строительные конструкции зданий, а также на инженерные сети городов, уже с давних времен сооружались оградительные дамбы, защищающие территории от паводков, и

дренажные сети, понижающие уровень грунтовых вод местности, хотя, к сожалению, эти сооружения весьма дороги, как в строительстве, так и в эксплуатации, и не совсем надежны.

После внимательного ознакомления с заданиями на проектирование внешних инженерных сетей, нормативными материалами и архитектурными требованиями, обуславливающими способ прокладки сетей, предварительным генеральным планом проектируемого объекта, материалами геологических изысканий местности, гидрогеологическими исследованиями (наблюдаемыми и предполагаемыми максимальными уровнями грунтовых и паводковых вод рассматриваемой территории) ведущий отдел разрабатывает предложения о возможностях совмещения сетей и способах их прокладки. При этом часто встречаются случаи, когда возможны, по различным причинам, разные варианты совмещенной прокладки сетей, имеющие каждый свои преимущества и недостатки. Задача ведущего отдела на этой стадии проектирования состоит в объективной всесторонней оценке каждого варианта и в представлении исчерпывающих материалов техническому совету для утверждения одного из них.

Основными возможными вариантами прокладки инженерных сетей являются следующие:

все напорные трубопроводы и кабели прокладываются совмещенно по общим наземным проходным и непроходным эстакадам; самотечные сети — раздельно, подземно;

все напорные трубопроводы, кроме водопроводов, прокладываются совмещенно по наземным эстакадам; самотечные сети, водопроводы и кабели — раздельно, подземно;

некоторые инженерные сети прокладываются совмещенно по эстакадам, некоторые — совмещенно в подземных проходных каналах, технических коридорах подвалов, этажей, чердаков или по кровлям зданий; самотечные сети — раздельно, подземно;

все напорные трубопроводы и кабели прокладываются совмещенно в одном, двух или нескольких подземных каналах и в технических коридорах подвалов; самотечные сети — раздельно, подземно;

все инженерные сети прокладываются раздельно, подземно.

В свое время в конкретных условиях расположения производственной площадки ПО "Олайнфарм" ведущим отделом в качестве основного варианта была рекомендована раздельная подземная прокладка самотечных сетей, водопроводов, кабелей и совмещенная наземная прокладка всех остальных трубопроводов, исходя из следующих соображений:

действовавший в то время СНиП 11-36-73 по площадкам предприятий требовал осуществлять наземную прокладку тепловых сетей. Также самое предписывали и другие нормативные материалы для сетей активных, агрессивных, токсичных и взрывоопасных веществ;

отсутствовали, в данном случае, какие-либо запреты или ограничения архитектурного характера относительно наземной прокладки сетей и сооружения эстакад;

поселок Олайне, в котором намечалось строительство ПО "Олайнфарм", находится в районе торфяных болот, где рельеф поверхности земли ровный, с мелкими повышениями, подстилающие грунты — суглинки; уровень грунтовых и паводковых вод достигал поверхности земли даже на повышенных участках местности;

совмещенная прокладка инженерных сетей по наземным эстакадам обещала значительную экономию территорий застройки, снижение капитальных затрат, упрощение эксплуатации, повышение надежности и долговечности сетей;

раздельная подземная прокладка кабелей предлагалась в связи с небольшим числом кабелей и точек вводов в здания, несовпадением их с точками подвода наземных эстакад;

раздельная подземная прокладка водопроводов рекомендовалась, чтобы исключить их замерзание, используя естественные средства.

Рекомендации ведущего отдела техническим советом были приняты без корректировки.

После определения способа прокладки каждого вида проектируемых сетей ведущий отдел составляет сводные таблицы совмещенно прокладываемых сетей. При этом возможны следующие случаи:

прокладка только наземная;

прокладка только подземная;

часть сетей прокладывается совмещенно наземно, часть — подземно.

При совмещенной прокладке сетей только наземно составляют одну сводную таблицу, если все решаемые сети могут быть проложены по единым эстакадам (табл. 2.3). Если же сети прокладываются совмещенно только подземно в нескольких каналах или частично наземно, то, как правило, необходимо составлять две сводные таблицы или более. Это объясняется тем, что каждая сводная таблица должна отражать только те сети, которые прокладываются совмещенно по общим строительным конструкциям каждого отдельного канала, туннеля, эстакады или технического коридора.

Следует учитывать, что Правилами безопасности в газовом хозяйстве не допускается совмещенная прокладка в подземных проходных каналах сетей природного газа среднего и высокого давления. Не разрешается также совмещенная прокладка в одном канале сетей водорода и кислорода, сетей водорода и электрокабелей. СНиП 2.04.07—86 не допускает прокладки паропроводов, работающих под давлением более 2,2 МПа,  $t > 350^{\circ}\text{C}$  в подземных непроходных каналах и общих городских или внутриквартальных туннелях. Определенные ограничения налагаются также на прокладку трубопроводных сетей активных, агрессивных, токсичных и взрывоопасных веществ в подземных проходных каналах, технических коридорах и подвалах зданий вообще, а также совместно с некоторыми другими, "несовместимыми" с ними сетями. Такое явление несовмести-

мости прокладки разных инженерных сетей, согласно нормативным материалам, отсутствует при совмещенной наземной прокладке их по открытым эстакадам, наружным стенам и кровлям зданий. Некоторые ограничения наземной прокладки сетей в категориальных городах и по территориям отдельных предприятий предусматриваются специальными строительными нормами и правилами.

### 2.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРАСС НАЗЕМНЫХ ЭСТАКАД И ПРОХОДНЫХ КАНАЛОВ

К определению расположения трасс совмещенно прокладываемых сетей ведущий отдел приступает после разработки: предварительного генерального плана проектируемого или реконструируемого объекта;

заданий на проектирование всех инженерных сетей с эскизами расположения вводов сетей в здания и с пояснительными записками, составленными специализированными отделами; решений о способах прокладки всех проектируемых сетей; сводных таблиц совмещенно прокладываемых сетей.

Определяя расположение трасс сетей, следует руководствоваться некоторыми объективными критериями, а именно: проектируемые сети должны быть возможно короткими и занимать минимально возможную территорию на генеральном плане проектируемого объекта;

совмещенно прокладываемые инженерные сети и строительные конструкции, сооруженные по предлагаемым трассам, должны быть удобны в строительстве и эксплуатации и учитывать архитектурные и эстетические требования застройки проектируемого объекта;

сети и строительные конструкции должны быть экономичными и долговечными.

Приведенные объективные критерии в какой-то мере противоречивы и на практике весьма редко удается удовлетворить все предъявляемые ими требования. Поэтому необходим поиск оптимальных компромиссных решений. Так, например, при проектировании совмещенной прокладки сетей вновь сооружаемого предприятия наиболее короткими и дешевыми сети были бы при их размещении по кровлям или в технических коридорах зданий. При этом они также были бы весьма удобны в эксплуатации и мало влияли бы на архитектурный вид застройки. Однако на практике новое предприятие, состоящее из многих зданий, как правило, сооружается не сразу в полном объеме, а по очередям. Так, например, на производственной площадке "Олайнфарма" из 42 зданий, необходимых для полного развития предприятия, в первую очередь были построены и введены в эксплуатацию только 12 зданий. Поэтому вариант прокладки сетей по кровлям и техническим

2.3. Сводная таблица совмещенно прокладываемых инженерных сетей по

Пример. Объект — производственная площадка; предприятие — ПО

№ п.п.	№ сети	Наименование транспортируемого вещества или сети	Направление сети		Рабочая температура вещества, °С
			из какого корпуса, №	в какой корпус, №	
1	1	Рассол прямой 27%, t = -15°C	37	1, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 22	-15
2	2	Рассол обратный 27%, t = -13°C	1, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 22	37	-13
3	3	Рассол прямой 20%, t = 0°C	37	1, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 14	0
4	4	Рассол обратный 20%, t = 5°C	1, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 14	37	5
5	5	Сжатый воздух техни- ческий p = 0,8 МПа	14	1, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 17, 22	20
6	7	Сжатый азот техни- ческий p = 0,6 МПа	13	1, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 16, 22	20
7	8	Обессоленная вода	14	1, 2, 4, 5, 6, 16	20
8	9	Соляная кислота 27,5%	9	1, 2, 2, 3, 4, 5, 6	20
9	10	Серная кислота 92%	9	2, 3, 5, 6, 19	20
10	11	Азотная кислота	9	2, 5	20
11	12	Щелочь	9	1, 1, 2, 2, 3, 4, 4, 5, 6, 14, 16	20
12	13	Аммиачная вода 25%	10	1, 3, 4, 5	20
13	14	Окись этилена	11	1, 2	-8
14	15	Дихлорэтан	10	1, 3, 4, 5	20
15	16	Уксусная кислота 99%	10	2, 5	20
16	18	Уксусный ангидрид	10	2, 5	20
17	19	Изопропиловый спирт 99%	10	1, 2, 3, 5, 6, 12	20
18	21	Метанол "яд" 99%	10	3, 4, 5, 6, 22	20
19	25	Гидразингидрат	10	2, 3, 4, 5	20
20	31	Суспензия угля	1, 2, 2, 3, 4, 5	17	20
21	34	Водяной пар p = 1,2 МПа	18	12, 22	190
22	35	Водяной пар p = 0,45 МПа	18	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 10, 11, 13, 14, 16, 22	150
23	43	Водород	34	4, 5, 6	20
24	45	Пропионовая кислота	9	6	20
25	47	Жидкие отходы на сжигание	1, 2, 3, 6	16	20
26	V <sub>1A</sub>	Пенораствор	19	6	20

Примечания: 1. В таблице приведена только часть трубопроводов. 2.

наземным открытым проходным и непроходным эстакадам на \_\_\_\_\_ Год

"Олайнфарм"

Материал труб	Наличие теплоизоляции	Необходимость нагрева трубопроводов	Необходимость охлаждения трубопроводов	Специфические свойства материала			Примечания
				воспламеняемость	токсичность	агрессивное состояние	
Ст3пс	да	-	-	-	-	Ж	
То же	да	-	-	-	-	Ж	
"	да	-	-	-	-	Ж	
"	да	-	-	-	-	Ж	
"	-	-	-	-	-	Г	
"	-	-	-	-	-	Г	
Сталь 08Х22Н6Т	да	да	-	-	-	Ж	
Ст3; трубы футерованы фторопластом	-	-	-	-	да	Ж	
Ст3пс	-	-	-	-	да	Ж	
Алюминий или сталь 12Х18Н10Т	-	-	-	-	да	Ж	
Ст3пс	да	да	-	-	да	Ж	Едкий натр 42%
Ст3пс	-	-	-	да	да	Ж	
Сталь 12Х18Н10Т	да	-	да	да	да	Ж	
То же	-	-	-	да	да	Ж	
Сталь 12Х17Н13М2Т	да	да	-	да	да	Ж	
Алюминий или сталь 12Х18Н10Т	-	-	-	да	да	Ж	
Ст3пс	-	-	-	да	да	Ж	
Ст3пс	-	-	-	да	да	Ж	
Сталь 12Х18Н10Т	-	-	-	да	да	Ж	
Ст3пс	да	да	-	-	-	Ж	Выпадение осадка
Ст10	да	-	-	-	-	Г	
Ст10	да	-	-	-	-	Г	
Ст20	-	-	-	да	-	Г	
Алюминий или сталь 12Х18Н10Т	да	да	-	-	да	Ж	
Ст3; трубы футерованы фторопластом	да	да	-	да	да	Ж	
Ст3	да	-	-	-	-	Ж	

В таблице приняты следующие обозначения: Ж — жидкость; Г — газ.

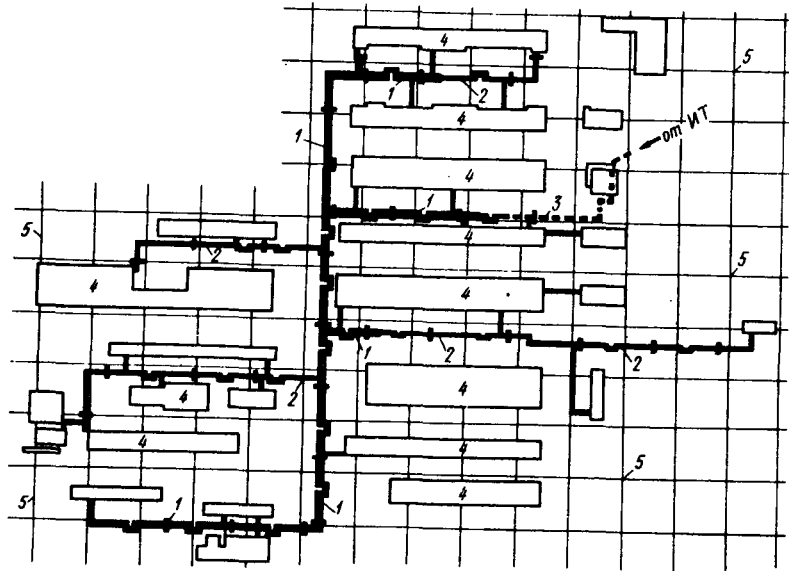


Рис. 2.4. План трасс наземных эстакад

1 — эстакада двухъярусная, проходная, балочная; 2 — эстакада одноъярусная, непроходная, балочная; 3 — эстакада одноъярусная, непроходная, без балок; 4 — здания; 5 — координатная сетка территории завода

коридорам зданий "Олайнфарма" отпал, и было принято решение совмещенную прокладку инженерных сетей осуществить по наземным проходным и непроходным эстакадам.

Такое решение является наиболее приемлемым во многих случаях совмещенной прокладки сетей вновь сооружаемых предприятий. В целях максимального уменьшения длины прокладываемых сетей эстакады следует располагать как можно ближе к главным производственным корпусам предприятия, причем устраивая ответвления для вводов сетей только с одной стороны зданий (рис. 2.4).

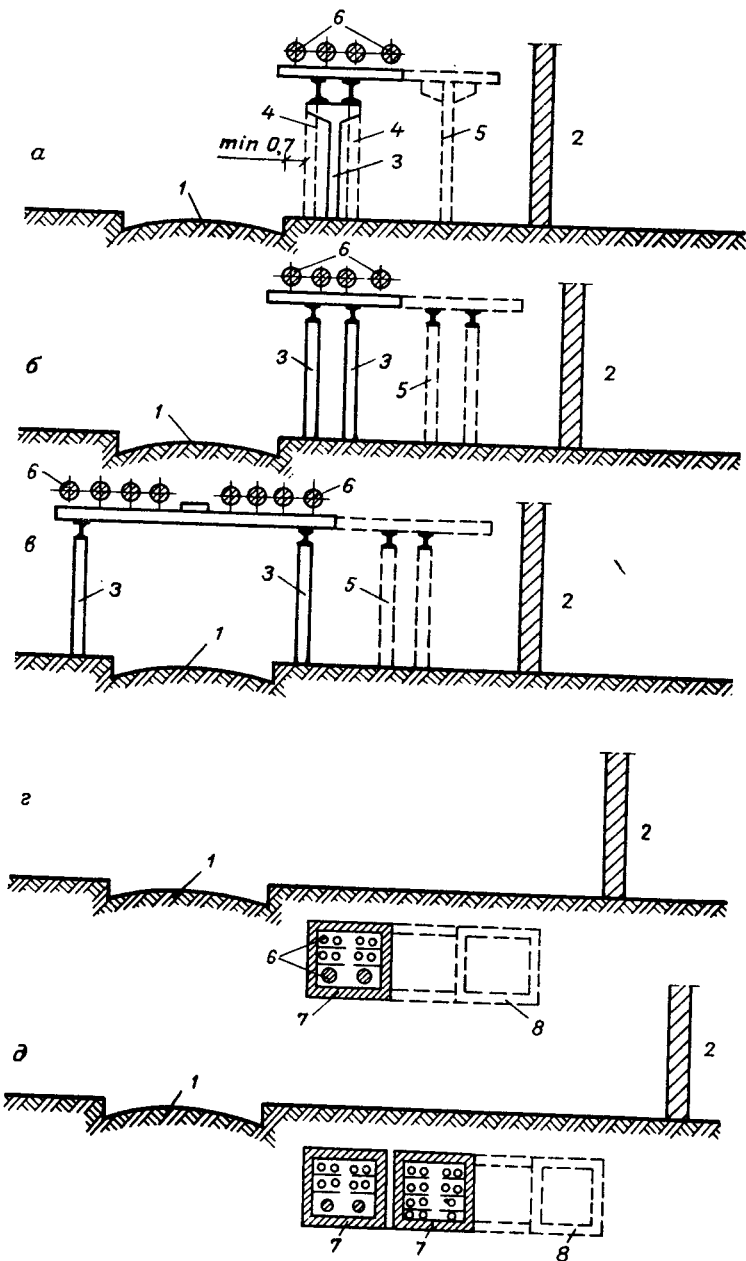
Кроме того, эстакады следует располагать вдоль (и как можно ближе) проезжих дорог (СН 527-80), что создает удобство для их строительства и выполнения аварийно-ремонтных работ механизмами непосредственно с проезжей части.

Проектируя трассы эстакад, следует учитывать необходимость устройства компенсаторов термических перемещений трубопроводных сетей (более подробно см. гл. 3). При наземной прокладке сетей, как правило, применяют П-образные компенсаторы. Использование сальниковых компенсаторов возможно только для труб диаметром  $D_y \geq 150$  мм. Однако

они создают большие горизонтальные усилия на неподвижные опоры, увеличивают габариты эстакад, сложны в эксплуатации и поэтому при совмещенной прокладке инженерных сетей по наземным эстакадам их применять нецелесообразно. Не следует также применять лирообразные и линзовые компенсаторы как создающие неудобства в строительстве и эксплуатации (при наличии этих компенсаторов необходимо увеличение расстояний между трубопроводами). Более подходящими являются сифонные компенсаторы, имеющие также положительные и отрицательные стороны, которые должны быть оценены в каждом конкретном случае.

П-образные компенсаторы во избежание образования "мешков" в сетях устанавливают горизонтально с размещением вылета в сторону здания. Вылет П-образного компенсатора зависит от расстояния между неподвижными опорами, диаметров и конструкции углов поворота трубопроводов, температуры транспортируемого материала и длины плеча компенсатора. Вылет компенсатора эстакады определяют расчетом, ориентируясь на трубопроводы, имеющие наибольшие термические перемещения и диаметры труб. Практически вылет колеблется в пределах 2...5 м. С учетом этих обстоятельств ось трасс наземных эстакад обычно располагают в зоне газонов на расстоянии 5...12 м от наружных стен основных производственных корпусов в зависимости от ширины эстакады и необходимости прокладки некоторых сетей подземно между корпусом и эстакадой (кабелей, дренажных систем, канализации и др.).

Что касается привязки дорог, то расстояние между краем опоры эстакады и краем проезжей части дороги должно быть не менее 0,7 м. Расстояния от оси трассы одноопорных эстакад до края дорог необходимо определять с учетом того, что под неподвижными опорами и узлами разветвлений сетей может потребоваться установка двойных опор эстакады, от края которых в этом случае и определяется расположение дорог. При размещении низа эстакады выше 5 м над поверхностью земли концы траверс эстакад с сетями могут располагаться над дорогой. В случаях, когда территория предприятия очень ограничена, а инженерных сетей много, эстакаду иногда размещают над дорогой, расставляя ее опоры по обеим сторонам проезда. В этом случае получается экономия территории, однако строительство и эксплуатация сетей и дорог осложняются. Исходя из приведенных соображений, могут быть созданы различные варианты размещения наземных эстакад и подземных проходных каналов по отношению к производственному зданию и проезжей части дороги (рис. 2.5). В случаях, когда сети прокладывают совмещенно в подземных проходных каналах, последние также следует размещать под газонами, а не под проездами, с возможно меньшим приближением к зданиям, а также к проезжей части дорог.



При прокладке сетей в подземных проходных каналах, в которых температура воздуха постоянна и близка к температуре всех транспортируемых материалов, устройства компенсаторов не требуется; если же температура какого-либо транспортируемого материала высока или колеблется, то они необходимы.

Необходимость применения одноопорных или двухопорных эстакад, одного проходного канала или нескольких определяется путем разработки предварительных разрезов строительных конструкций и совмещенно прокладываемых сетей в наиболее характерных местах рассматриваемой площадки.

После нанесения на предварительный генплан предварительных определенных трасс совмещенно прокладываемых сетей с возможными привязками к проездам на территории предприятия отмечают:

- точки вводов сетей в здания согласно заданиям специализированных отделов;
- неподвижные опоры;
- П-образные компенсаторы;
- необходимые и возможные ответвления сетей от эстакад или проходных каналов.

При выполнении этих работ выявляются те места, где возможно установить неподвижные опоры сетей с чем, в свою очередь, связано расположение ответвлений и узлов разветвлений сетей, которые, как правило, следует предусматривать у неподвижных опор.

Эти обстоятельства практически во всех случаях приводят к необходимости корректировки как предварительного генплана объекта, так и расположения точек вводов сетей в здания, если они проектировались по незаконченному генеральному плану. Для выполнения этой задачи ведущий отдел разработывает другим специализированным отделам задания на корректировку предварительных решений, приводя рекомендуемые трассы прокладки совмещенных сетей, оптимальное расположение узлов разветвлений, П-образных компенсаторов, точек вводов сетей в здания и проездных дорог. После рассмотрения этих заданий всеми заинтересованными отделами

**Рис. 2.5. Размещение наземных эстакад и подземных проходных каналов по отношению к проездам и зданиям**

а — эстакада с одной колонной для промежуточных опор и двумя колоннами для неподвижных опор; б — эстакада с двумя колоннами для промежуточных и неподвижных опор; в — эстакада с расположением колонн опор по обеим сторонам проезда; г — односекционный проходной канал; д — двухсекционный проходной канал; 1 — проезд; 2 — здание; 3 — колонны под промежуточные опоры; 4 — колонны под неподвижные опоры; 5 — колонны под опоры П-образных компенсаторов; 6 — инженерные сети; 7 — подземные проходные каналы; 8 — ниши для размещения П-образных компенсаторов

и внесения изменений они принимаются ведущим отделом к исполнению с меньшими или большими поправками для разработки окончательного генерального плана объекта. Опыт показывает, что после расположения зданий и сооружений на окончательном генеральном плане, который обязательно должен иметь строительную координатную сетку, в первую очередь должны быть нанесены трассы наземных эстакад и проходных каналов для прокладки совмещенных сетей, узлы разветвления сетей и места расположения П-образных компенсаторов. Только потом привязываются проезды дороги и полосы расположения остальных инженерных сетей, прокладываемых раздельно подземно. Расстановка опор под эстакады и нанесение на генплан окончательных габаритов П-образных компенсаторов осуществляется на следующих стадиях проектирования при разработке сводного плана инженерных сетей проектируемого объекта.

Этим заканчивается разработка плана трасс наземных эстакад и подземных проходных каналов для осуществления совмещенной прокладки инженерных сетей.

#### 2.4. СОСТАВЛЕНИЕ СВОДНЫХ ТАБЛИЦ МАКСИМАЛЬНО-ЧАСОВЫХ РАСХОДОВ ТРАНСПОРТИРУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЛИ ЭНЕРГИИ

Сводные таблицы максимально-часовых расходов транспортируемых материалов или энергии составляют при наличии: полного перечня зданий и сооружений, расходующих транспортируемые проектируемыми сетями материалы или энергию; заданий на проектирование инженерных сетей с указанием максимально-часовых расходов материалов или энергии для каждого здания и каждого отдельного ввода в здания.

Максимально-часовые расходы транспортируемых по сетям материалов или энергии для каждого отдельного здания, сооружения, предприятия, промзла или района города определяют по заданиям на проектирование с обязательным учетом одновременности расходования материалов и энергии. Таблицы, где сведены эти данные (табл. 2.4) являются основой для определения необходимых диаметров трубопроводов, выполнения гидравлических расчетов сетей, выбора оптимальных насосов и компрессоров, проектирования насосных станций, компрессорных, котельных и местных электростанций, обеспечивающих транспортирование жидких и газообразных материалов по трубопроводам и энергоснабжение существующих и вновь сооружаемых объектов. В каждой сводной таблице максимально-часовых расходов жидких материалов или сжатых газов указывают, на уровне какого года рассматриваются приведен-

2.4. Сводная таблица максимально-часовых расходов жидких материалов на 19 \_\_\_\_ год

Примечание: Объект — производственная площадка; предприятие — ПО "Олайнфарм"

Вид зданий	Максимально-часовые расходы жидких материалов, т/ч							
	рассола $t = -15^{\circ}\text{C}$	соляная кислоты 27,5%	серной кислоты	аммиач- ной воды	дихлор- этана	изопро- пилового спирта	гид- разин- гидрата	щело- чи
Здания:								
производственный корпус № 1	60	5,6	—	2,9	4	2,5	—	4,6
то же № 2	180	9,7	5,9	—	—	2,5	3,3	4,6
" № 3	53	9	5,9	2,9	—	2,5	4,1	1,2
" № 4	150	2,3	—	—	—	—	—	4,6
" № 5	50	3,6	5,9	2,9	4	2,5	4,1	4,6
" № 6	108	5,6	5,9	—	4	2,5	—	4,6
Блок вспомогательных цехов № 12	24	—	—	—	—	0,8	—	—
склад сжиженных газов № 11	30	—	—	—	—	—	—	—
станция стабилизации воды № 19	—	—	0,4	—	—	—	—	—
<b>Итого</b>	<b>655</b>	<b>35,8</b>	<b>24</b>	<b>8,7</b>	<b>12</b>	<b>13,3</b>	<b>11,5</b>	<b>24,2</b>
Одновременность расходов	да	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Коэффициент одновременности	0,7	Материалы в здании подаются не одновременно, а поочередно						
Общий расчетный расход в сети	460	9,7	5,9	2,9	4	2,5	4,1	4,6
Расчетная плотность жидкости, т/м <sup>3</sup>	1,25	1,17	1,84	0,91	1,25	0,78	1,03	1,45

Примечание: Номера зданий взяты с генерального плана.



ные в таблицах величины. Без такой календарной ссылки табличные данные не могут быть использованы в дальнейших расчетах.

Таблицы максимально-часовых расходов материалов составляют для различного времени; их данные должны соответствовать нормативным срокам строительства и эксплуатации отдельных элементов систем трубопроводного транспорта.

Поскольку перекладка трубопроводных сетей во время эксплуатации весьма затруднительна, их проектируют на перспективу 15...25 лет (после ввода их в действие), что ориентировочно соответствует нормативному сроку их службы. Насосные и компрессорные станции и генерирующие установки следует проектировать и сооружать только на перспективу 5 лет, во избежание излишних капитальных затрат и бездействия установленного оборудования. В дальнейшем насосные и компрессорные станции, холодильные установки, котельные и т. п. через каждые последующие пять лет подлежат, по необходимости, расширению или реконструкции, что должно быть учтено при размещении этих установок на разрабатываемых генпланах предприятий. В сводных таблицах приводят данные для определения календарных сроков их расширения.

Максимально-часовые расходы материалов, подводимых к каждому отдельному зданию и сооружению, как уже было сказано, служат для определения диаметров трубопроводов ответвлений и разводящих сетей. Общий расчетный расход, определенный с учетом коэффициента одновременности расходования материалов потребителями является основным показателем для проектирования насосных и компрессорных станций, местных генерирующих установок, а также для выбора оборудования и определения диаметров магистральных участков трубопроводных сетей.

В сводных таблицах максимально-часовых расходов теплоты (табл. 2.5) данные приводятся с учетом нормативных потерь теплоты в наружных сетях, которые принимаются в размере 5%, и с учетом коэффициента одновременности расходования теплоты и пара, который может быть разным в каждом отдельном случае. Последний зависит, в основном, от одновременности действия воздушных завес, систем горячего водоснабжения и одновременности отдельных технологических процессов производства, осуществляемых в разных зданиях. Потери теплоты учитывают в расчетах разводящих сетей и ответвлений; в расчетах котельных и магистральных участков тепловых сетей учитывают как потери теплоты в сетях, так и коэффициент одновременности расходования теплоты и пара.

Поскольку принцип построения сводных таблиц один, они могут быть составлены для любых материалов и видов энергии с учетом их специфических особенностей. Важно лишь то, что

2.5. Сводная таблица максимально-часовых расходов теплоты на 19 \_\_\_\_\_ год

Примечание: объект — производственная площадка; предприятие — Огрский трикотажный комбинат (1-я очередь)

Потребитель теплоты (№ здания по генплану)	Расходы теплоты										Возврат конденсата G, т/ч	Примечания	
	в виде горячей воды Q, ГДж/ч					в виде пара							
	всего	в том числе				давление P, МПа	температура t, °С	расход G, т/ч					
		на отопление	на вентилирование	на кондиционирование	на горячее водоснабжение								
Главный корпус (№ 1)	85,8	12,6	25	23	8,4	16,8	0,6	160	9	8			
Корпус вспомогательных производств (№ 2)	3,4	1,2	1,8	—	0,4	—	—	—	—	—			
Водопримные и водозливные сооружения (№ 3)	1,2	0,4	0,8	—	—	—	—	—	—	—			
Канализационные сооружения (№ 4)	0,8	0,4	0,4	—	—	—	0,4	150	0,5	—			
<b>Итого</b>	<b>91,2</b>	<b>14,6</b>	<b>28,0</b>	<b>23</b>	<b>8,8</b>	<b>16,8</b>	—	—	—	<b>9,5</b>	<b>8</b>		
С учетом потерь теплоты в сетях в размере 5%	95,8	—	—	—	—	—	—	—	—	10	—		
Всего с учетом коэффициента одновременности k = 0,9 по горячей воде и k = 1 по пару	86,2	—	—	—	—	—	—	—	—	10	8		

они должны обеспечить возможность полноценной разработки расчетных схем сетей, выбора оптимальных местных генерирующих установок, насосных, компрессорных станций и диаметров трубопроводов.

## 2.5. РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНЫХ СХЕМ СЕТЕЙ

К разработке расчетных схем совмещенно прокладываемых инженерных сетей приступают при наличии следующих, заранее подготовленных, проектных материалов:

откорректированного плана трасс наземных эстакад и проходных каналов на территории проектируемого предприятия, промышленного узла или района города;

сводных таблиц максимально-часовых, минутных или секундных расходов потребителями транспортируемых материалов или энергии.

Расчетные схемы разрабатывают как для разветвленных трубопроводных сетей, так и для кабелей различного назначения.

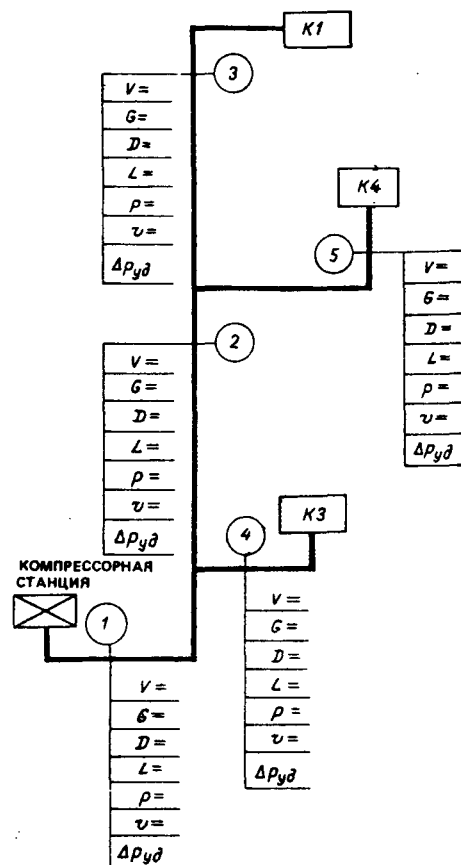
Трубопроводные сети делятся на однострунные, двухтрубные и многотрунные. Однострунные — это сети, не имеющие обратного или циркуляционного трубопровода. Транспортируемые такими сетями материалы принимаются или расходуются потребителями полностью — безвозвратно. По однострунным сетям транспортируются кислоты, щелочи, реагенты, газообразное, жидкое или твердое топливо, сжатый воздух, азот, различные материалы, непосредственно потребляемые в технологических процессах производства или способствующие осуществлению этих процессов.

Двухтрубные — это сети, имеющие обратные или циркуляционные трубопроводы. К ним относятся: двухтрубные водяные тепловые сети; сети горячего водоснабжения, имеющие циркуляционный трубопровод; сети разных хладагентов, обеспечивающих охлаждение некоторых материалов, участвующих в процессах производства; пароконденсатопроводы и др. В приведенном перечне некоторые из двухтрубных сетей работают по закрытой схеме, то есть такой, когда потребитель отбирает только холод или теплоту, присущие конкретному материалу, а сам материал расходуемому не подлежит. Расход массы транспортируемого материала, если пренебречь незначительными потерями в сетях, одинаков в подающем и обратном трубопроводах.

Существуют двухтрубные сети, работающие по открытой схеме. При этом, например, водяные тепловые сети выполняют двойную функцию: во-первых, отдают теплоту радиаторам, конвекторам и калориферам систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха; во-вторых, отдают и сам транспортируемый материал — горячую воду в системах горячего во-

Рис. 2.6. Расчетная схема однострунной сети очищенного и осушенного сжатого воздуха

$V$  — объем сжатого воздуха, протекающего через расчетный участок сети,  $\text{м}^3/\text{мин}$ , при нормальном атмосферном давлении  $p = 0,0981 \text{ МПа}$ ;  $G$  — расход сжатого воздуха в расчетном участке сети,  $\text{т/ч}$ ;  $D$  — условный диаметр трубопровода,  $\text{мм}$ ;  $L$  — длина расчетного участка сети,  $\text{м}$ ;  $p$  — давление в начале расчетного участка сети,  $\text{МПа}$ ;  $v$  — скорость движения сжатого воздуха в трубопроводе,  $\text{м/с}$ ;  $\Delta p_{\text{уд}}$  — удельные потери давления в трубопроводе на трение,  $\text{Па/м}$ ; 1...5 — номера расчетных участков сети; К1...К4 — производственные корпуса — потребители сжатого воздуха



доснабжения для покрытия бытовых и технологических нужд потребителей. Поэтому расчетный расход транспортируемого материала в обратном трубопроводе меньше расчетного расхода в подающем. Такое же явление наблюдается в пароконденсатных сетях при частичном непосредственном использовании пара в технологических процессах.

Двухтрубные сети одинакового назначения сооружаются в целях достижения повышенной надежности снабжения потребителей транспортируемым материалом или видом энергии. Иногда в практике встречаются и многотрунные сети одинакового назначения. Их сооружают как в целях достижения повышенной надежности действия, так и при строительстве предприятий по очередям в течение длительного периода, а

также в случаях непредвиденного расширения или реконструкции предприятий.

Расчетные схемы для каждой разновидности сетей по своему построению в некоторой степени различны.

Расчетными схемами сетей называют исходный проектный материал, подготовленный для последующего выполнения гидравлического расчета трубопроводных сетей, в результате которого определяются их диаметры, потери давления и скорости движения транспортируемого материала в трубах. Для расчета кабельных сетей разного назначения в расчетных схемах отражают их специфические исходные данные.

На расчетной схеме однотрубной сети сжатого воздуха (рис. 2.6) показывают:

- компрессорную станцию;
- трассу сетей, подводимых к каждому отдельному зданию потребителя сжатого воздуха;
- номера или названия зданий потребителей сжатого воздуха;
- нумерацию расчетных участков сети;
- объем сжатого воздуха, протекающего через расчетный участок сети, —  $V$ , м<sup>3</sup>/ч (или м<sup>3</sup>/мин), при нормальном атмосферном давлении  $p = 0,0981$  МПа;
- расход массы сжатого воздуха на каждом отдельном расчетном участке —  $G$ , т/ч;

длину расчетных участков сети —  $L$ , м; расчетным участком сети называют отрезок, расположенный между двумя последующими ответвлениями сети, по которому на всем протяжении протекает одинаковое количество транспортируемого материала. Длину расчетных участков определяют по откорректированному плану трасс наземных эстакад и проходных каналов;

плотность воздуха при нормальном атмосферном давлении —  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>;

одновременность расходования отдельными зданиями транспортируемого по сетям материала.

Значения  $V$  и  $G$  для каждого отдельного здания в расчетных схемах сетей представляют по данным, приведенным в ранее оставленной сводной таблице максимально-часовых расходов транспортируемого материала. В магистральных участках сети расчетные значения  $V$  и  $G$  будут суммой расходов отдельными потребителями только в том случае, если максимальное расходование материалов совпадает по времени во всех зданиях.

В тех случаях, когда такое совпадение отсутствует, значения  $V$  и  $G$  определяют с учетом коэффициента одновременности, приведенного в сводной таблице или в пояснительной записке.

Диаметры трубопроводов  $D$  заносят для наглядности в расчетные схемы уже после выполнения гидравлического расчета проектируемых сетей.

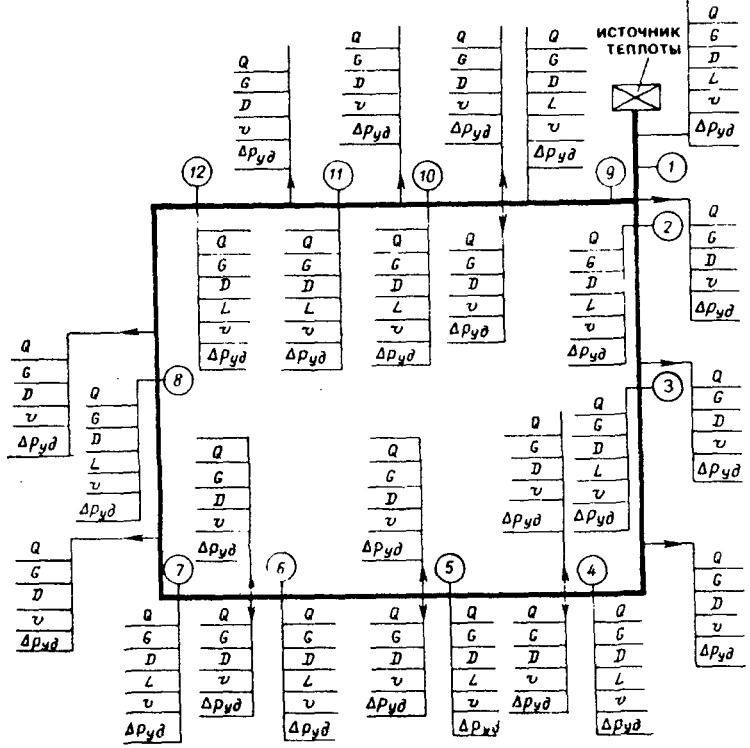


Рис. 2.7. Расчетная схема двухтрубных водяных тепловых сетей, работающих по закрытой схеме  
 $Q$  — расход теплоты, ГДж/ч;  $G$  — расход теплоносителя, т/ч;  $D$  — условный диаметр трубопровода, мм;  $L$  — длина расчетного участка сети, м;  $v$  — скорость движения теплоносителя в трубопроводе, м/с;  $\Delta P_{уд}$  — удельные потери давления в трубопроводе на трение, Па/м; 1...12 — номера расчетных участков сети

В расчетной схеме двухтрубных водяных тепловых сетей, работающих по закрытой схеме (рис. 2.7), приводятся:

- размещение котельной — источника теплоты;
- схемы подающего и обратного трубопроводов. При наличии закрытых схем, в которых расход материалов и диаметры труб в обоих трубопроводах сети одинаковы, обычно дают схему только одного — подающего — трубопровода. В случаях применения открытых схем показ обоих трубопроводов является обязательным;
- номера потребителей теплоты;

нумерация расчетных участков сети, которая при закрытой схеме может быть единой для обоих трубопроводов, при открытой схеме должна быть различной;

расход теплоты в каждом участке подающего трубопровода  $Q$ , ГДж/ч;

расход теплоносителя на расчетных участках  $G$ , т/ч;

длина расчетных участков сети  $L$ , м;

сведения о потерях теплоты в сети и об одновременности расходования теплоты потребителями.

В расчетных схемах расход теплоты  $Q$  первым делом наносят на ответвления к каждому отдельному потребителю по данным, приведенным в сводной таблице максимально-часовых расходов теплоты, с учетом нормативных потерь теплоты в сетях. На магистральных участках сети расходы теплоты определяют в виде суммы расходов по всем ответвлениям, но с учетом понижающего коэффициента одновременности  $k$ .

Расход циркулирующего в тепловых сетях теплоносителя определяют по формуле

$$G = (1/4,19) (Q/\Delta t) 10^3,$$

где 4,19 и  $10^3$  — переводные коэффициенты;  $\Delta t$  — разница расчетных температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах водяных тепловых сетей, °С.

В общем случае

$$G = G_o + G_v + G_{к.в} + G_{г.в} + G_t =$$

$$= \left( \frac{1}{4,19} \right) \left( \frac{Q_o}{\Delta t_o} + \frac{Q_v}{\Delta t_v} + \frac{Q_{к.в}}{\Delta t_{к.в}} + \frac{Q_{г.в}}{\Delta t_{г.в}} + \frac{Q_t}{\Delta t_t} \right) 10^3,$$

где  $G_o, v, к.в, г.в, т$  и  $Q_o, v, к.в, г.в, т$  и  $G$  — соответственно расходы на нужды отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, горячее водоснабжение и технологические нужды потребителей.

Значения  $\Delta t$  определяют по графику температур воды в водяных тепловых сетях (рис. 2.8) каждой конкретной системы теплоснабжения. При этом следует обратить особое внимание на то обстоятельство, что график температур может несколько видоизменяться в зависимости от способа регулирования отдачи теплоты в котельной, а также в зависимости от схемы подключения отдельных теплоиспользующих систем и установок в тепловых пунктах потребителей теплоты.

Обычно графики температур воды в водяных тепловых сетях строятся по режиму отопления — основного вида теплопотребления, с применением способа качественного регулирования отдачи теплоты в котельной. Кроме этих, наиболее распространенных графиков существуют еще и другие, реже встречающиеся, предназначенные для осуществления качественно-

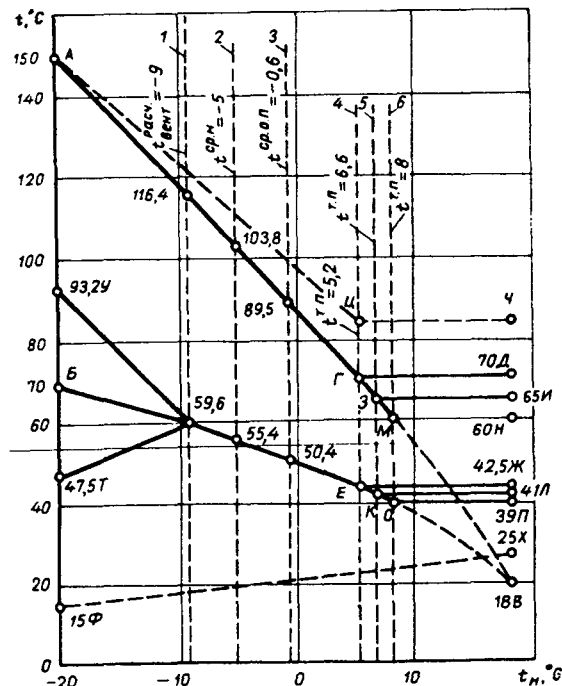


Рис. 2.8. Теоретический график температур воды в водяных тепловых сетях, построенный по режиму отопления при расчетных параметрах теплоносителя 150–70°С, средней температуре наиболее холодных пятидневок –20°С, расчетной температуре вентиляции –9°С

1 — линия расчетной температуры вентиляции при рециркуляции внутреннего воздуха помещений  $t_{\text{вент}}^{\text{расч}} = -9^{\circ}\text{C}$ ; 2 — линия средней температуры наиболее холодного месяца ( $-5^{\circ}\text{C}$ ); 3 — линия средней температуры отопительного периода  $t_{\text{ср.о.п}} = -0,6^{\circ}\text{C}$ ; 4 — линия, проведенная по точке перелома графика температур при расположении перелома на уровне 70°С ( $t^{\text{T.п}} = 5,2^{\circ}\text{C}$ ); 5 — то же, при расположении перелома на уровне 65°С ( $t^{\text{T.п}} = 6,6^{\circ}\text{C}$ ); 6 — линия, проведенная по точкам начала и окончания отопительного периода, которые в настоящем случае совпадают с точками перелома графика температур при расположении перелома на уровне 60°С ( $t^{\text{T.п}} = 8^{\circ}\text{C}$ )

количественного регулирования отдачи теплоты. Существуют также графики, которыми предусматривается повышение температуры теплоносителя в подающем трубопроводе (линия А — Ц — Ч, приведенная на рис. 2.8), осуществляемое при соединении водо-водяных подогревателей систем горячего

водоснабжения потребителей по последовательно включенной схеме в целях снижения расхода теплоносителя в сетях. Кроме упомянутых, имеются еще и иные разновидности графиков температур.

Расчет водяных тепловых сетей ведут в режиме максимального расхода теплоносителя, который определяют следующим образом (при параметрах теплоносителя 150–70°C):

1. Для нужд отопления

$$G_o = (Q_o/4,19\Delta t_o) 10^3.$$

2. Для нужд вентиляции

$$G_v = (Q_v/4,19\Delta t_v) 10^3,$$

где  $\Delta t_v = 150 - 70 = 80^\circ\text{C}$  в случае действия вентиляции без рециркуляции воздуха помещений; при рециркуляции воздуха  $\Delta t_v$  принимают согласно графику температур при расчетной температуре вентиляции. В условиях климата Риги при  $t_v^{\text{расч}} = -9^\circ\text{C}$ ;  $\Delta t_v = 116,4 - 59,6 = 56,8^\circ\text{C}$ .

3. Для нужд кондиционирования воздуха

$$G_{к.в} = (Q_{к.в}/4,19\Delta t_{к.в}) 10^3,$$

где  $\Delta t_{к.в} = 150 - 70 = 80^\circ\text{C}$  при одноступенчатом подогреве воздуха помещений и отсутствии рециркуляции воздуха в калорифере;  $\Delta t_{к.в} = 150 - 70 = 80^\circ\text{C}$  при двухступенчатом подогреве и отсутствии рециркуляции, для калориферов первой ступени;  $\Delta t_{к.в} = 70 - 30 = 40^\circ\text{C}$  для калориферов второй ступени, подключаемых по независимой схеме;  $\Delta t_{к.в} = 116,4 - 59,6 = 56,8^\circ\text{C}$  при двухступенчатом подогреве и наличии рециркуляции в условиях климата Риги для калориферов первой ступени (то же и при одноступенчатом нагреве);  $\Delta t_{к.в} = 70 - 30 = 40^\circ\text{C}$  для калориферов второй ступени.

4. На горячее водоснабжение (для санитарно-бытовых и технологических нужд производства).

$$G_{г.в} = (Q_{г.в}/4,19\Delta t_{г.в}) 10^3; \quad G_T = (Q_T/4,19\Delta t_T) 10^3,$$

где  $\Delta t_{г.в}$  и  $\Delta t_T$  зависят от температуры греющей воды, температуры нагреваемой воды, предназначенной для использования, способа нагрева воды – в одноступенчатых или двухступенчатых водо-водяных подогревателях, а также от схемы подключения подогревателя второй ступени. Но особую роль в нагреве воды играет повышение температуры теплоносителя в подающем трубопроводе по отношению к типовому графику температур, построенному по режиму отопления.

Расчетный расход теплоносителя для нужд горячего водоснабжения определяют по его температурам в точке перелома графика температур. Поскольку температура греющей воды тут минимальная, расход теплоносителя получается максимальным.

Расходы теплоносителя для приготовления горячей воды, используемой на санитарно-бытовые и технологические нужды, определяют согласно СНиП 2.04.07–86.

На предварительных стадиях проектов диаметров водяных тепловых сетей в системе, работающей в параметрами  $t = 150 - 70^\circ\text{C}$ , когда известен общий расход теплоты, но не известно точное распределение ее расходов по видам теплопотребления, для подсчета расходов теплоносителя, принимают следующие значения  $\Delta t$ :

при закрытой схеме с приготовлением горячей воды в одноступенчатых подогревателях  $\Delta t = 64 - 68^\circ\text{C}$ ;

при закрытой схеме с приготовлением горячей воды в двухступенчатых подогревателях, подключенных по смешанной схеме,  $\Delta t = 66 \dots 70^\circ\text{C}$ ;

при открытой схеме  $\Delta t = 68 \dots 72^\circ\text{C}$ .

Некоторая разница в значениях  $\Delta t$  объясняется влиянием вентиляции и кондиционирования воздуха с наличием или отсутствием рециркуляции воздуха помещений. Она также зависит от отношения расхода теплоты на горячее водоснабжение к общему расходу теплоты  $Q$  потребителями.

## 2.6. МЕТОДИКА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ТРУБОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

**Общие сведения.** К составлению гидравлического расчета трубопроводных сетей приступают после разработки их расчетных схем. Гидравлические расчеты сетей можно выполнять и оформлять разными способами. Наиболее удобным способом является выполнение расчетов в табличной форме, которая заметно упрощает как сами расчеты и их проверку, так и пользование полученными результатами.

Различают расчеты сетей для газообразных материалов и жидкостей; материалов, имеющих существенные изменения температуры, вязкости и плотности на своем пути передвижения. На результаты гидравлических расчетов сетей заметное влияние оказывает ламинарность или турбулентность потока струи, материал труб и значение эквивалентной шероховатости их поверхности, местные потери давления в сети. Выполнение гидравлических расчетов различных трубопроводных сетей упрощают и облегчают вспомогательные таблицы для гидравлических расчетов водяных тепловых сетей, паропроводов, конденсатопроводов и мазутопроводов, приведенные в приложе-

ниях к книге. В качестве примера даны гидравлические расчеты некоторых трубопроводных сетей, имеющих определенные особенности.

**Гидравлический расчет водяных тепловых сетей.** Расчет выполняют по форме, приведенной в табл. 2.6, которая по своему построению, кроме графы "Расход теплоты", пригодна для составления гидравлического расчета внешних трубопроводных сетей для большинства жидкостей, имеющих относительно постоянные плотность и кинематическую вязкость на всем пути транспортирования материала. Гидравлический расчет водяных тепловых сетей выполняют в следующем порядке.

1. Вносят в таблицу известные данные, заполняя графы 1, 2, 3 и 6 (см. табл. 2.6).

2. Выбирают оптимальные диаметры трубопроводов исходя из расхода  $G$  теплоносителя. Критерием при этом являются удельные потери давления на трение в трубопроводе  $\Delta p_{уд}$  (графа 10), оптимальное значение которых согласно п. 5.8 СНиП 2.04.07-86 в каждом отдельном случае определяют на основании технико-экономических расчетов.

На практике для систем, имеющих значительный радиус действия, чаще всего для определения диаметров магистралей и ответвлений до наиболее удаленных потребителей, используют значение  $\Delta p_{уд} = 20...60$  Па/м, а для определения диаметров прочих разводящих и внутриквартальных сетей —  $\Delta p_{уд} = 120...180$  Па/м. Окончательное подтверждение того, что в гидравлических расчетах сетей, при выборе диаметров труб приняты оптимальные значения  $\Delta p_{уд}$ , дают графики давления, строящиеся по результатам произведенных гидравлических расчетов.

3. Выбирают по вспомогательной таблице для гидравлического расчета трубопроводов водяных тепловых сетей, приведенной в прил. 1, значения удельных потерь давления  $\Delta p_{уд}$  (графа 10) и скорости движения воды в сетях  $v$  (графа 9). Таблица составлена для расчета сетей горячей воды при эквивалентной шероховатости труб  $k_3 = 0,5$  мм, температуре  $t = 100^\circ\text{C}$ , плотности воды  $\rho = 958,4$  кг/м<sup>3</sup> и кинематической вязкости воды  $\nu = 0,295 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

Следует отметить, что температура горячей воды в сетях может колебаться в пределах 40...150°C и выше. Толщина стенок труб в отдельных случаях также может отличаться от приведенной во вспомогательной таблице. Эти отклонения меняют фактические значения  $\Delta p_{уд}$  и  $v$ , однако результаты гидравлического расчета сетей, выполненного по значениям таблицы, практически не выходят за рамки допустимых ошибок.

4. Определяют по действующему сортаменту труб, фактической максимальной температуре и давлению горячей воды

2.6. Сводная таблица гидравлического расчета водяных тепловых сетей

№ расчетного участка	Расход теплоты $Q_t$ , ГДж/ч		Расход теплоносителя $G$ , т/ч	Размеры труб, мм		Длина участка, м			Скорость движения воды $v$ , м/с	Потери давления			
	$Q_1$	$Q_2$		условный диаметр $D_y$	наружный диаметр $D_n$ и толщина стенки $s$	по плану $L$	эквивалентная местным сопротивлениям $L_3$	приведенная $L_{пр} = L + L_3$		удельные (на трение) $\Delta p_{уд}$ , Па/м	на расчетном участке $\Delta p_{пр}$ , МПа	суммарные $\Sigma \Delta p$ , МПа	
1	314	203	1150	500	529x7	600	540	1140	1,6	46,4	0,0529	0,0529	
2	88	50	720	400	426x7	400	360	760	1,57	58,66	0,0446	0,0975	
3	88	50	320	300	325x8	800	640	1440	1,24	52,58	0,0757	0,1732	
4	50	50	180	250	273x7	500	300	800	0,99	42,08	0,0337	0,2069	
Всего						2300	1840	4140	—	—	—	0,2069	—

в сетях необходимую толщину стенок трубопроводов (графа 5). Нормативные материалы регламентируют минимальную толщину стенок труб при известных параметрах транспортируемой горячей воды.

5. Определяют значения  $L_3$  (графа 7), эквивалентные местным сопротивлениям. Местные потери давления создают задвижки, вентили, обратные клапаны, разное оборудование сети, переходы диаметров труб, ответвления, повороты и т. п.

На рабочей стадии проектирования, когда известно точное число и расположение отдельных элементов местного сопротивления, возможно выполнить наиболее точный гидравлический расчет сети с учетом потерь давления каждым элементом. Однако на стадии разработки проекта или схемных проработок сети, когда вышеуказанные параметры еще не известны, значения согласно СНиП 2.04.07-86 определяют по эмпирической формуле:

$$L_3 = \alpha L,$$

где  $\alpha$  — коэффициент для определения эквивалентной длины участка, соответствующего местным сопротивлениям в тепловых сетях (табл. 2.7);  $L$  — длина расчетного участка по плану, м.

### 2.7. Значения коэффициента $\alpha$ для определения эквивалентной длины местных сопротивлений в тепловых сетях

Тип компенсаторов, применяемых в тепловых сетях	Условный диаметр трубопроводов $D_y$ , мм	$\alpha$	
		для паропроводов	для водяных теплосетей и конденсаторов
<i>В транзитных магистралях</i>			
Сальниковые	$\leq 1400$	0,2	0,2
П-образные с гнутыми отводами	$\leq 300$	0,5	0,3
П-образные со сварными или крутоизогнутыми отводами	200...350	0,7	0,5
	400...500	0,9	0,7
	600...1400	1,2	1
<i>В разветвленных тепловых сетях</i>			
Сальниковые	$\leq 400$	0,4	0,3
П-образные с гнутыми отводами	450...1400	0,5	0,4
	$\leq 150$	0,5	0,3
	175...200	0,6	0,4
	250...300	0,8	0,6
П-образные со сварными или крутоизогнутыми отводами	175...250	0,8	0,6
	300...350	1	0,8
	400...500	1	0,9
	600...1400	1,2	1

6. Определяют парциальные потери давления на отдельных расчетных участках сети (графа 11), а также суммарные (графа 12) — от начала расчетной схемы до наиболее отдаленного потребителя теплоты района, создаваемые гидравлическим сопротивлением системы тепловых сетей.

Полное гидравлическое сопротивление системы представляет собой сумму линейных и местных потерь давления в сетях.

Линейные потери давления вызываются гидравлическим сопротивлением прямых участков сети. Их определяют для каждого расчетного участка отдельно по формуле:

$$\Delta p = 10^{-6} \Delta p_{уд} L,$$

где  $\Delta p_{уд}$  — удельные потери давления, Па/м;  $L$  — длина расчетного участка по плану, м.

На линейные потери давления заметно влияют качество сварных швов и шероховатость внутренних поверхностей труб, образующаяся при их изготовлении, а также дополнительно вызванная коррозией или отложениями при продолжительной эксплуатации сетей.

Местные потери давления создаются гидравлическим сопротивлением отдельных местных элементов сети. Значения местных потерь давления определяют с учетом соответствующих коэффициентов местных сопротивлений  $\zeta$ , приведенных в технической литературе и в паспортных данных применяемого оборудования и арматуры, или приведенным выше способом усредненных результатов, используя равенство  $L_3 = \alpha L$ .

В этом случае общие потери давления на каждом конкретном расчетном участке определяют по формуле

$$\Delta p = \Delta p_{уд} (L + \alpha L) 10^{-6} = \Delta p (L + L_3) 10^{-6}.$$

Суммарные потери давления в сети от начала расчетной схемы до наиболее отдаленного потребителя теплоты района определяют, суммируя потери давления на соответствующих расчетных участках.

**Гидравлический расчет паровых сетей.** Пар по своему качеству делится на перегретый, сухой насыщенный и мокрый.

Наименьшая плотность у перегретого пара, наибольшая — у мокрого, а энтальпия, наоборот, наибольшая — у перегретого и наименьшая у мокрого пара при том же давлении. Поэтому в гидравлических расчетах перегретого, сухого насыщенного и мокрого пара имеются некоторые различия. В расчетах сетей перегретого пара учитывают относительно быстрое снижение температуры пара в паропроводах до температуры насыщения. Мокрый же пар рассчитывают как пароконденсатную смесь.

При этом очень важно правильное определение в расчетах соотношения пара и конденсата в сетях.

Более подробно гидравлические расчеты сетей перегретого и мокрого пара приведены в специальной литературе.

Пример гидравлического расчета сетей сухого насыщенного водяного пара, наиболее часто встречающегося в практике, дан в табл. 2.8, которая по своему построению пригодна для расчета сетей большинства реальных газов.

Гидравлический расчет сетей сухого насыщенного пара выполняются в следующем порядке.

1. Вносят в таблицу известные данные, заполняют графы 1, 2, 5, 8.

2. Определяют оптимальные диаметры трубопроводов (графы 3, 4) исходя из заданных расходов пара  $G$  и допустимых потерь давления в сети  $\Delta p$ , которые, согласно СНиП, являются критериями выбора диаметров паровых сетей. Это значит, что при оптимальной разнице заданных давлений и небольшом расстоянии между источником пара и потребителями можно применять увеличенные скорости движения пара с уменьшенным диаметром паропровода, и наоборот. Однако скорость движения пара по трубопроводам не должна превышать значений, приведенных в табл. 2.9.

В расчете, отображаемом в табл. 2.8, заданное давление пара в начальной точке сети, у стены котельной  $p_H = 1,275$  МПа, а необходимое минимальное давление в конце сети, у наиболее отдаленного потребителя пара  $p_K = 0,981$  МПа. Допустимая потеря давления в сети составляет:  $\Delta p = p_H - p_K = 1,275 - 0,97 = 0,305$  МПа.

При длине трассы паровых сетей от котельной до наиболее отдаленного потребителя  $L = L_1 + L_2 + L_3 = 345 + 430 + 590 = 1365$  м допустимая удельная потеря давления в сети (суммы линейных и местных потерь) имеет следующее значение:

$$\Delta p_{уд}^c = \Delta p \cdot 10^{-6} / L = 0,305 \cdot 10^{-6} / 1365 = 223,4 \text{ Па/м.}$$

Если учесть, что коэффициент  $\alpha$  для определения эквивалентной длины местных сопротивлений в паровых сетях с  $D_y = 300 \dots 400$  мм и П-образными компенсаторами согласно табл. 2.7 имеет значение 1, то допустимая удельная линейная потеря давления составит:

$$\Delta p_{уд}^d = \Delta p_{уд}^c / (1 + \alpha) = 223,4 / (1 + 1) = 111,7 \text{ Па/м.}$$

Оптимальные диаметры паропроводов выбирают по таблице расчета паропроводов, которая составлена при эквивалентной

2.8. Сводная таблица гидравлического расчета сетей сухого насыщенного водяного пара

№ расчетного участка	Расход пара G, т/ч	Размеры труб, м		Длина участка, м			Параметры в начале участка		Параметры при $\rho = 1 \text{ кг/м}^3$	
		условный диаметр $D_y$	наружный диаметр и толщина стенки $D_n \times s$	по плану L	эквивалентная местным сопротивлениям $L_3$	приведенная $L_{пр} = L + L_3$	давление $p_H$ , МПа	плотность пара $\rho_H$ , кг/м <sup>3</sup>	скорость движения пара $v$ , м/с	удельные потери давления $\Delta p_{уд}$ , Па/м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	53	400	426x7	345	345	690	1,275	6,5	110	246
2	48	300	325x8	430	430	860	1,248	6,3	178	905
3	40	300	325x8	590	590	1180	1,118	5,7	148	629
			Всего	1365	1365	2730				

Продолжение табл. 2.8

№ расчетного участка	Расход пара G, т/ч	Параметры при $\rho_{ср}$		Параметры в конце участка		Параметры в начале участка		Средняя плотность пара $\rho_{ср}$ , кг/м <sup>3</sup>	Суммарные потери давления $\Sigma \Delta p$ , МПа
		Предполагаемая средняя плотность пара $\rho_{ср}'$ , кг/м <sup>3</sup>	действительная скорость движения пара $v = v/\rho_{ср}'$ , м/с	действительная скорость движения пара $v$ , м/с	давление $p_K$ , МПа	плотность $\rho_K$ , кг/м <sup>3</sup>	давление $p_K$ , МПа		
1	2	12	13	14	15	16	17	18	19
1	53	6,4	17,2	38,6	0,027	1,248	6,3	6,4	0,027
2	48	6	29,6	150,8	0,13	1,118	5,7	6	0,157
3	40	5,4	27,4	116,5	0,137	0,981	5,1	5,4	0,294
			Всего		0,294				



## 2.9. Максимальные скорости движения пара по паропроводам

Условный диаметр паропровода $D_Y$ , мм	Максимальные скорости движения пара $v$ , м/с	
	перегретого	насыщенного
$\leq 200$	50	35
$> 250$	80	60

шероховатости труб  $k_3 = 0,2$  мм, температуре пара  $t = 300^\circ\text{C}$ , давлении пара  $p = 1,28$  МПа, плотности пара  $\rho = 1$  кг/м<sup>3</sup> (условно) и динамической вязкости пара  $\mu = 20,11$  Па·с (прил. 2).

Гидравлические расчеты сетей сухого насыщенного пара, так же как и расчеты других реальных газов, отличаются от гидравлических расчетов сетей жидких веществ тем, что газы, теряя давление при движении по сетям, одновременно заметно теряют в плотности и увеличиваются в объеме при сохранении той же массы. Жидкости же при изменении давления в плотности и объеме изменяются мало. Поэтому при выполнении гидравлических расчетов паровых сетей на каждом расчетном участке определяют по известному давлению пара действительную плотность сухого насыщенного пара в начале и конце каждого расчетного участка —  $\rho_H$  и  $\rho_K$  (графы 8, 17) и действительную скорость движения пара в сетях (графа 13). Значения  $v_d$  и  $\Delta p_{уд.д}$  при плотности пара  $\rho = 1$  кг/м<sup>3</sup> определяют по таблицам прил. 5, в зависимости от расхода пара  $G$  в паропроводе.

Предполагаемую среднюю плотность пара  $\rho_{ср}$  (графа 12), определяемую для середины расчетного участка, принимают по приблизительным оценкам и в ходе расчета уточняют.

Действительную среднюю скорость пара определяют по формуле:

$$v_d = v_{p1} / \rho_{ср}$$

где  $v$  — скорость движения пара по паропроводу при плотности пара  $\rho = 1$  кг/м<sup>3</sup>, м/с;  $\rho_{ср}$  — средняя плотность пара в середине расчетного участка, кг/м<sup>3</sup>;  $v_{p1}$  — величина, необходимая в формуле для уравнивания единиц измерения,  $v_{p1} = 1$  кг/м<sup>3</sup>.

Действительные удельные потери давления на трение пара в сетях рассчитывают по формуле:

$$\Delta p_{уд.д} = \Delta p_{уд} \rho_1 / \rho_{ср}$$

Если вычисленная средняя плотность пара  $\rho_{ср}$  в середине расчетного участка точно совпадает с ранее принятой предпола-

гаемой плотностью, расчет считается приемлемым и законченным. Если же эти значения не совпадают, то расчет для данного участка повторяется с другими, более приближенными значениями предполагаемой средней плотности пара до полного совпадения с вычисленным значением плотности.

В случае расчета первого участка сети (см. табл. 2.8) для определения оптимального диаметра паропровода необходимо сделать выбор между диаметром  $D_{Hxs} = 377 \times 8$  мм или  $D_{Hxs} = 426 \times 7$  мм, учитывая ранее определенные средние допустимые линейные потери давления всей сети 111,7 Па/м. Удельные линейные потери давления составят: при  $D_Y = 350$  мм — 80 Па/м, при  $D_Y = 400$  мм — 38,6 Па/м. С первого взгляда кажется, что более подходящими для расчетного участка являются трубы  $D_Y = 350$  мм. Однако учитывая, что в настоящее время трубы  $D_Y = 350$  мм поставляют с толщиной стенки не менее 9 мм и масса их составляет 92,56 кг/м, а масса металла труб  $D_{Hxs} = 426 \times 7$  мм составляет только 81,31 кг/м, в итоге принимают трубы  $D_Y = 400$  мм. При этом уменьшение потерь давления на первом расчетном участке может быть с успехом использовано при выборе диаметров труб последующих участков сети.

3. После выполнения гидравлического расчета первого участка выполняют расчет второго и всех последующих участков сети. При этом давление пара, определенное для конца первого участка, переносится на начало второго участка. Такие же действия производят при расчете следующих участков.

4. Определяют значения  $\alpha$ ,  $L_3$ ,  $L_{пр}$ ,  $\Sigma \Delta p$  (графы 6, 7, 19) таким же методом, как для выполнения гидравлических расчетов водяных тепловых сетей.

Суммарные потери давления в рассчитываемых паровых сетях с длиной трассы 1365 м составляют 0,294 МПа. Определенные расчетом потери давления меньше допустимых (0,305 МПа) и достаточно близки к ним. Поэтому результаты выполненного гидравлического расчета являются удовлетворительными.

**Гидравлический расчет конденсатопроводов.** Конденсат водяного пара в конденсатопроводах может пребывать в двух состояниях: в виде горячей воды и в виде пароводяной (паро-конденсатной) смеси.

Конденсат находится в сетях в виде горячей воды в случаях, когда в тепловых пунктах после конденсатоотводчиков потребителя пара осуществлено охлаждение конденсата с использованием его вторичных энергоресурсов или же когда пар вторичного вскипания и низкого потенциала, образующий-

ся во всех случаях за конденсатоотводчиками, либо вторично используют в каком-то процессе производства, либо через открытые конденсатные баки выпускают в атмосферу (в последнем случае происходит потеря энергоресурсов, что недопустимо).

В виде пароводяной смеси конденсат образуется сразу за любым конденсатоотводчиком в результате понижения давления в сети с последующим, на этой основе, понижением температуры насыщения и вскипания пара. Пар, образовавшийся из конденсата путем вскипания при падении давления в сетях, называют паром вторичного вскипания. Кроме этого пара в конденсатопроводах возможно появление пара, попавшего через неплотно закрытые конденсатоотводчики. Такой пар называют пролетным паром.

Пар присутствует на следующих участках конденсатопроводов:

от конденсатоотводчика до охладителя — при наличии охладителя конденсата;

от конденсатоотводчика до точки отбора пара — при наличии парового эжектора, открытого бака конденсата или другого устройства, отбирающего пар;

от конденсатоотводчика до баков конденсата котельной или же до промежуточных баков, размещенных у потребителей пара района, — при безнасосном трубопроводном транспортировании пароконденсатной смеси под давлением собственного давления конденсата. При большой длине конденсатопроводов пар имеется вплоть до места, где потери теплоты сети равны теплоте парообразования, т. е.:

$$Q_{\text{п}} = G \cdot r \cdot 10^{-3},$$

где  $Q_{\text{п}}$  — потери теплоты на рассматриваемом участке конденсатопровода, ГДж/ч;  $G$  — количество вторичного и пролетного пара в конденсатопроводе при его выходе из конденсатоотводчика, т/ч;  $r$  — теплота парообразования (прил. 3), кДж/кг.

Пароконденсатная смесь по своим качествам аналогична мокрому пару и отличается только тем, что содержание пара в ней небольшое — обычно 2...10% по массе, в то время как в мокром паре — 90...99,9%. Поэтому гидравлический расчет пароконденсатных сетей выполняют аналогично расчетам сетей мокрого пара. При расчете особое внимание необходимо обращать на то обстоятельство, что пар при небольшом его содержании по массе занимает значительное место в конденсатопроводе по объему. В связи с этим расчетные диаметры трубопроводов, транспортирующих пароконденсатную смесь, всегда больше диаметров сетей, по которым движется та же масса чистого конденсата.

Порядок выполнения гидравлического расчета конденсатопроводов водяного пара при состоянии конденсата в виде горячей воды, содержание и заполнение сводной таблицы такие же, как при расчете водяных тепловых сетей (см. табл. 2.6), но с учетом нижеследующих факторов.

1. В гидравлических расчетах конденсатных сетей не фигурирует расход теплоты  $Q$ .

2. Эквивалентная шероховатость  $k_{\Sigma}$  внутренней поверхности стальных труб конденсатных сетей согласно СНиП 2.04.07—86 принимается равной 1 мм (для расчета водяных тепловых сетей  $k_{\Sigma} = 0,5$  мм). Поэтому их расчет следует выполнять по таблицам для гидравлического расчета конденсатопроводов водяного пара при эквивалентной шероховатости труб  $k_{\Sigma} = 1$  мм, температуре конденсата  $t = 100^{\circ}\text{C}$ , плотности  $\rho = 958,4$  кг/м<sup>3</sup> и кинематической вязкости конденсата  $\nu = 0,295 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, приведенным в прил. 4.

Повышенная шероховатость конденсатопроводов объясняется тем, что в напорные конденсатопроводы перед насосами, перекачивающими конденсат, попадает через открытые конденсатные баки или через дыхательные трубки закрытых баков кислород воздуха, который способствует коррозии труб, увеличивая их шероховатость (в случае применения черных стальных труб). Такие конденсатопроводы имеют увеличенные потери давления (в среднем на 26% больше, чем потери в водяных тепловых сетях) и быстрее выходят из строя.

В закрытых конденсатных сетях, имеющих охладители конденсата и действующих в результате собственного давления при отсутствии конденсатных баков и насосов перекачки, а также в конденсатопроводах из нержавеющей труб коррозия труб резко сокращается. Для расчета подобных конденсатопроводов следует применять таблицы гидравлического расчета, составленные для труб с пониженной шероховатостью, т. е. при  $k_{\Sigma} = 0,5$  мм (см. прил. 1).

3. Удельные потери давления на трение (критерий выбора оптимальных диаметров конденсатопроводов) должны быть заниженными. Действительно, согласно СНиП 2.04.07—86, значение  $\Delta p_{\text{уд}}$  в конденсатопроводах после насосов должно приниматься не более 100 Па/м. Это объясняется тем, что напор, создаваемый наиболее простыми и распространенными насосами перекачки конденсата марки К, невелик и при относительно длинных конденсатных сетях может оказаться недостаточным.

При выполнении гидравлических расчетов конденсатопроводов следует учитывать то обстоятельство, что расход конденсата в сетях, как правило, определяют по расходу пара потребителем. При этом, в расчетах поток конденсата принима-

ется непрерывным, в то время как фактически конденсат из конденсатных баков перекачивается насосами по сетям периодически, отдельными порциями. Фактический расчетный расход конденсата в сетях, а также периодичность его перекачки зависят, в основном, кроме притока, от емкости конденсатных баков и производительности насосов. Обычно производительность конденсатных насосов полуторно-трехкратно превышает приток конденсата в баки. Хотя при наличии в районе нескольких потребителей пара, возвращающих конденсат через общую сеть в котельную, периоды перекачки конденсата весьма редко совпадают, чем заметно гасятся пики расходов, общий максимально-часовой расход конденсата в сетях после насосов всегда превышает сумму притока конденсата в баки потребителей.

Поэтому выбор оптимальных диаметров конденсатопроводов после насосов следует выполнять при заниженных удельных потерях давления на трение  $\Delta p_{уд} = 20...60$  Па/м в случаях, когда расход конденсата в сетях принимается равным его притоку в баки.

**Гидравлический расчет мазутопроводов.** Мазут к потребителям доставляется по мазутопроводам, создающим при его перекачке потери давления, значения которых зависят от марки мазута и температуры его нагрева. Для сжигания в котельных в основном применяют топочный мазут разных марок, который по содержанию серы делится на высокосернистый, сернистый и малосернистый мазут.

В холодном состоянии мазут — весьма вязкий материал, непригодный для транспортирования по трубопроводам; при нагреве его вязкость снижается, что позволяет перекачку насосами. Минимальная температура нагрева, при которой мазут становится жидким, составляет 35...40°C и зависит от типа, марки и степени сернистости мазута. Чем больше нагрев мазута, тем он становится более текучим и требует меньше энергии на перекачку. С другой стороны, при повышении температуры нагрева увеличивается расход энергии на подогрев, растут потери теплоты в мазутопроводах, а также увеличивается возможность разложения мазута. Поэтому в практике мазут не рекомендуется нагревать выше 135°C.

Гидравлический расчет мазутопроводов выполняют с целью определения оптимального диаметра трубопровода и расчетных потерь давления при заданном расходе мазута в сети и заданной температуре его нагрева. Произведенные гидравлические расчеты дают возможность выполнить технико-экономические расчеты для получения оптимального значения температуры нагрева мазута в конкретной сети мазутопроводов. Гидравлическими расчетами иногда определяют возможные расходы мазута при заданном диаметре трубопровода, темпе-

ратуре его нагрева и допустимых потерях давления в расчетном участке сети. Расчет разветвленных сетей выполняют по заранее разработанной расчетной схеме мазутопроводов. Учитывая, что в настоящее время из всех типов мазута в основном в котельных сжигаются высокосернистые топочные мазуты М-100 и М-40, ниже приведена методика гидравлического расчета сетей именно для этих мазутов, нагретых до температуры от 40 до 135°C.

Гидравлический расчет мазутопроводов теоретически выполняют в следующем порядке:

1. Определяют скорость движения мазута в трубопроводе  $v$  при известном расходе  $G$ , температуре нагрева  $t$  и плотности мазута  $\rho$  по формуле:

$$v = 4G/3600\rho\pi D_B^2,$$

где  $G$  — расход мазута, т/ч; 3600 — число для перевода единицы измерения  $v$ , м/с;  $\rho$  — плотность мазута, т/м<sup>3</sup> (табл. 2.10);  $D_B$  — внутренний диаметр трубопровода, м.

#### 2.10. Зависимость плотности и кинематической вязкости высокосернистых топочных мазутов М-100 и М-40 от температуры их нагрева

Температура $t$ , °С	Плотность $\rho$ , т/м <sup>3</sup>	Кинематическая вязкость $\nu$ , м <sup>2</sup> /(с·10 <sup>-4</sup> )
<b>Высокосернистый топочный мазут М-100</b>		
40	0,98	17,5
50	0,975	8
60	0,97	3,75
70	0,965	2
90	0,952	0,71
100	0,945	0,47
110	0,935	0,33
120	0,93	0,24
135	0,925	0,15
<b>Высокосернистый топочный мазут М-40</b>		
40	0,96	5,2
50	0,955	2,9
60	0,95	1,6
70	0,945	0,95
90	0,932	0,38
100	0,925	0,27
110	0,915	0,19
120	0,910	0,14
135	0,905	0,09

Если расход мазута задан не по массе  $G$  (т/ч), а по объему  $V$  (м<sup>3</sup>/ч), то значения  $V$  переводят в значения  $G = V\rho$ . Так как в начале расчета еще не известен оптимальный диаметр

мазутопровода, необходимо задаться несколькими диаметрами, обеспечивающими скорость движения мазута в сетях в пределах 0,3...2,5 м/с.

2. Определяют характер движения мазута в сетях, которое может быть ламинарным или турбулентным, с помощью безразмерного числа Рейнольдса, вычисляемого по формуле:

$$Re = vD_B/\nu,$$

где  $v$  — скорость движения мазута, м/с;  $D_B$  — внутренний диаметр трубопровода, м;  $\nu$  — кинематическая вязкость мазута, м<sup>2</sup>/с.

Ламинарному движению мазута соответствует значение  $Re < 2040$ , турбулентному —  $Re > 2800$ . Значения числа  $Re$  в пределах 2040...2800 соответствуют неопределенному, переходному режиму движения. При выполнении практических гидравлических расчетов мазутопроводов характер движения мазута в переходном режиме следует относить к турбулентному.

3. Исчисляют безразмерный коэффициент гидравлического сопротивления  $\lambda$ , являющийся функцией числа Рейнольдса.

При ламинарном движении мазута  $\lambda = 64/Re$ . При турбулентном движении мазута  $\lambda$  имеет следующие значения в зависимости от  $D_B$  и  $Re$ :

$$\begin{aligned} D_B &= 25...45 \text{ мм} \dots\dots\dots 0,4Re^{-0,25} \\ D_B &= 50...125 \text{ мм и } Re < 10\,000 \dots\dots\dots 0,3797Re^{-0,25} \\ D_B &= 150 \text{ мм и } Re < 10\,000 \dots\dots\dots 0,3480Re^{-0,25} \\ D_B &= 200...250 \text{ мм и } Re < 30\,000 \dots\dots\dots 0,3164Re^{-0,25} \\ D_B &= 300...500 \text{ мм и } Re < 50\,000 \dots\dots\dots 0,3164Re^{-0,25} \end{aligned}$$

4. При известном значении коэффициента гидравлического сопротивления  $\lambda$  становится возможным определение удельных линейных потерь давления на трение  $\Delta p_{уд}$ , которые исчисляют по формуле:

$$\Delta p_{уд} = \lambda v^2 \rho \cdot 10^3 / 2D_B,$$

где  $\lambda$  — коэффициент гидравлического сопротивления;  $v$  — скорость движения мазута, м/с;  $\rho$  — плотность мазута, т/м<sup>3</sup>;  $D_B$  — внутренний диаметр труб, м.

В принципе удельные потери давления  $\Delta p_{уд}$  при конкретном расходе мазута  $G$  зависят от внутреннего диаметра трубопроводов  $D_B$ , скорости движения  $v$ , кинематической вязкости  $\nu$ , плотности  $\rho$ , безразмерного числа Рейнольдса, характера движения мазута (ламинарного или турбулентного), безразмерного коэффициента гидравлического сопротивления  $\lambda$  и эквивалентной шероховатости труб  $k_3$ .

5. Определяют оптимальные диаметры мазутопровода и потери давления на участке, т. е. полное гидравлическое сопротивление расчетного участка сети:

$$\Delta p = \Delta p_{уд} (L + L_3) 10^{-6},$$

где  $\Delta p_{уд}$  — удельные потери давления, Па/м;  $L$  — длина расчетного участка мазутопровода по плану, м;  $L_3$  — линейная длина участка мазутопровода, эквивалентная местным сопротивлениям, м;  $10^{-6}$  — переводной коэффициент.

Критерием для определения оптимальных диаметров мазутопроводов следует принимать удельные линейные потери давления на трение  $\Delta p_{уд}$ . Многократно выполненные гидравлические расчеты показали, что в качестве такого критерия нецелесообразно принимать скорость движения мазута  $v$ , рекомендуемую технической литературой: в напорных мазутопроводах — 2,5...3 м/с, во всасывающих — 1,3 м/с. Такие скорости движения, особенно при малонагретом мазуте, приводят к весьма большому потерям давления в напорных сетях и увеличению расхода электроэнергии на перекачку топлива.

Практически для определения оптимальных диаметров мазутопроводов рекомендуется принимать в расчетах следующие значения  $\Delta p_{уд}$ : для всасывающих линий и напорных магистральных сетей относительно большой протяженности —  $\leq 120$  Па/м; для коротких напорных линий и ответвлений —  $\leq 300$  Па/м.

Увеличение значения  $\Delta p_{уд}$  оправдано только в особых случаях; при этом не следует увеличивать скорость движения мазута во всасывающих ( $v = 1,3$  м/с) и напорных ( $v = 2,5$  м/с) линиях.

Общая потеря давления  $\Delta p$  (полное гидравлическое сопротивление) расчетного участка мазутопровода представляет собой сумму линейных потерь давления  $\Delta p_L$  на прямых участках сети, образующихся при трении мазута о стенки труб, и местных потерь давления  $\Delta p_M$  в оборудовании, арматуре,

на поворотах, разветвлениях и переходах диаметров сети. Линейные потери давления определяют по формуле:  $\Delta p_L = \Delta p_{уд} L \cdot 10^{-6}$ , а местные потери давления — по формуле:  $\Delta p_M = \rho_{уд} L_3 \cdot 10^{-6}$ . Линейную длину участка  $L_3$ , эквивалентную местным сопротивлениям, м, возможно определить двумя способами.

Первым, теоретически наиболее точным способом определения местных потерь давления и соответствующих им значений  $L_3$  является исчисление потерь давления на каждом

отдельном элементе местных сопротивлений расчетного участка сети согласно паспортным данным оборудования и коэффициентам местных сопротивлений  $\xi$ , приведенным в специальной технической литературе для выполнения гидравлических расчетов мазутопроводов. Однако таким способом можно определить местные потери давления только на рабочей стадии проектирования, когда известно точное число и расположение отдельных элементов местного сопротивления.

Вторым, практически более удобным и легко выполнимым способом, применяемым на стадии проекта или схемных проработках, когда еще не известно общее число и расположение элементов местного сопротивления в сетях, является способ, рекомендованный СНиП 2.04.07–86 для определения значения по эмпирической формуле:

$$L_3 = \alpha L,$$

где  $\alpha$  — коэффициент для определения эквивалентной длины участка, соответствующего местным сопротивлениям в мазутопроводах (табл. 2.11).

При этом местные потери давления, образующиеся в оборудовании (если такое имеется в сетях), определяют по паспортным данным и учитывают дополнительно.

Приведенный порядок выполнения гидравлического расчета мазутопроводов наглядно показывает, что при отсутствии вспомогательных материалов он связан со значительной затратой труда и времени. В этих случаях также увеличивается возможность появления ошибок в расчетах. Проектным институтом "Латгипропром" разработаны таблицы для гидравлического расчета трубопроводов высокосернистого топочного мазута М-100 (прил. 5), применение которых существенно облегчает и упрощает выполнение расчетов мазутных сетей. Таблицы составлены при эквивалентной шероховатости труб  $k_3 = 0,5$  мм, температуре мазута  $t = 40...135^\circ\text{C}$ , плотности его  $\rho = 0,925...0,98$  т/м<sup>3</sup> и кинематической вязкости  $\nu = (0,15 \times 10^{-4}) \dots (17,5 \cdot 10^{-4})$  м<sup>2</sup>/с.

Ниже даны примеры выполнения гидравлических расчетов мазутопроводов с применением упомянутых вспомогательных таблиц.

**Пример 1.** Необходимо определить потери давления в разветвленном мазутопроводе  $D_{нхс} = 108 \times 4$  мм с длиной трассы  $L = 500$  м, транспортирующем высокосернистый топочный мазут М-100 в количестве 58 т/ч, нагретый до  $t = 90^\circ\text{C}$ . Мазутопровод сооружен с применением П-образных компенсаторов и гнутых отводов. Число элементов, где возникают местные сопротивления, неизвестно.

Решение:

$$\begin{aligned} \Delta p &= \Delta p_{уд} (L + L_3) 10^{-6} = \Delta p_{уд} (L + \alpha L) 10^{-6} = \\ &= 1146 (500 + 0,3 \cdot 500) 10^{-6} = 0,745 \text{ МПа}, \end{aligned}$$

## 2.11. Коэффициент $\alpha$ для определения эквивалентной длины участка местных сопротивлений в сетях топочного мазута М-100 и М-40 (применительно к водяным тепловым сетям по СНиП 2.04.07–86)

Тип компенсаторов, применяемых в мазутопроводах	Условный диаметр трубопроводов $D_{у'}$ , мм	Значение коэффициента $\alpha$ для мазутопроводов
---	--	---

### В транзитных магистралях

Сальниковые	$\leq 500$	0,2
П-образные с гнутыми отводами	$\leq 300$	0,3
П-образные со сварными или крутоизогнутыми отводами	200...350	0,5
	400...500	0,7

### В разветвленных мазутопроводах

Сальниковые	$\leq 400$	0,3
П-образные с гнутыми отводами	$\leq 150$	0,3
	175...200	0,4
	250...300	0,6
П-образные со сварными или крутоизогнутыми отводами	175...250	0,6
	300...350	0,8
	400...500	0,9

где значение  $\Delta p_{уд} = 1146$  Па/м определено по таблице прил. 4 путем интерполяции; коэффициент  $\alpha$  взят из табл. 2.11. Скорость движения мазута  $v = 2,17$  м/с, определенная по прил. 4 путем интерполяции.

**Пример 2.** Определить потери давления в разветвленном мазутопроводе  $D_{нхс} = 159 \times 4,5$  мм с длиной трассы  $L = 500$  м, транспортирующем высокосернистый топочный мазут М-100 в количестве 58 т/ч, нагретый до  $t = 90^\circ\text{C}$ . Мазутопровод сооружен с применением П-образных компенсаторов и гнутых отводов. Число элементов, где возникают местные сопротивления, неизвестно.

Решение:

$$\begin{aligned} \Delta p &= \Delta p_{уд} (L + \alpha L) 10^{-6} = \\ &= 92,7 (500 + 0,3 \cdot 500) 10^{-6} = 0,06 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Скорость движения мазута  $v = 0,97$  м/с.

Весьма близкие друг к другу примеры 1 и 2, в которых меняются только диаметры труб, дают возможность осуществить технико-экономические расчеты для определения предпочтительности экономии металла труб или электроэнергии, затрачиваемой на перекачку мазута.

**Пример 3.** Определить возможный расход высокосернистого топочного мазута М-100, нагретого до температуры  $t = 50^\circ\text{C}$  в транзитном мазутопроводе, сооруженном из труб  $D_{нхс} = 273 \times 7$  мм, при допустимых потерях давления на расчетном участке  $\Delta p = 0,39$  МПа. Транзитный мазутопровод с длиной трассы  $L = 2500$  м сооружен с применением П-образных компенсаторов и сварных отводов. Число элементов, где возникают местные сопротивления, неизвестно.

Решение:

$$\begin{aligned} \Delta p_{уд} &= \Delta p \cdot 10^6 / (L + \alpha L) = \\ &= 0,39 \cdot 10^6 / (2500 + 0,5 \cdot 2500) = 103,8 \text{ Па/м}, \end{aligned}$$

где  $a$  определен по *табл. 2.11*. Значению  $\Delta p_{уд} = 103,8$  Па/м при диаметре труб  $D_y = 250$  мм и температуре нагрева мазута  $t = 50^\circ\text{C}$  согласно *прил. 4* соответствуют расход  $G = 50$  т/ч и скорость движения мазута в сети  $v = 0,28$  м/с.

**Пример 4.** Необходимо определить возможный расход высокосернистого мазута М-100, нагретого до температуры  $t = 135^\circ\text{C}$ , в транзитном мазутопроводе  $D_y = 250$  мм при  $\Delta p = 0,39$  МПа. Транзитный мазутопровод с длиной трассы  $L = 2500$  м оснащен П-образными компенсаторами и сварными отводами. Число элементов, где возникают местные сопротивления, неизвестно.

Решение:

$$\Delta p_{уд} = \Delta p \cdot 10^6 / (L + aL) = \\ = 0,39 \cdot 10^6 / (2500 + 0,5 \cdot 2500) = 103,8 \text{ Па/м.}$$

Значению  $\Delta p_{уд} = 103,8$  Па/м при  $D_y = 250$  мм и температуре нагрева мазута  $t = 135^\circ\text{C}$  по *прил. 4* соответствуют расход  $G = 274$  т/ч и скорость движения мазута  $v = 1,53$  м/с.

Примеры 3 и 4 показывают, что при нагреве мазута до  $135^\circ\text{C}$  по сравнению с нагревом до  $50^\circ\text{C}$  по тем же сетям с теми же потерями давления возможно увеличить скорость транспортирования мазута пятикратно ( $274/50 = 5,5$ ). Расход энергии на увеличение подогрева мазута и потери теплоты в сетях при этом, конечно, возрастут. Примеры 3 и 4 дают возможность оценить роль нагрева мазута и сделать технико-экономические сравнения вариантов для определения целесообразности увеличения пропускной способности сетей, экономии металла труб и электроэнергии, затрачиваемой на перекачку мазута, с учетом дополнительного расхода теплоты на увеличение нагрева топлива и потерь теплоты в сетях.

В случаях, когда рассматриваемая сеть состоит из нескольких расчетных участков с различными значениями параметров  $G$  и  $D$ , гидравлические расчеты мазутопроводов выполняются в табличной форме, аналогичной той, которая применяется для расчета конденсатопроводов, а также водяных тепловых сетей (см. *табл. 2.6*).

На практике встречаются случаи, когда необходима высокая точность определения потерь давления на отдельных расчетных участках мазутных сетей. Это выполняем на стадии рабочих чертежей проекта при точном определении значений линейных потерь давления как расчетного участка, так и каждого элемента местных сопротивлений сети, при отказе от применения в расчетах усредненного коэффициента  $a$ . Решение такой задачи предложено проектным институтом "Латгипропром" в справочном пособии по гидравлическому расчету мазутопроводов.

**Гидравлические расчеты сетей кислот, щелочей, реагентов и других жидких материалов.** Подбор оптимальных диаметров труб в сетях жидких химических продуктов усложнен необходимостью одновременного учета разнообразных факторов, как, например: различные плотности и кинематическая

вязкость транспортируемых жидкостей при разных температурах их нагрева; различный материал применяемых труб и разная степень шероховатости их внутренней поверхности и др.

Однако методика расчетов и вспомогательные материалы, приведенные в настоящей книге и упомянуто выше справочном пособии "Гидравлический расчет мазутопроводов", создают возможность с достаточной точностью выполнить гидравлические расчеты почти любых жидкостей в случаях, когда известны значения расхода, плотности и кинематической вязкости транспортируемого вещества, материал и размеры труб, а также влияние этого вещества на материал труб для определения коэффициента шероховатости труб при длительной нормативной их эксплуатации.

Пример гидравлического расчета сети соляной кислоты концентрации 27,5% приведен в разделе 2.8.

## 2.7. СОСТАВЛЕНИЕ ГРАФИКОВ ДАВЛЕНИЙ

**Общие сведения.** Движение жидких, пульпо- и газообразных веществ в трубопроводах происходит за счет разности давлений в разных точках сети, значения которых наглядно отражают графики давлений в конкретных сетях (в технической литературе иногда их называют пьезометрическими). Графики разрабатывают после составления расчетных схем и гидравлического расчета рассматриваемых сетей. Они дают ответы на целый ряд важнейших вопросов проектирования и эксплуатации трубопроводных инженерных сетей. К ним относятся: проверка правильности выбора диаметров, определенных гидравлическими расчетами сетей различного назначения; определение необходимых давлений, подлежащих созданию циркуляционными (сетевыми) и подпиточными насосами, устанавливаемыми в источниках теплоты и холода в двухтрубных закрытых или открытых схемах водяных тепловых сетей и холодопроводов;

определение мест расположения подкачивающих насосных станций, давлений, создаваемых подкачивающими насосами как в двухтрубных, так и однострунных сетях разных жидкостей;

нахождение мест расположения компрессорных станций и определение необходимых давлений, создаваемых компрессорами в однострунных сетях различных реальных газов;

определение давлений в системах напорных конденсатопроводов и выбор на этой основе насосов перекачки конденсата, устанавливаемых в тепловых пунктах или насосных станциях потребителей;

определение располагаемого давления на вводах потребителей района при наличии двухтрубных сетей различных жидкостей;

определение давления транспортируемого материала на вводах потребителей при наличии однострубных сетей жидкостей, водяной пульпы или реальных газов;

определение давления в двухтрубных сетях различных жидкостей и однострубных сетях жидкостей и водяной пульпы по отношению к геодезической высоте расположения трубопроводов для нахождения возможных мест образования вакуума в сетях, а также образования паров при наличии горячих жидкостей, температура которых превышает температуру парообразования жидкого вещества (воздух, подсосываемый из атмосферы при вакууме, а также пар, образовавшийся при вскипании жидкости, препятствуют движению жидких веществ по трубам и, в ряде случаев, даже прекращают его).

Каждой трубопроводной системе сетей, каждому транспортируемому по трубопроводам материалу в конкретных условиях местности соответствует свой график давлений. График давлений двухтрубных сетей по виду значительно отличается от графика однострубных сетей. Определенными особенностями обладают графики давлений жидкостей, плотность которых значительна, и графики давлений сжатых реальных газов, имеющих относительно небольшую плотность. Ниже приведены некоторые наиболее характерные примеры построения графиков давлений.

**График давлений для двухтрубных водяных тепловых сетей, работающих по закрытой схеме.** Построение этих графиков (рис. 2.9) выполняют в следующем порядке.

1. На координатную сетку в соответствующем масштабе наносят профиль поверхности земли по трассе водяной тепловой сети на участке, соответствующем расчетной схеме, — обычно от источника теплоты до наиболее отдаленного потребителя. Для построения профиля земной поверхности используют абсолютные геодезические отметки, принимая за отметку 0,00 уровень пола источника теплоты или уровень поверхности земли в начальной точке расчетной схемы. Профиль земной поверхности наносят в масштабе: 1 м = 0,01 МПа.

2. Отмечают на графике начальные и конечные точки каждого участка тепловой сети согласно данным расчетной схемы сети и в соответствующие колонки графика вписывают номер и длину расчетного участка.

3. В соответствующие колонки, по данным сводной таблицы гидравлического расчета сети, записывают определенные расчетом условные диаметры трубопроводов и названия точек или мест прокладки тепловой сети (узлов, камер, улиц и т. д.).

4. Вычерчивают линии давления теплоносителя в подающем и в обратном трубопроводах сначала в динамическом,

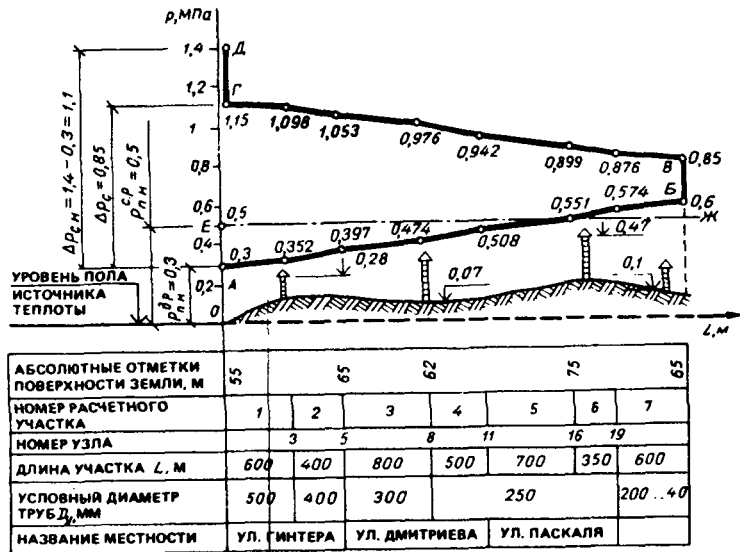


Рис. 2.9. График давлений для двухтрубных водяных тепловых сетей, работающих по закрытой схеме  
 А—Б — линия давления в обратном трубопроводе в условиях динамического режима со значениями давления по отношению к уровню пола источника теплоты; Б—В — линия потерь давления в тепловом пункте наиболее отдаленного потребителя теплоты; В—Г — линия давления в подающем трубопроводе в условиях динамического режима со значениями давления по отношению к уровню пола источника теплоты; Г—Д — линия потери давления в источнике теплоты; Е—Ж — линия давления в условиях статического режима, то есть при работе подпиточных насосов и отключении сетевых насосов;  $\Delta p_{с.н}$  — разность давлений, создаваемая сетевыми насосами;  $\Delta p_{с}$  — суммарные потери давления в наружных тепловых сетях, тепловых пунктах и местных системах потребителей теплоты;  $p_{п.н}^{ср}$  — давление в системе, создаваемое подпиточными насосами в условиях статического режима;  $p_{п.н}^{др}$  — то же, в условиях динамического режима

а затем в статическом режиме действия системы. При статическом режиме сеть наполнена теплоносителем и система находится в состоянии готовности к работе под давлением, созданным подпиточными насосами; сетевые (циркуляционные) насосы не работают, движение теплоносителя в сети отсутствует и потребители теплоты не получают. В динамическом режиме кроме подпиточных насосов уже действуют сетевые насосы, теплоноситель в системе движется за счет разности давления в сети, и потребители района получают теплоту, созданную в источнике теплоты.

Линии давления строят следующим образом. Наносят точку *A* линии давления динамического режима *A–B–B–Г–Д*, показывающую давление теплоносителя в обратном трубопроводе у стены источника теплоты. Точку *A* выбирают над полом источника теплоты так, чтобы давление в обратном трубопроводе было минимально допустимым, то есть 0,15... 0,3 МПа. Это является достаточным для преодоления падения давления на участке обратного трубопровода до сетевых насосов источника теплоты, поддержания в них необходимого подпора, а также обеспечивает необходимое давление для снабжения теплотой расположенных поблизости 3–9-этажных домов и препятствует образованию вакуума в элементах местных систем, расположенных в верхних этажах и на чердаках зданий.

Исходя из данных гидравлического расчета сети по участкам, наносят в масштабе графика линию давления *A–B* в обратном трубопроводе. В конечных точках каждого участка сети записывают значение вычисленного давления по отношению к отметке пола источника теплоты. После построения линии *A–B* проверяют ее соответствие требованиям всех потребителей теплоты по трассе данной сети.

Так, линия *A–B* должна проходить не менее чем на 5 м над перекрытиями верхнего этажа всех обеспечиваемых теплотой зданий района. Дома, для которых не удается осуществить это условие, следует присоединить к системе либо путем применения регуляторов давления "до себя" в случае достаточного давления в подающем трубопроводе, либо подключением здания по независимой схеме в случае недостаточного давления в подающем трубопроводе. Для удобства проверки выполнения этого требования на графике указывают наиболее характерные здания района и высоту их расположения по отношению к линиям *A–B* и *B–Г*.

Далее необходимо, чтобы линия *A–B* находилась не выше 55 м над поверхностью земли. Это требование вызвано тем обстоятельством, что обычные чугунные радиаторы и другие нагревательные приборы, устанавливаемые в подвальных этажах, изготовляют на допустимое рабочее давление, не превышающее 0,6 МПа. Здания, для которых данное условие невыполнимо, следует либо присоединить по независимой схеме, либо для подвала и нижних этажей устанавливать в качестве нагревательных приборов регистры, изготовленные из стальных труб, допустимое рабочее давление в которых составляет более 1 МПа.

Если линия *A–B* не удовлетворяет обоим указанным требованиям, ее положение изменяют, поднимая или опуская в зависимости от конкретных условий рельефа местности, высоты застройки и т.п. В некоторых случаях требуется сделать линию

*A–B* более пологой или более крутой. Для этого становится необходимым повторное выполнение гидравлического расчета сетей с увеличением (линия *A–B* станет более пологой) или уменьшением (линия *A–B* станет более крутой) диаметров труб некоторых участков.

После построения, проверки и исправления линии *A–B* на график давлений наносят отрезок *B–B*, отображающий потери давления в тепловых пунктах и местных системах самой отдаленной от источника теплоты группы потребителей. Предполагая, что эти системы присоединены по зависимой, экономически наиболее эффективной схеме и в тепловых пунктах потребителей установлены водоструйные элеваторы, регуляторы расхода типа РР и аппаратура учета расходомерной теплоты, потери давления, изображенные отрезком *B–B*, составят 0,25 МПа. Отсюда следует, что потери давления, возникающие в системах наиболее отдаленных потребителей теплоты, в значительной степени влияют на общие потери давления всей системы, а также на значения давлений в подающем трубопроводе сети, как это видно из рис. 2.9. Поэтому всегда желательно всемерное снижение потерь давления в районах, наиболее отдаленных от источников теплоты. При этом возможно получить значительный экономический эффект, присоединяя отдельные концевые группы потребителей теплоты к районным тепловым сетям по независимой схеме, а также применяя аппаратуру учета теплоты с малыми потерями давления.

Затем по данным гидравлического расчета сети на график наносят линию давления *B–Г* в подающем трубопроводе. Эта линия имеет направление от наиболее отдаленного потребителя (точка *B*) к источнику теплоты (точка *Г*). При построении графика для закрытых схем теплоснабжения линия давлений *B–Г* подающего трубопровода в динамическом режиме имеет вид зеркального изображения линии давлений *A–B* в обратном трубопроводе, поскольку расход теплоносителя и диаметры соответствующих участков сетей одинаковы. На линии *B–Г* записывают давления в конечных точках всех расчетных участков сети по отношению к геодезической отметке пола источника теплоты.

После этого проверяют соответствие линии давлений *B–Г* следующему обязательному условию: во всех высоко расположенных точках района теплоснабжения, обеспечиваемых теплоносителем (горячей водой с наивысшей температурой), давление по линии *B–Г* должно быть выше давления парообразования при данной температуре. В противном случае для предотвращения вскипания теплоносителя линию *B–Г* следует поднять. Если это приводит к экономически невыгодным последствиям, то для потребителей теплоты, не удовлетворенных достаточным давлением в подающем трубопро-



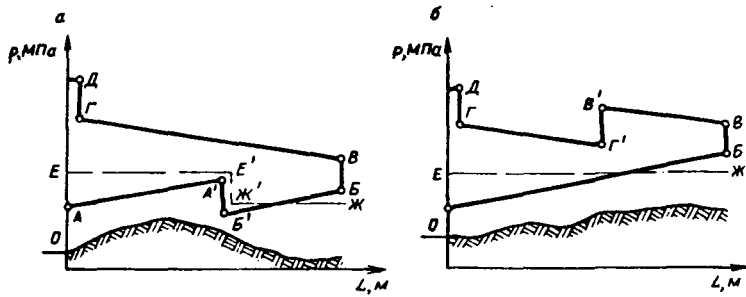


Рис. 2.10. Некоторые типы графиков давлений для двухтрубных водяных тепловых сетей, работающих по закрытой схеме, при установке подкачивающих насосных станций на обратном и подающем трубопроводах  
 а — с расположением подкачивающей насосной станции на обратном трубопроводе; б — с расположением насосной станции на подающем трубопроводе. Условные обозначения см. на рис. 2.9

воде, необходимо понизить температуру теплоносителя в местных системах с помощью водоструйных элеваторов или смесительных насосов.

Иногда в зависимости от местного рельефа поверхности земли и других обстоятельств на основе технико-экономических соображений принимают решения о преломлении линий А—Б или В—Г с сооружением в местах перелома подкачивающих насосных станций для необходимого повышения давления в сети (рис. 2.10).

Составление графика давлений динамического режима системы заканчивают нанесением на него отрезка Г—Д, отображающего потери давления в источнике теплоты — в тракте водогрейных котлов, пароводяных подогревателях, приборах учета теплоты и системе трубопроводов. Эти потери, составляющие 0,2...0,45 МПа, как правило, значительны по сравнению с потерями в системе теплоснабжения в целом. Поэтому необходимо всемерно стремиться к их снижению.

После построения, проверки и исправления графика давлений при динамическом режиме работы сети на график наносят линию статического давления Е—Ж. Она всегда горизонтальна, поскольку сетевые насосы не работают, циркуляция теплоносителя в сетях отсутствует и потерь давления в системе теплоснабжения нет. Статический режим в системе устанавливается, если по какой-либо причине перестают работать сетевые насосы. Заданное статическое давление в сети поддерживается постоянно действующими подпиточными насосами. По отношению к линии статического давления существуют те же требования, что и к линии давления в обратном трубопроводе при динамическом режиме системы, а именно:

линия статического давления должна проходить не менее чем на 5 м выше перекрытия верхнего этажа зданий, стоящих на самой высокой отметке района, присоединенных по зависимой схеме, с тем, чтобы их местные системы всегда были заполнены водой и в них не подсасывался воздух;

линия должна находиться на высоте, не превышающей 60 м над полом первого этажа зданий, расположенных на самых низких отметках района, с тем, чтобы предотвратить разрыв нагревательных приборов, расположенных в подвалах и на первых этажах этого района.

При невозможности обеспечения всего района централизованного теплоснабжения одной единой линией статического давления определяют две или несколько таких линий на разных высотных отметках. Каждая из них обеспечивает работоспособность и надежность системы своей, обособленной, части района (см. рис. 2.10, а).

Подпиточные насосы следует выбирать так, чтобы они создавали давление в точках А и Е, превышающее по меньшей мере на 0,05 МПа давление, определенное графиком давлений (см. рис. 2.9). Таким образом обеспечивается необходимый запас давления для подпитки сетей и создается компенсация потерь давления в насосной установке.

**График давлений для двухтрубных водяных тепловых сетей, работающих по открытой схеме.** Эти графики отличаются от графиков давлений сетей, работающих по закрытой схеме тем, что линия давлений А—Б обратного трубопровода становится более пологой при одинаковых диаметрах соответствующих участков подающих и обратных трубопроводов сети. Причиной пологости линии А—Б является снижение расхода теплоносителя в обратном трубопроводе за счет отбора его из системы для непосредственного обеспечения нужд горячего водоснабжения потребителей. Это приводит к снижению удельных потерь давления в трубопроводе и заметному понижению давления в точке Б. В свою очередь, понижение давления в точке Б определяет также соответствующее понижение давлений в точках В, Г, Д. Так, например, в случае, если расход теплоносителя при непосредственном отборе его для нужд горячего водоснабжения потребителей в максимальном режиме составит 75% общего, то давление в точках Б, В, Г, Д согласно расчету снизится на 0,14 МПа. Снижение давления в упомянутых точках графика в итоге приводит к снижению давления, преодолеваемого сетевыми насосами (отрезок Д—А), на 12,7%, что соответственно снижает расход электроэнергии на перекачку теплоносителя в системе и дает определенный экономический эффект.

**График давления для двухтрубных рассолопроводов, работающих по закрытой схеме.** Этот график строят аналогично графикам водяных тепловых сетей, но требования здесь гораздо менее строгие. Поскольку рассолы имеют пониженную тем-

пературу, вскипание их паров невозможно и поэтому нет необходимости в поддержании увеличенного давления в рассолопроводах. При построении рельефа поверхности земли, а также самого графика давлений в системе рассолопроводов, определении высоты зданий потребителей, обеспечиваемых холодом, необходимо учесть увеличенную плотность рассола по отношению к воде. Высоту поверхности земли и зданий на ординате графика давлений в принятом масштабе определяют по следующей формуле:

$$\rho = 1,02 \cdot 10^{-2} N \rho,$$

где  $1,02 \cdot 10^{-2}$  — переводной коэффициент;  $N$  — высота поверхности земли в рассматриваемой точке по отношению к поверхности пола холодильной станции, м;  $\rho$  — плотность рассола, т/м<sup>3</sup>.

Потери давления на холодильной станции ниже, чем в источнике теплоты любого типа. Они понижены также у потребителя холода по сравнению с потребителем теплоты в связи с отсутствием водоструйных элеваторов, снижающих температуру теплоносителя. На построение графика существенно влияет месторасположение потребителей холода по высоте, то есть на этажах и в подвалах зданий. Поэтому до разработки графиков давлений рассолопроводов необходимо выяснить следующее:

- допустимые потери давления в тракте рассолопроводов, расположенных на холодильной станции;
- допустимые потери давления в тракте рассолопроводов, расположенных в зданиях потребителей холода;
- плотность рассола, транспортируемого сетями;
- высоту месторасположения холодоиспользующего оборудования по отношению к поверхности земли у каждого здания /потребителя.

В тех случаях, когда холодоиспользующее оборудование потребителей расположено в подвалах или на нижних этажах зданий, а высотная отметка размещения сетевых насосов перекачки рассола на холодильных станциях — на отметках цокольных этажей зданий потребителей холода или выше, система холодоснабжения может работать без подпиточных насосов. Функции подпиточных насосов, компенсирующих относительно небольшие утечки в сети, в этих случаях исполняют баки рассола, размещенные на необходимой высоте, или гидрофоры.

**График давлений для паровых сетей.** Графики давлений для паровых сетей несколько отличаются от графиков давлений для водяных тепловых сетей, и построение их значительно проще. На графике давлений паровых сетей имеется только одна линия, соответствующая (условно) линии давлений подающего трубопровода водяных тепловых сетей. Построе-

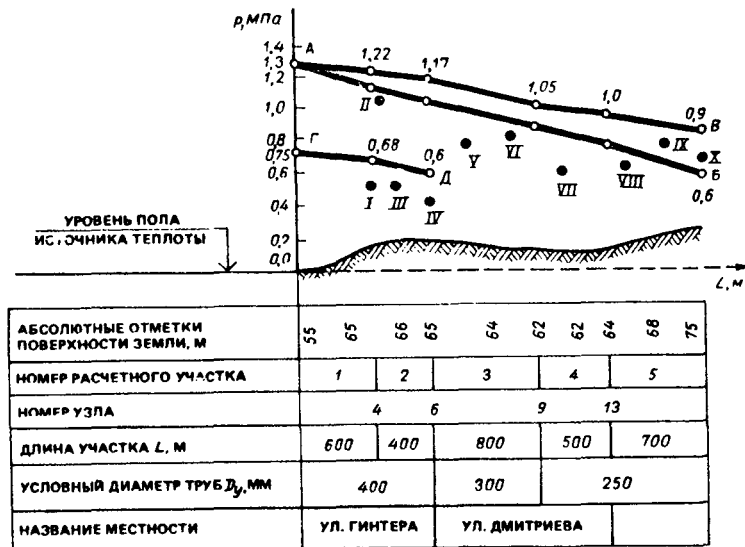


Рис. 2.11. График давлений для паровых сетей  
 А—Б — линия давления пара до корректирования диаметров паропровода; А—В — то же, после корректирования; Г—Д — линия давления пара во втором паропроводе, предназначенном для редуцированного в источнике теплоты пара; I...X — необходимые потребителям давления пара

ние графика практически не зависит от рельефа земли ввиду незначительной плотности пара (для пара с рабочим давлением  $p = 1,1...1,4$  МПа плотность находится в пределах  $\rho = 5,2...7,5$  кг/м<sup>3</sup>, что по сравнению с плотностью горячей воды  $\rho = 958,4$  кг/м<sup>3</sup> является незначительной величиной). В паровых сетях, как правило, не применяют установок для повышения давления. Линия давлений пара всегда пологая, без резких переломов.

График давлений в паровых сетях (рис. 2.11) строят следующим образом.

1. На координатной сетке в определенном масштабе наносят профиль поверхности земли по трассе трубопровода и все известные параметры расчетных участков сети.
2. Отмечают расположение всех потребителей (I...X), с указанием в масштабе необходимого им давления пара.
3. По данным гидравлического расчета паровых сетей наносят линию давлений пара А—Б и анализируют полученные результаты. При этом обычно обнаруживается, что давление подведенного потребителям пара при централизованном пароснабжении в какой-то степени не соответствует нужному. На

практике встречаются три варианта несоответствия (см. рис. 2.11):

давление и температура пара, подведенного потребителям I, III, IV, значительно превышают нужные параметры;

давление и температура пара, подведенного потребителям II, V, VI, VII, VIII, соответствуют необходимым им параметрам с небольшим, практически допустимым преувеличением;

давление пара, подведенного потребителям IX, X, является недостаточным.

Из первоначально построенного графика давлений следует, что для потребителей IX и X необходимо поднять давление пара или соорудить для них собственные индивидуальные паровые котельные. Поднятие давления пара в районной котельной теми же котлами невозможно, поскольку их номинальное рабочее давление составляет 1,4 МПа.

Выполнив соответствующие технико-экономические расчеты, можно убедиться, что, как правило, экономически невыгодна установка в районной паровой котельной котлов повышенного давления, а также сооружение и эксплуатация индивидуальных котельных в районе централизованного пароснабжения. Поэтому для решения настоящей задачи в первую очередь следует проверить наиболее простой и обычно экономически эффективный способ — увеличение диаметров паропроводов. Повторные гидравлические расчеты показывают, что в этом случае снижаются потери давления в сетях и при том же начальном давлении пара у стены котельной все потребители района, особенно наиболее удаленные от котельной, получают пар увеличенного давления (линия давлений А—В). Из риса на рис. 2.11 видно, что линия давления А—В уже удовлетворяет потребителей II, V, VI, VII, VIII, IX, X.

Потребители, для которых давление и температура пара размерно высоки, должны снизить его параметры в местных редукционно-охладительных установках (РОУ), устанавливаемых в тепловых пунктах отдельных потребителей пара или же районной котельной. В последнем случае из котельной прокладывают второй паропровод пониженного давления и температуры, обеспечивающий потребителей I, III, IV паром необходимых параметров. Давление пара во втором паропроводе представлено линией Г—Д.

Решение об установке РОУ в тепловых пунктах потребителей при прокладке из районной котельной второго паропровода пониженного давления с установкой общего РОУ в котельной при необходимости проверяют технико-экономическим расчетом.

График давлений для конденсатопроводов водяного пара. График (рис. 2.12) должен удовлетворять следующим сравнительно легко выполнимым требованиям:

конденсат следует возвращать в котельную при давлении, достаточном для свободного слива его в конденсатные баки,

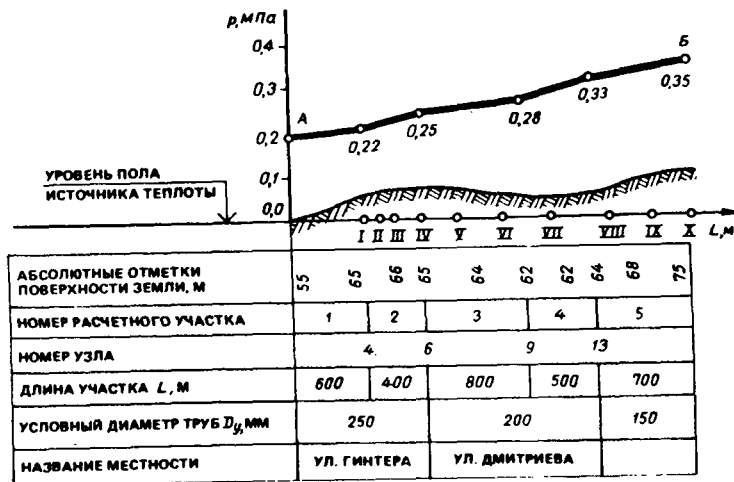


Рис. 2.12. График давлений для конденсатопроводов водяного пара А—Б — линия давления конденсата в сетях; I...X — потребители пара, возвращающие конденсат в паровую котельную

или направлять его в деаэратор (в зависимости от тепловой схемы источника теплоты);

для нормальной перекачки конденсата линия давлений конденсатопровода в любой точке трассы должна проходить на высоте не менее 5 м от поверхности земли при прокладке напорных конденсатопроводов подземно. Это предотвращает образование вакуума в сети. Поскольку плотность чистого конденсата довольно значительна (при  $t = 100^{\circ}\text{C}$  она составляет  $958,4 \text{ кг/м}^3$ ), рельеф земли оказывает ощутимое влияние на давление в конденсатопроводах.

График давлений конденсатных сетей строят в следующем порядке.

1. На координатную сетку в масштабе наносят профиль поверхности земли и указывают известные параметры участков сети.

2. Отмечают (в принятом масштабе) расположение всех потребителей пара, возвращающих конденсат в источник теплоты.

3. В соответствии с данными гидравлического расчета конденсатных сетей наносят на график линию давлений А—Б конденсата и проверяют, выполняются ли при этом упомянутые обязательные требования к режиму трубопроводного транспортирования конденсата. Построение графика давлений следует начинать с точки А, гарантирующей необходимое

давление конденсата у стены источника теплоты. Если конденсат вводится в деаэрактор на отметке его головки, то минимальное необходимое давление конденсата у стены котельной определяют в МПа по формуле:

$$p_k = p_r + p_d + p_i,$$

где  $p_k$  — рассчитываемое давление конденсата у стены котельной;  $p_r$  — давление, создаваемое расположением отметки головки деаэратора выше пола котельной, МПа;  $p_d$  — избыточное (манометрическое) давление в деаэраторе, обычно принимаемое равным 0,02 МПа;  $p_i$  — избыточное давление, обеспечивающее свободное поступление конденсата в деаэрактор и принимаемое равным 0,05 МПа.

По графику давления сетей конденсата, учитывая разницу высот расположения источника теплоты и потребителей пара, можно определить давление, создаваемое насосами для перекачки конденсата, у любого потребителя. Так, например, у потребителей IV и VII необходимые давления согласно рис. 2.12 равны:  $p_k^{IV} = 0,25 + (55 - 65) 1,02 \cdot 10^{-2} + 0,1 = 0,25$  МПа;  $p_k^{VII} = 0,3 + (55 - 62) 1,02 \cdot 10^{-2} + 0,1 = 0,33$  МПа, где значение  $1,02 \cdot 10^{-2}$  является коэффициентом перевода величины в МПа, а величина 0,1 МПа выражает сумму потерь давления в насосной станции перекачки конденсата (0,05 МПа) и избыточного давления (0,05 МПа), обеспечивающего истечение конденсата в магистральный конденсатопровод.

Приведенные примеры некоторых характерных графиков давлений для наиболее часто применяемых на практике сетей дают возможность разработки подобных графиков для других жидких веществ и реальных газов, не рассмотренных в книге.

## 2.8. РАСЧЕТНО-МОНТАЖНЫЕ СХЕМЫ СЕТЕЙ НОВОГО ТИПА, ОТРАЖАЮЩИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ, И ГРАФИК ДАВЛЕНИЙ СЕТЕЙ

**Общие сведения.** Для определения оптимальных диаметров трубопроводных сетей техническая литература рекомендует следующий порядок выполнения проектных работ при наличии разработанной сводной таблицы максимально-часовых расходов транспортируемого материала:

- разработка расчетных схем сетей;
- выполнение их гидравлического расчета;
- разработка графиков давлений сетей.

Такой порядок приводит к значительным затратам времени и труда на проектные работы. Кроме того, окончательно убедиться в правильности проведенных гидравлических расчетов сетей и отсутствии необходимости их повторного выполнения

можно только после разработки графиков давлений. Следует также отметить, что графики давлений для разветвленных сетей, как правило, разрабатывают на участке от генератора транспортируемого материала (котельной, компрессорной, холодильной станции и т.п.) до наиболее отдаленного потребителя, а остальные сети (ответвления от основной магистрали) остаются не охваченными графиками. При таком порядке выполнения проектных работ не сразу обнаруживаются допущенные в гидравлическом расчете погрешности. Исправление их обычно затруднительно.

Представляется целесообразным часть проектных работ по расчетным схемам, гидравлическим расчетам сетей и графикам давлений для этих сетей выполнять не раздельно, а комплексно в едином проектном материале. Таким единым комплексным проектным материалом могут быть расчетно-монтажные схемы, которые одновременно отражают гидравлический расчет сетей, график давлений и возможность определения значений давлений в любой точке сети. На схемах видны изменения давления в сетях по отношению к поверхности земли, а также расстановка отсекающей запорной арматуры и, в отдельных случаях, воздушников и спускников.

В расчетно-монтажной схеме нового типа отражены обычно следующие показатели:

- $Q$  — расход теплоты, ГДж/ч;
- $G$  — расход теплоносителя или материала, т/ч ( $m^3/ч$ );
- $D$  — условный диаметр трубопровода, мм;
- $L$  — длина расчетного участка сети, м;
- $\Delta p_d$  — удельные потери давления в трубопроводе на трение, Па/м;
- $v$  — скорость движения теплоносителя в трубопроводе, м/с;
- $\alpha$  — коэффициент для определения эквивалентной длины участка местных сопротивлений в тепловых сетях;
- $\Delta p$  — потери давления в расчетном участке, МПа;
- $p_n$  — давление в подающем трубопроводе в начале расчетного участка, МПа;
- $p_o$  — давление в обратном трубопроводе в конце расчетного участка по ходу движения теплоносителя, МПа;
- $p_z$  — значение, отражающее расположение поверхности земли по отношению к уровню пола источника теплоты, МПа.

На расчетно-монтажных схемах могут быть представлены основные данные, характеризующие транспортируемый материал: плотность, кинематическая или динамическая вязкость, температура материала в рабочем состоянии, в точках замерзания, вскипания и начала разложения, токсичность, горючесть, взрывоопасность, агрессивность к материалу труб и т.п. Эти свойства необходимо учитывать при проектировании, строительстве и эксплуатации определенных сетей. Ниже приведены некоторые наиболее характерные примеры расчетно-монтажных схем сетей, знакомящие с принципами их построения и пользования ими.

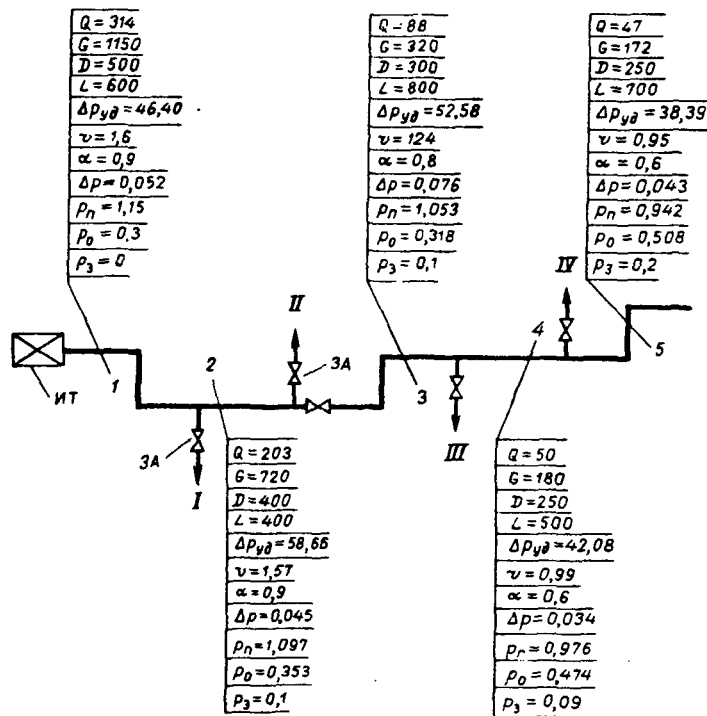


Рис. 2.13. Расчетно-монтажная схема сетей, отражающая гидравлический расчет и график давлений двухтрубных водяных тепловых сетей, работающих по закрытой схеме  
ИТ — источник теплоты; ЗА — запорная арматура; 1...5 — номера расчетных участков сети; I...IV — номера ответвлений

**Расчетно-монтажная схема двухтрубных водяных тепловых сетей, работающих по закрытой схеме.** Схему разрабатывают в следующем порядке (рис. 2.13).

1. На разработанный план трасс тепловых сетей района наносят схему сетей в произвольном масштабе с показом всех расчетных участков сети. При этом для более удобного размещения других элементов схемы некоторые участки сетей могут иметь отступления от принятого масштаба.

2. Обозначают на схеме так называемые "расчетные флажки" каждого расчетного участка сети, предназначенные (в настоящем случае) для 11 расчетных значений ( $Q, G, D, L, \Delta p_{уд}, v, \alpha, \Delta p, p_n, p_o, p_z$ ). Расчетные флажки расставляют на всех участках схемы, имеющих изменения хотя бы одной из вышеприведенных

расчетных величин, кроме значения  $p_z$ , отражающего расположение поверхности земли по трассе тепловых сетей, поскольку изменение отметки земли не зависит от других расчетных элементов. Каждый расчетный флажок нумеруют в направлении от источника теплоты к наиболее отдаленному потребителю.

3. Заполняют расчетные флажки, одновременно и комплексно выполняя гидравлический расчет сетей с параллельным решением вопросов, рассматриваемых обычно при разработке графика давлений.

Сначала во все расчетные флажки схемы вносят ранее определенные значения: максимально-часовые расходы теплоты  $Q$ ; максимально-часовые расходы теплоносителя  $G$ ; длину трассы расчетных участков тепловых сетей по плану  $L$ .

Затем указывают значения  $p_z$ , отражающие геодезические отметки поверхности земли в начале определенного расчетного участка сети по отношению к уровню пола источника теплоты. Значение  $p_z$  определяют по формуле:

$$p_z = 1,02 \cdot 10^{-2} (H_z - H_{и.т.}),$$

где  $1,02 \cdot 10^{-2}$  — переводной коэффициент;  $H_z$  — геодезическая отметка поверхности земли в начале расчетного участка, м;  $H_{и.т.}$  — геодезическая отметка поверхности пола источника теплоты, м.

Если рельеф поверхности земли на расчетном участке сети волнистый, его отображают на расчетных флажках следующим образом (пример):  $p_z = 0,1 + (-0,05 + 0,1) = 0,15$  МПа.

Это значит, что разница уровней поверхности земли расчетного участка составляет 15 м.

Следующим шагом является определение оптимальных диаметров тепловых сетей с учетом указаний Пособия к СН 527-80\*. В расчетные флажки вносят значение  $D, \Delta p_{уд}, v$ , выбранные по вспомогательной таблице для гидравлического расчета водяных тепловых сетей (см. прил. 2). Для выбора оптимальных диаметров тепловых сетей необходимо предварительно определить значение критерия, определяющего допустимые минимальные и максимальные давления в обратном трубопроводе сети по отношению к поверхности земли — усредненного  $\Delta p_{уд}$  обратного трубопровода рассматриваемой сети. Можно сказать, что значение этого критерия зависит от рельефа местности и этажности зданий, строящихся в рассматриваемом районе централизованного теплоснабже-

\*Пособие по оптимальному выбору труб из углеродистой и низколегированной стали для технологических трубопроводов на  $p_y$  до 10 МПа (СН 527-80). — М.: Стройиздат, 1984.

ния. Давление в обратном трубопроводе сети в точках, находящихся выше отметки перекрытия верхних этажей зданий, как известно, должно быть не менее 0,05 МПа; в точках, находящихся на уровне поверхности земли самых низких мест застраиваемого района с централизованным теплоснабжением, — не более 0,55 МПа.

В конкретном случае застройки района 5...9-этажными зданиями давление в обратном трубопроводе в начале сети у стены источника теплоты на уровне пола котельной (на расчетном флажке 1) принимают равным  $p_0 = 0,3$  МПа, а в конце сети у наиболее отдаленного потребителя теплоты района, на уровне поверхности земли —  $p_0 \leq 0,55$  МПа. Итак, в настоящем случае усредненное допустимое значение удельных потерь давления в обратном трубопроводе сети составляет:

$$\begin{aligned} \Delta p_{уд} &= 10^6 (p_7^H - p_1^K) / \Sigma (L + \alpha L) = \\ &= 10^6 (0,6 - 0,3) / (3950 + 0,6 \cdot 3950) \approx 48 \text{ Па/м,} \end{aligned}$$

где  $10^6$  — переводной коэффициент;  $p_7^H$  — предварительно принятое давление в начале расчетного участка обратного трубопровода;

$p_1^K$  — давление в конце расчетного участка 1 обратного трубопровода;  $L$  — длина трассы тепловых сетей по плану;  $\alpha$  — коэффициент для определения длины участка местных сопротивлений в тепловых сетях.

После выявления расчетом значений  $D$ ,  $\Delta p_{уд}$ ,  $v$  можно определить значения  $\alpha$  по табл. 2.11, потери давления на каждом расчетном участке  $\Delta p$  и потери давления в концах расчетных участков обратного трубопровода  $\Delta p_0$  на всех расчетных флажках. Если давление в обратном трубопроводе всей сети удовлетворяет необходимым требованиям, определяют значения давлений в начале каждого расчетного участка подающего трубопровода  $p_n$  и заносят их во все расчетные флажки схемы. Однако если определенные расчетом давления в обратном трубопроводе сети не удовлетворяют необходимым требованиям на одном из участков сети, расчет повторяют до получения удовлетворительных результатов для всей сети.

При определении значений  $p_n$  в расчетных флажках следует учесть, что в двухтрубных водяных тепловых сетях, работающих по закрытой схеме, падение давления в подающем трубопроводе происходит зеркально по отношению к росту давления  $p_0$  на тех же расчетных участках обратного трубопровода сети.

В последнюю очередь на схему сетей наносят отсекающие задвижки, запорную арматуру ответвлений, а также, при необходимости и по возможности, спускники и воздушники (на

рис. 2.13 в целях упрощения схемы спускники и воздушники не показаны). На этом расчетно-монтажная схема, отражающая гидравлический расчет и график давлений сетей, считается законченной.

По настоящей расчетно-монтажной схеме можно легко и удобно определить:

располагаемое давление:  $(p_p = p_n - p_0)$ . Так, например, в конце расчетного участка 3 (в начале участка 4)  $p_p = 0,976 - 0,474 = 0,502$  МПа;

давление в подающем трубопроводе по отношению к поверхности земли местности. В конце участка 3  $p_M^n = p_n - p_3 = 0,976 - 0,09 = 0,967$  МПа;

давление в обратном трубопроводе по отношению к поверхности земли местности. В конце участка 3  $p_M^o = p_0 - p_3 = 0,474 - 0,09 = 0,465$  МПа;

разность давлений, создаваемую сетевыми насосами:  $\Delta p_{с.н} = p_k - p_0 = 1,4 - 0,3 = 1,1$  МПа;

давление, создаваемое подпиточными насосами в динамическом режиме:  $p_{п.н}^{\Delta p} = p_0 - p_3 = 0,3 - 0 = 0,3$  МПа.

При сравнении метода выполнения гидравлического расчета сетей путем разработки комплексных расчетно-монтажных схем, выражающих гидравлический расчет и график давлений сетей, видно, что каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки. К преимуществам метода расчетно-монтажной разработки расчетных схем, гидравлического расчета сетей и графиков давлений относятся:

сокращение ошибок в проектировании, ликвидация котловых в дальнейшем приводит к дополнительным материальным, трудовым и финансовым затратам;

наглядность всех основных исходных данных и элементов сети. (кроме рельефа земли), что приводит к облегчению и упрощению проектирования, строительства и эксплуатации систем сетей;

снижение трудозатрат в проектировании.

К недостаткам расчетно-монтажных схем следует отнести: громоздкость по сравнению с обычными расчетными схемами, поскольку размещение на схемах расчетных флажков с полным набором показателей занимает много места;

менее наглядное (в цифровом изображении) отображение поверхности земли района централизованного теплоснабжения.

Расчетно-монтажная схема двухтрубных водяных тепловых сетей, работающих по открытой схеме. Особенности и отличия этой схемы по описанной ранее выражаются в следующем:

она состоит в целом из двух отдельных, увязанных между собой схем: схемы подающего трубопровода и схемы обратного трубопровода водяных тепловых сетей. Расчетные участки этих сетей имеют свои характерные расчетные флажки;

число показателей в расчетных флажках подающих трубопроводов, в отличие от закрытых схем водяных тепловых сетей, составляет 10 единиц, а для обратных трубопроводов – 9;

удельные потери давления в обратном трубопроводе отличаются от удельных потерь давления в подающем трубопроводе: первые являются заниженными по сравнению со вторыми при одинаковых диаметрах соответствующих участков сети. При заниженных удельных и суммарных потерях давлений линия давлений в обратном трубопроводе становится более пологой. Весьма часто это обстоятельство приводит к необходимости поднятия константной точки давления в обратном трубопроводе у стены котельной. В этом случае значение оптимального давления у котельной  $p_0 = 0,4$  МПа.

В остальном порядок построения расчетно-монтажных схем водяных тепловых сетей, работающих по открытой схеме, аналогичен порядку построения схем сетей, работающих по закрытой схеме.

**Расчетно-монтажная схема однотрубных сетей соляной кислоты с концентрацией 27,5%.** Эта схема (рис. 2.14) разработана с учетом особенностей транспортируемого вещества, конструкции, материала и размеров трубопроводов сети. Разработку схемы ведут в следующем порядке.

1. Текстуально приводят необходимые исходные данные и данные, характеризующие транспортируемый материал, а именно:

рабочую температуру в наружных сетях: максимальную  $+20^{\circ}\text{C}$ , минимальную  $-20^{\circ}\text{C}$ ;

температуру застывания соляной кислоты с концентрацией 27,5%;  $t = -40^{\circ}\text{C}$ ;

плотность: при  $t = 20^{\circ}\text{C}$   $\rho = 1142$  кг/м<sup>3</sup>; при  $t = -20^{\circ}\text{C}$   $\rho = 1162$  кг/м<sup>3</sup>;

кинематическую вязкость: при  $t = 20^{\circ}\text{C}$   $\nu = 1,431 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с; при  $t = -20^{\circ}\text{C}$   $\nu = 1,598 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с. Следует отметить, что в технической литературе качество жидкостей иногда выражается только через динамическую вязкость  $\mu$ . Кинематическая вязкость  $\nu$  связана с динамической вязкостью соотношением:  $\nu = \mu/\rho$ , м<sup>2</sup>/с;

эквивалентную шероховатость труб  $k_{\Sigma} = 0,5$  мм при долгосрочной нормативной эксплуатации их; сети сооружаются из стальных труб, футерованных фторопластом;

свойства кислоты; агрессивна, токсична, негорюча и не взрывоопасна;

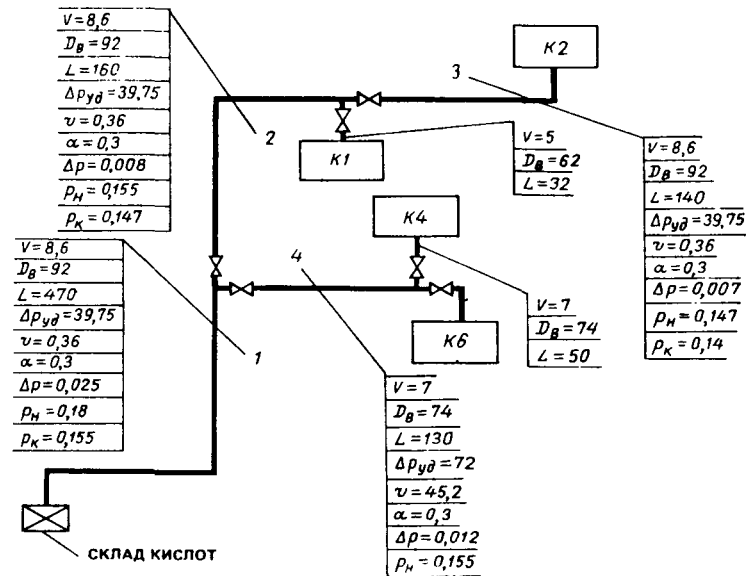


Рис. 2.14. Расчетно-монтажная схема однотрубных сетей соляной кислоты с концентрацией 27,5%

систему подачи кислоты потребителям: кислота подается насосами, расположенными на полу склада кислот, по наружным сетям, проложенным наземно на высоте до 8 м над поверхностью земли, в приемные емкости отдельных цехов, размещенных на высоте до 12 м над уровнем полов первых этажей производственных корпусов – потребителей кислот;

расположение полов первых этажей производственных цехов: на геодезических отметках  $\pm 2$  м по отношению к уровню пола склада кислот;

характеристику одновременности расходов: кислота подается к производственным корпусам поочередно, поэтому максимально-часовой расход ее в сети составляет  $V = 8,6$  м<sup>3</sup>/ч; специфику эксплуатации: нагрева, охлаждения кислоты и теплоизоляции сетей не требуется.

2. Наносят схему сети, отмечают места расстановки запорно-отсекающей арматуры в сетях, определяют расчетные участки, расставляют и нумеруют расчетные флажки сети.

3. Вносят в расчетные флажки следующие показатели: расход кислоты по расчетным участкам, выражая его значениями  $V$ , м<sup>3</sup>/ч, или  $G$ , т/м ( $G = \rho V$ );

диаметр трубопровода  $D$ , указывая при этом наружный диаметр стальной трубы  $D_n$ , толщину стенки трубы  $s$  и фактический

внутренний диаметр трубопровода (с учетом футеровки его слоем фторопласта)  $D_B$ . Оптимальный диаметр трубопровода определяют, выполняя гидравлический расчет проектируемой сети, в котором учитывают длину расчетного участка сети  $L$ , коэффициент  $\alpha$  для определения эквивалентной длины участка местных сопротивлений и допустимых потерь давления в расчетном участке сети  $\Delta p$ ;

данные, необходимые для выполнения гидравлического расчета трубопроводов:  $L$ ,  $\Delta p_{уд}$ ,  $\nu$ ,  $\alpha$ ,  $\Delta p$ ,  $\rho_H$ ,  $\rho_K$ .

**Пример расчета.** В конкретном случае, приведенном на рис. 2.14, во-первых, определяют оптимальный диаметр трубопровода, по которому транспортируют соляную кислоту в количестве 8,6 м<sup>3</sup>/ч на участке от склада кислот до наиболее удаленной точки – корпуса потребителя № 2. Максимально возможное рабочее давление создаваемое насосами у стены склада кислот,  $\rho_H = 0,18$  МПа; а давление у стены корпуса № 2 должно быть не менее  $\rho_K = 0,12$  МПа. Этим определяется, что потери давления в сети не должны превышать значения  $\Delta p = \rho_H - \rho_K = 0,18 - 0,12 = 0,06$  МПа.

При условии, что стальной трубопровод футерован фторопластом толщиной слоя 4 мм и имеет параметры  $D_{нс} = 108 \times 4$  мм, внутренний диаметр трубы составляет  $D_B = 108 - 2(4 + 4) = 92$  мм = 0,092 м, а фактическая скорость движения кислоты в сети  $\nu = V/F = 8,6 \cdot 4 / (3600 \times 3,14 \cdot 0,092^2) = 0,36$  м/с.

Теоретическая скорость движения заданного количества соляной кислоты в трубопроводах, представленных таблицами гидравлического расчета водяных тепловых сетей и мазута (прил. 2 и 4), составит:

при  $D_y = 100$  мм и  $D_B = 108 - (4 + 4) = 100$  мм  $\nu = (8,6 \cdot 4) / (3600 \times 3,14 \cdot 0,1^2) = 0,3$  м/с; при  $D_y = 80$  мм и  $D_B = 89 - (3,5 + 3,5) = 82$  мм  $\nu = (8,6 \cdot 4) / (3600 \cdot 3,14 \cdot 0,082^2) = 0,45$  м/с.

Затем определяют значения  $\Delta p_{уд}$  и  $\Delta p$  в условиях транспортирования в сетях максимально-расчетного количества кислоты при ее наиболее высокой вязкости. Учтя, что соляная кислота имеет наибольшую вязкость в пределах  $t = -20^\circ\text{C} \dots 20^\circ\text{C}$ , и наибольшую плотность при  $t = -20^\circ\text{C}$ , в гидравлическом расчете сети принимают это последнее значение.

Поскольку в настоящее время отсутствуют вспомогательные таблицы для гидравлического расчета трубопроводов соляной кислоты, значения  $\Delta p_{уд}$  определяют путем интерполяции значений, получаемых из таблиц для гидравлического расчета водяных тепловых сетей (прил. 2) и мазутопроводов (прил. 4), которые составлены при  $\rho = 958,4$  кг/м<sup>3</sup>,  $\nu = 0,295 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с,  $\kappa_3 = 0,5$  мм для воды и  $\rho = 925 \dots 980$  кг/м<sup>3</sup>,  $\nu = (0,15 \cdot 10^{-4}) \dots (17,5 \cdot 10^{-4})$  м<sup>2</sup>/с,  $\kappa_3 = 0,5$  мм для мазута М-100.

Так как в рассматриваемом случае внутренний диаметр стальных труб уменьшен их футеровкой, удельные потери давления  $\Delta p_{уд}$  определяют при внутреннем диаметре труб  $D_B = 0,092$  м или при фактической скорости движения кислоты в сетях  $\nu = 0,36$  м/с с учетом увеличения плотности соляной кислоты по отношению к плотности горячей воды, а также и мазута.

При этом следует отметить, что внутренняя поверхность пластмассовых труб гладкая и соответствует этим поверхности новых стальных труб, имеющих эквивалентную шероховатость  $\kappa_3 = 0,1 \dots 0,2$  мм. Но стальные трубы, футерованные фторопластом, имеют увеличенное количество стыков и сварных швов фторопласта, поэтому их эквивалентная шероховатость увеличена и приравнена значению новых стальных труб –  $\kappa_3 = 0,5$  мм, для которых удельные потери давления приведены в прил. 2 и 4.

$$\Delta p_{уд}^{с.к} = \left[ \Delta p_{уд}^{г.в} + (\Delta p_{уд}^M - \Delta p_{уд}^{г.в}) \times \right.$$

$$\left. \times (\nu^M - \nu^{с.к}) / (\nu^M - \nu^{г.в}) \right] \rho^{с.к} \kappa^2 / (\rho^M + \rho^{г.в}),$$

где:

$$\Delta p_{уд}^{г.в} = \Delta p_{уд}^{г.в \text{ при } D_B = 100} + \left\{ \left[ \Delta p_{уд}^{г.в \text{ при } D_B = 82} - \Delta p_{уд}^{г.в \text{ при } D_B = 100} \right] (D_B^{100} - D_B^{92}) / (D_B^{100} - D_B^{82}) \right\} =$$

$$= 12,75 + \left\{ [ (37,96 - 12,75) (0,1 - 0,092) ] / (0,1 - 0,082) \right\} = 23,95 \text{ Па/м};$$

$$\Delta p_{уд}^M = \Delta p_{уд}^M \text{ при } D_B = 100 + \left\{ \left[ \Delta p_{уд}^M \text{ при } D_B = 82 - \Delta p_{уд}^M \text{ при } D_B = 100 \right] (D_B^{100} - D_B^{92}) / (D_B^{100} - D_B^{82}) \right\} =$$

$$= 20,7 + \left\{ [ (47,9 - 20,7) (0,1 - 0,092) ] / (0,1 - 0,082) \right\} =$$

$$= 32,79 \text{ Па/м};$$

$$\Delta p_{уд}^{с.к} = [ 23,95 + (32,79 - 23,95) (0,24 \cdot 10^{-4} - 1,598 \cdot 10^{-6}) / (0,24 \times$$

$$\times 10^{-4} - 0,295 \cdot 10^{-6}) ] \cdot 1162 \cdot 2 / (930 + 958,4) = 39,75 \text{ Па/м}.$$

Общие потери давления в трубопроводе соляной кислоты на участке от склада кислоты до корпуса № 2 при длине трассы кислотопровода  $L = 470 + 160 + 140 = 770$  м и значении коэффициента  $\alpha = 0,3$  составят:  $\Delta p = L \Delta p_{уд} (1 + \alpha) 10^{-6} = 770 \cdot 39,75 \cdot 1,3 \cdot 10^{-6} = 0,04$  МПа.

Это меньше допустимых  $\Delta p_{доп} = 0,18 - 0,12 = 0,06$  МПа.

Настоящим расчетом подтверждается, что предварительно принятый диаметр кислотопровода  $D_{нс} = 108 \times 4$  мм, футерованного фторопластом толщиной слоя 4 мм, соответствует необходимому и является оптимальным.



Приведенным способом можно определить оптимальные диаметры также и других участков сети. При этом выполненный выше расчет показывает, что в настоящем случае диаметры остальных трубопроводов соляной кислоты выбраны правильными, если скорость движения кислоты в сетях составит  $v = 0,25 \dots 0,50$  м/с.

Таким образом, с помощью таблиц для гидравлического расчета водяных тепловых сетей, сетей конденсата и мазутопроводов, приведенных в *прил. 2, 3, 4*, выполняют гидравлические расчеты любых трубопроводных сетей разных жидкостей, имеющих типичные и нетипичные внутренние диаметры труб, разные плотности и коэффициенты кинематической вязкости транспортируемого материала.

## 2.9. РАЦИОНАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ ПО ПОПЕРЕЧНОМУ СЕЧЕНИЮ

**Прокладка сетей по наземным эстакадам.** Расположение совмещенно прокладываемых инженерных сетей на траверсах, консолях и подвесках в каждом отдельном случае зависит от разных факторов, основными из которых являются следующие:

способ прокладки сетей: наземно по проходным или непроходным эстакадам; по кровлям, техническим чердакам; в подвалах или коридорах зданий; подземно по проходным или полупроходным каналам и туннелям;

число и назначение прокладываемых сетей;

диаметры сетей и максимально допустимые расстояния их опирания;

необходимость проходных дорожек для сооружения, эксплуатации, ремонта и замены сетей;

необходимость защиты сетей от солнца, дождя, снега и обледенения;

отрицательные воздействия других сетей, проложенных рядом, как возможной причины возникновения химической или электрической коррозии, горения, взрыва, повреждения защитного слоя прокладываемых сетей при аварии других сетей;

потребность во взаиморезервировании некоторых сетей с обеспечением работоспособности одних при повреждении других.

Помимо упомянутых могут существовать еще и другие факторы, влияющие на выбор оптимального размещения инженерных сетей в разрезе и определение необходимых несущих строительных конструкций.

Направления поиска и нахождения оптимального размещения инженерных сетей и конструкций, их поперечных разрезов по наземным эстакадам проиллюстрированы нижеследующими примерами.

**Пример 1.** Необходимо осуществить совмещенную прокладку водяных тепловых сетей  $t = 150 - 70^\circ\text{C}$  первой очереди  $2D_y = 200$  мм и перспективных  $2D_y = 250$  мм; паропровода  $p = 0,6$  МПа,  $t = 160^\circ\text{C}$ ,  $D_y = 250$  мм; трубопровода горячего водоснабжения  $t = 65^\circ\text{C}$ ,  $D_y = 125$  мм с циркуляционным трубопроводом  $D_y = 65$  мм; взаиморезервируемых электрокабелей и кабелей слабых токов общим числом 35 на участке от точки *Б* до *В* по наземной эстакаде, пересекающей ряд автодорог.

Из поставленной задачи и перечня совмещенно прокладываемых сетей следует, что строительные конструкции эстакады над проездами должны быть расположены на высоте не ниже чем 5 м от поверхности проезжей части дорог. Следует также, что прокладываемые трубопроводные сети не оказывают отрицательных воздействий друг на друга и на кабельные сети, а кабельные сети — на рассматриваемые трубопроводные сети.

Надежность действия взаиморезервируемых электрокабелей и кабелей слабых токов требует соответствующего их расположения на строительных конструкциях эстакад: либо по разным сторонам пролетных строений эстакад (железобетонных или металлических балок), либо по одну сторону с размещением каждой группы этих кабелей на безопасном расстоянии друг от друга. Минимальное значение этого разрыва, требуемое действующими нормами, в зависимости от значения и параметров сетей составляет 0,6 м и более.

При расположении трубопроводов по поперечному сечению трассы совмещенно прокладываемых сетей учитывают действующие нормативные требования к их прокладке. Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ), 1986 г., при наземной прокладке сетей по эстакадам кабели должны быть расположены не ниже чем 2,5 м от поверхности земли; нежелательна также прокладка кабелей слишком высоко. В случае необходимости их размещения выше 6 м от поверхности земли требуется сооружение проходных дорожек по эстакадам с целью обеспечения удобства прокладки и обслуживания кабелей.

Обязательное сооружение проходных дорожек для тепловых сетей, согласно СНиП 2.04.07–86 размещаемых на эстакадах и отдельно стоящих опорах, требуется только в местах пересечения железных дорог, рек, оврагов и на других труднодоступных для обслуживания трубопроводов участках трассы. Они также полезны на других участках при большом числе труб, требующих частого осмотра трасс (СН 527-80). На расположение трубопроводов в поперечном сечении трассы сетей существенно влияет максимально допустимый шаг их опирания. В настоящем примере на прямых участках сети он составляет:

для паропровода  $D_y = 250$  мм — 12 м, водяных тепловых сетей  $D_y = 200$  мм — 9 м, трубопроводов горячего водоснабжения  $D_y = 125$  мм — 6 м, циркуляционных трубопроводов  $D_y = 65$  мм — 3,5 м, для кабелей — 0,75...1 м. Столь небольшой шаг опирания кабелей определяет необходимость применения балок в конструкции эстакад.

Балки бывают железобетонными или стальными. Наиболее долговечными, надежными и экономичными, в общем случае, являются типовые сборные железобетонные балки пролетом 12 м и высотой 0,7 м.

Наличие балок дает возможность опирания сетей с любым необходимым шагом, а также возможность увеличения шага установки опор эстакад. Последнее приводит к уменьшению числа опор и созданию более удобных условий для передвижения транспортных средств по площадке предприятий.

В целях уменьшения числа применяемых на эстакадах траверс путем увеличения шага опирания труб предполагалось использование способа прокладки "труба над трубой", то есть прокладки малого трубопровода над трубопроводом большего диаметра: конденсатопровода над паропроводом, циркуляционного над трубопроводом горячего водоснабжения и т. п. Способ размещения трубы над трубой кроме уменьшения числа траверс приводит к сокращению их длины, чем достигается определенная экономия средств и материалов.

После размещения трасс наземных эстакад на генеральном плане проектируемого предприятия выяснилось, что большинство зданий — потребителей теплоты расположены слева от эстакады. Водяные тепловые сети  $2D_y = 250$  мм, сооружаемые на территории проектируемого предприятия и используемые в дальнейшем для других потребителей теплоты района, не имеют ответвлений и являются транзитными. Этим определено расположение тепловых сетей проектируемого предприятия по левой стороне, а транзитных сетей, сооружаемых в перспективе, — по правой стороне эстакады.

После проведения упомянутых проектных проработок выявилась возможность расположения трубопроводных сетей наиболее простым способом: горизонтально в один ряд по траверсе длиной 3 м с размещением циркуляционного трубопровода во втором ряду, а кабелей, требующих весьма частого опирания и располагаемых по возможности ближе к поверхности земли, — по наружным боковым стенкам балок эстакад (рис. 2.15,а). При этом для достижения максимальной надежности действия взаиморезервируемых кабелей каждую группу кабелей одного назначения следует прокладывать по разным балкам, чем обеспечивается максимально возможный разрыв между ними.

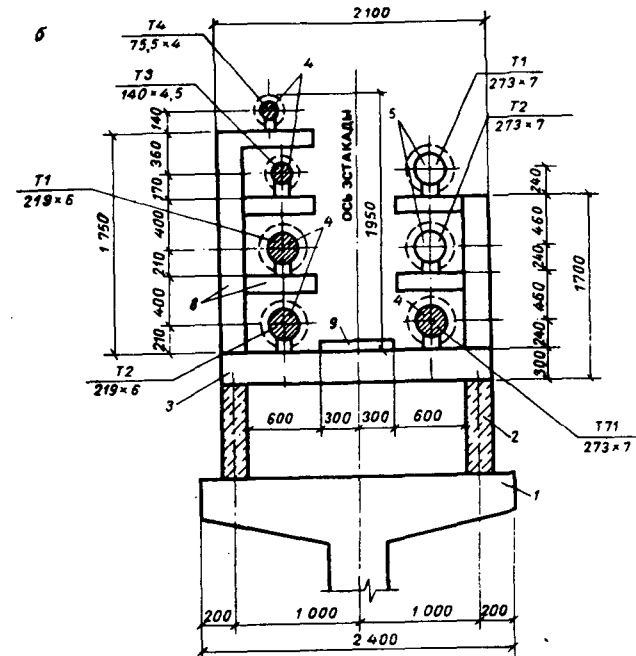
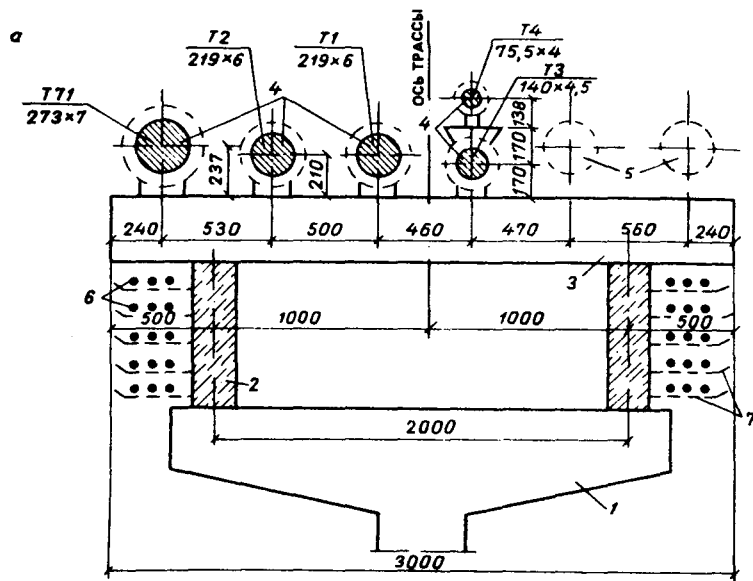
При проектировании поперечного сечения прокладки сетей обязательно следует предусматривать резервное место для прокладки возможных перспективных сетей: в количестве 0...30% числа проектируемых. Это относится как к трубопроводам, так и к кабелям. Опыт показал, что даже в тех случаях, когда нет основания ожидать прокладки каких-либо перспективных сетей, резервные места необходимы. Они используются для сооружения сетей, заменяющих действующие, износившиеся при эксплуатации. Такой способ замены сетей позволяет ее осуществить без остановки производства предприятия. Это весьма важно в тех случаях, когда эти имеют большую протяженность, расположены в неудобных для строительства местах и с осуществлением предварительного демонтажа их замена требует несколько суток. Для предприятий с непрерывным процессом производства возможность прокладки заменяемых сетей в другом месте имеет первостепенное значение. Резервным местом для прокладки перспективных трубопроводных сетей в настоящем примере предусмотрено пространство, расположенное под траверсами между балками.

Из рис. 2.15,а видно, что трубопроводные сети основных диаметров, расположенные по траверсам горизонтально в один ряд, размещены компактно. Площадь сечения, занимаемая трубопроводами в разрезе и свидетельствующая о компактности прокладки сетей, составляет всего  $1,5 \text{ м}^2$ , то есть  $0,21 \text{ м}^2$  на один прокладываемый трубопровод. Этим показателем определяется рациональное проектирование совмещенной прокладки инженерных сетей, экономия строительных материалов и низкая стоимость строительства.

Кроме горизонтального, в основном однорядного, размещения трубопроводов возможен также и вариант размещения труб на эстакаде по вертикали (рис. 2.15,б). Этот вариант имеет ряд особенностей, которыми отличается от варианта расположения труб по горизонтали, а именно:

ширина эстакады может быть сокращена с 3 до 2,1 м; становится обязательной проходная дорожка минимальной шириной 600 мм для выполнения строительства, эксплуатации и ремонта трубопроводных сетей. Это приводит к дополнительному расходу металла;

расположение трубопроводов по вертикали возможно лишь при индивидуальном проектировании и изготовлении металлоконструкций верхних строений эстакады, на которых укладываются трубопроводы. Металлоконструкции верхних строений требуют значительного дополнительного расхода металла. В противоположность этому при расположении трубопроводов по горизонтали, все основные строительные конструкции эстакады получаются типовыми, сборными, железобетонными,



то есть самыми дешевыми, долговечными, простыми и удобными в проектировании, строительстве и эксплуатации;

появляется дополнительный расход металла на изготовление металлоконструкций верхнего строения эстакады (в рассматриваемом примере он достигает 80 т/км);

площадь, занимаемая конструкциями трубопроводов в разрезе, в рассматриваемом примере составляет 4,1 м<sup>2</sup>, то есть 0,59 м<sup>2</sup> на один трубопровод, что в 2,7 раза превышает площадь, занимаемую трубопроводами при их расположении по горизонтали. Этот показатель свидетельствует о невысокой компактности вертикальной компоновки трубопроводных сетей на эстакаде.

Точка приложения суммарных осевых и боковых горизонтальных усилий повышается на 0,9 м по отношению к поверхности земли, что приводит к увеличению изгибающего момента, действующего на все строительные конструкции эстакады. Это явление также вызывает некоторое увеличение расхода строительных материалов, капитальных и трудовых затрат.

Приведенные особенности, весьма характерные для расположения трубопроводов по вертикали, не говорят в пользу этого способа прокладки сетей. При сравнении комплекса положительных и отрицательных сторон горизонтального и вертикального вариантов расположения трубопроводных сетей напрашивается, в общем случае, отдать предпочтение гори-

Рис. 2.15. Поперечные разрезы сетей, прокладываемых по наземной непроходной эстакаде горизонтально в один ряд (а) и с расположением трубопроводов по вертикали (б)

1 — колонна эстакады; 2 — продольная балка; 3 — траверса; 4 — проектируемые трубопроводы; 5 — перспективные трубопроводы; 6 — кабельные полки или лотки; 7 — верхнее строение эстакады; 8 — проходная дорожка; 9 — проходная дорожка; Т1, Т2 и т. д. — нумерация трубопроводов с указанием их параметров — диаметра и толщины стенки

зонтальному способу прокладки. Однако в каждом конкретном случае необходимо считаться с длиной выпускаемых промышленностью типовых сборных железобетонных траверс. В настоящее время их максимальная длина не превышает 6 м, что ограничивает число прокладываемых трубопроводов на траверсах при расположении труб в один ряд по горизонтали. Последнее также зависит от диаметра труб и наличия или отсутствия теплоизоляционного слоя. Иногда ширину эстакады, то есть возможную длину траверс, ограничивают особенности генерального плана проектируемого предприятия или района города, которые определяют ширину свободных полос для прокладки наземных эстакад между проездами и стенами зданий и сооружений. Иногда появляется необходимость и

возможность сооружения особенно широкой эстакады, расположенной над проездной дорогой между отдельными зданиями предприятия с установкой опор по обе стороны проезда. В этих случаях длина траверс эстакады значительно увеличивается и возникает необходимость их изготовления в металле, с применением индивидуальных решений.

**Пример 2.** Число трубопроводных сетей диаметром  $D_y = 50...250$  мм — 20 шт., взаимозаменяемых электрокабелей и кабелей слабых токов — 30 шт. Поскольку трасса совмещенно прокладываемых инженерных сетей проходит по промышленной зоне города, принимается наземная прокладка сетей. В связи с пересечением трассой многих автодорожных проездов, где низ строительных конструкций эстакады должен быть расположен на высоте не менее 5 м от поверхности проездов, высоту эстакады на всем решаемом участке принимают единой без сооружения опусков и подъемов сетей. Для удобства организации транспорта и использования пространства под эстакадой для стоянок автомашин и складирования материалов шаг опор принимают равным 12 м. Этим определяется применение типовых железобетонных балок, к боковым стенкам которых крепят типовые конструкции опирания кабелей. Проверяют возможность однорядного горизонтального расположения труб на наиболее длинной типовой железобетонной траверсе длиной 6 м. Это оказывается неосуществимым. Поэтому выбирают вариант с расположением части труб по вертикали в 2...3 рядах одного яруса (рис. 2.16), с устройством проходной дорожки шириной 0,6 м по эстакаде.

Высота отдельных рядов, а также их число на левой и правой сторонах эстакады могут быть одинаковыми или разными. Высота рядов каждой стороны зависит от диаметров труб, прокладываемых в данном ряду. При определении минимальной высоты ряда необходимо учитывать возможность замены внутреннего трубопровода без демонтажа действующего трубопровода того же ряда, проложенного снаружи. Число рядов, размещаемых по левой и правой стороне эстакады, определяет общее число трубопроводов в разрезе. На это влияет также необходимость прокладки трубопроводов по той или другой стороне эстакады, которая диктуется расположением зданий потребителей на генплане местности по отношению к расположению трассы эстакады.

В целях упрощения и ускорения монтажа и демонтажа трубопроводов во время строительства и эксплуатации сетей в каждом отсеке любого ряда располагают только 1...3 трубопровода в зависимости от их диаметров. Этим обстоятельством определяется необходимая длина траверсы; она обычно соответствует ширине верхнего строения эстакады. Трубопроводы верхнего ряда в целях обеспечения их доступности обслужи-

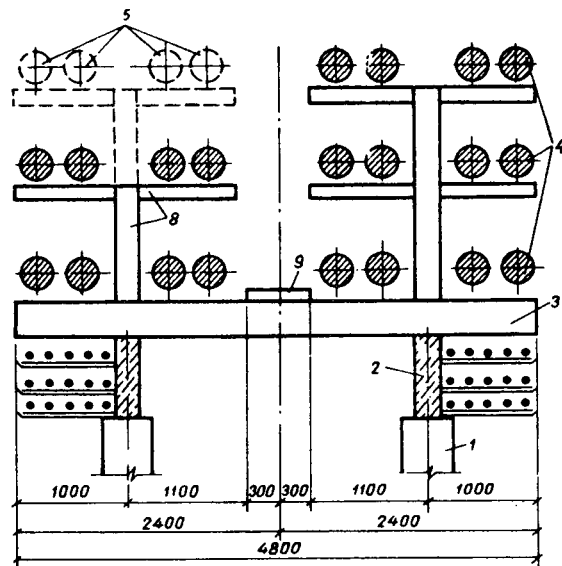


Рис. 2.16. Поперечный разрез сетей, прокладываемых по однорядной проходной эстакаде  
Условные обозначения см. рис. 2.15

вающего персонала должны быть расположены не выше 1,8 м над поверхностью проходной дорожки. При высоте, превышающей указанную, трубопроводы прокладывают в два яруса с устройством проходной дорожки по второму ярусу эстакады или без такой дорожки.

Оптимальное расположение трубопроводов в поперечном сечении трассы сетей определяют с учетом максимального приближения оси результирующих вертикальных усилий к геометрической оси эстакады. Эксцентриситет этих осей не должен превышать длины отрезка, составляющего 25% общей ширины эстакады, то есть длины нижней траверсы.

**Пример 3.** Число трубопроводных сетей  $D_y = 50...300$  мм — 40 шт., взаимозаменяемых электрокабелей и кабелей слабых токов — 40 шт. Помимо тепловых сетей требуется совмещенная прокладка сетей разных кислот, щелочей, горючих и взрывоопасных веществ, ядохимикатов и реагентов. Действующие нормативные материалы в целях предотвращения утечки и загрязнения почвы требуют и рекомендуют наземную прокладку сетей ряда транспортируемых веществ. Этим определяется совмещенная прокладка сетей по наземной двухъярусной

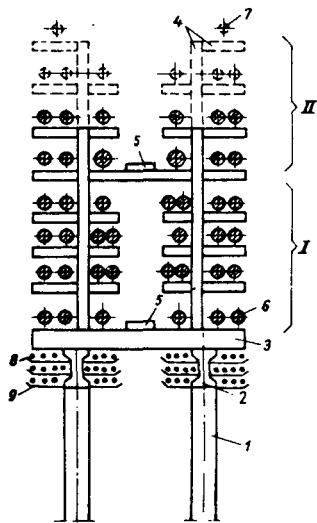


Рис. 2.17. Поперечный разрез сетей, прокладываемых по двухъярусной проходной эстакаде (40 труб, 40 кабелей) 1 — колонна; 2 — продольная балка; 3 — траверса; 4 — металлическое верхнее строение с консолями; 5 — проходная дорожка; 6 — проектируемые трубопроводы; 7 — резервные места для перспективных трубопроводов; 8 — кабели; 9 — кабельные полки или лотки; I, II — ярусы эстакады

эстакаде с устройством проходных дорожек по обеим ярусам (рис. 2.17). При определении оптимального расположения инженерных сетей в поперечном сечении кроме ранее упомянутых учитывают еще следующие принципы:

трубопроводы, обладающие наибольшими диаметрами и массой, а также создающие наибольшие горизонтальные усилия, следует размещать в первых рядах первого яруса. Этим достигается облегчение строительных конструкций эстакады и некоторая экономия строительных материалов и капитальных затрат;

трубопроводы различных кислот, солей и жидкостей, агрессивных действующих на другие сети, также желательно располагать в нижнем ряду первого яруса, учитывая возможность образования опасной течи в сетях (СН 527-80). Однако на практике весьма часто оказывается, что нижний ряд первого яруса эстакад по своим габаритам не способен принять все такие сети, а также трубопроводы больших диаметров. В случаях, когда быстрокорродирующие сети агрессивных веществ с коротким сроком службы приходится располагать непосредственно над другими трубопроводами или кабелями, над последними следует сооружать защитную кровлю. В местах пересечения эстакад трубопроводов, транспортирующих агрессивные жидкости, с автодорогами и пешеходными тротуарами под этими трубопроводами следует прокладывать защитные покрытия для улавливания протечек;

трубопроводы с наиболее коротким нормативным сроком службы следует размещать в легкодоступных местах: внутри эстакады вдоль проходной дорожки, снаружи или в верхнем ряду второго яруса эстакад;

трубопроводы вредных и горючих газов, плотность которых меньше плотности воздуха, следует размещать в верхнем ряду второго яруса эстакады;

инженерные сети, способные вызвать аварийные ситуации (водородопроводы и кислородопроводы; сети природного газа и других легковоспламеняющихся и взрывоопасных веществ), а также взаиморезервируемые сети и сети, опасно или вредно действующие на другие сети, необходимо размещать по возможности на максимально больших расстояниях друг от друга (СН 527-80);

стеклянные и металлические трубопроводы, собираемые на фланцах или муфтах разных конструкций, следует размещать в легкодоступных местах, рядом с проходными дорожками;

высота первого яруса зависит от суммы высот отдельных рядов этого яруса. Однако для обеспечения свободного прохода эксплуатационного персонала низ траверсы второго яруса в любом случае должен быть расположен не ниже чем 2 м от поверхности проходной дорожки первого яруса.

**Пример 4.** Число совмещенно прокладываемых трубопроводных сетей  $D_y = 40 \dots 500$  мм — 32 шт., взаиморезервируемых электрокабелей и кабелей слабых токов — 24 шт. Ряд трубопроводов имеет относительно большие диаметры. Сети прокладывают (с параметрами): водяные тепловые сети —  $t = 150-70^\circ\text{C}$ ,  $2D_y = 300$  мм; паропроводы —  $p = 1$  МПа,  $2D_y = 500$  мм,  $p = 2,5$  МПа,  $2D_y = 300$  мм; конденсатопроводы —  $p = 0,3$  МПа,  $D_y = 400$  мм и  $D_y = 250$  мм; трубопровод горячего водоснабжения —  $t = 65^\circ\text{C}$ ,  $D_y = 200$  мм; трубопровод сжатого воздуха —  $D_y = 300$  мм, а также другие трубопроводные сети меньшего диаметра. Предварительная компоновка поперечного разреза эстакады показала, что заданные трубопроводы невозможно уложить ни на типовой железобетонной траверсе однорядно по горизонтали, ни на одноярусной проходной эстакаде с расположением части труб по вертикали. Невозможна также их прокладка и по двухъярусной проходной эстакаде. Возникает вопрос о целесообразности сооружения либо одной трехъярусной проходной эстакады, либо двух, рядом расположенных одно- или двухъярусных проходных эстакад. Каждый из упомянутых вариантов конструкции эстакады имеет свои преимущества и недостатки. Основные из них следующие:

одна трехъярусная эстакада занимает меньше места на плане предприятия, чем две рядом расположенные. Это весьма важно при недостатке территории и сжатой застройке;

многоярусная эстакада более выгодна при прокладке сетей через многоэтажные производственные здания. Она находит применение также в случаях прохождения эстакады между близкорасположенными сооружениями, расходующими транспортируемые сетями вещества или энергию. Ее сооружают в виде многоэтажного технического коридора;

строительство, эксплуатация, ремонт и замена сетей, проложенных по одно- или двухъярусным эстакадам, более просты и удобны, чем проложенных по трех- и четырехъярусным эстакадам. Наличие трубопроводных сетей больших диаметров ведет к росту различного рода трудностей в случае применения многоярусных эстакад. Главная из них — сложность применения передвижных подъемно-транспортных средств при строительстве сетей и замене трубопроводов, расположенных в середине контура многоярусных эстакад.

После оценки положительных и отрицательных сторон приведенных вариантов расположения сетей и учитывая наличие свободной полосы на генеральном плане предприятия, в данном случае принимается вариант сооружения двух рядом расположенных одно- и двухъярусных эстакад с расположением проходных дорожек на всех ярусах (рис. 2.18).

Кроме рассмотренных примеров возможны еще и другие варианты расположения трубопроводов по поперечному сечению при использовании наземных эстакад. Приведенные примеры показывают основные принципы компоновки трубопроводов в поперечном сечении трассы при расположении низа эстакад на высоте 2,5 м и более от поверхности земли. Эти принципы могут быть также успешно применены и в других, здесь не рассмотренных, случаях.

Когда продольные балки эстакады расположены на высоте, не допускающей размещения кабелей на нормативной высоте, — 2,5 м от поверхности земли, прокладка кабелей по боковым стенкам балок становится невозможной и их необходимо прокладывать либо подземно, либо по конструкциям верхнего строения эстакад. Прокладка и эксплуатация кабелей, проложенных наземно, осуществляется с помощью стремянок, устанавливаемых на земле или специализированных автомашин. Если кабели располагаются выше 6 м от поверхности земли, желательнее устройство на эстакадах проходных дорожек. При отсутствии проходных дорожек прокладка и обслуживание кабелей возможны только с помощью автовышек или автокранов, которые в этом случае должны быть в любое время и при любых обстоятельствах доступны для обслуживающего персонала.

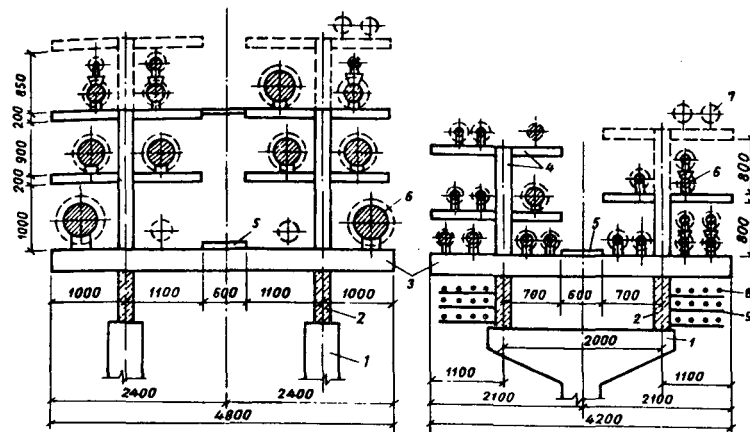


Рис. 2.18. Поперечный разрез сетей, прокладываемых по двум проходным эстакадам: двухъярусной и одноярусной (32 трубы, 24 кабеля) Условные обозначения см. рис. 2.17

**Прокладка сетей в проходных каналах.** Задачу оптимального расположения инженерных сетей трубопроводов в поперечном сечении трассы выполняют с учетом "Методических рекомендаций по экономической оценке способов прокладки коммуникаций в городах" (ЦНИИЭП инженерного оборудования, 1977 г.) и СНиП 2.04.07—86. Следует иметь в виду, что экономическая целесообразность комплексной прокладки инженерных коммуникаций повышается при создании единой коллекторной схемы магистральных, распределительных и внутриквартальных сетей города. Рекомендациями предусмотрено:

в коллекторных туннелях допускается прокладывать тепловые сети, электрокабели напряжением до 10 кВ, кабели связи, распределительные водопроводные сети из стальных или пластмассовых труб, а во внутриквартальных коллекторах — еще и газопроводы низкого давления. Магистральные водоводы, трубопроводы канализации, газопроводы среднего и высокого давления прокладывать в коллекторах не допускается;

прокладку газопроводов в коллекторах допускается выполнять только при наличии системы обнаружения загазованности с выводением сигналов на диспетчерский пункт, а также при наличии системы вентиляции, обеспечивающей не менее чем трехкратный обмен воздуха в час.

СНиП 2.04.07—86 диктует следующие требования:

высоту туннелей в свету следует принимать не менее 2 м; для туннелей необходимо предусматривать входы с лестни-

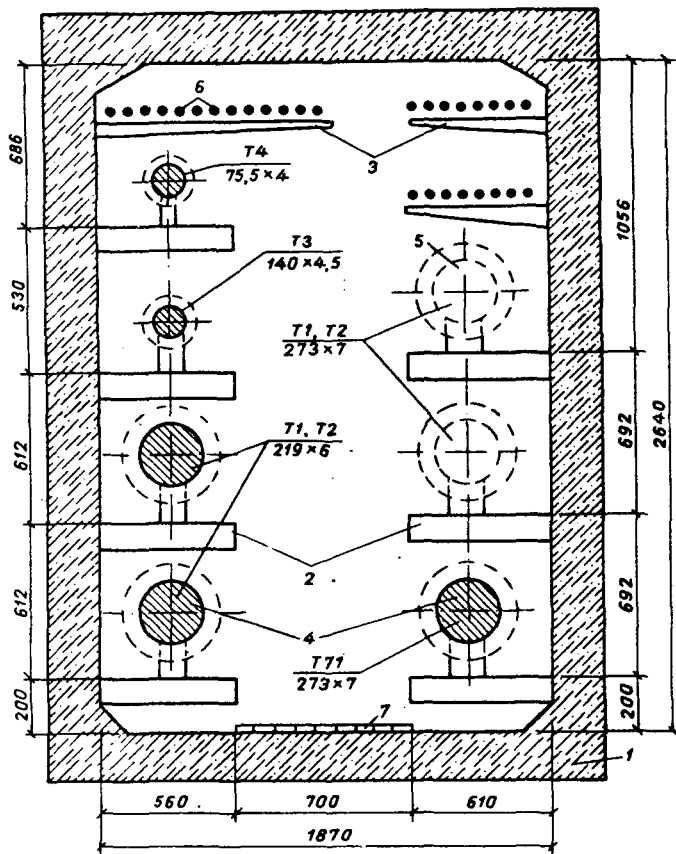


Рис. 2.19. Поперечный разрез сетей, прокладываемых в проходном канале (7 труб, 30 кабелей)

1 — сборный железобетонный проходной канал; 2 — металлические консоли; 3 — кабельные полки или лотки; 4 — проектируемые трубопроводы; 5 — перспективные трубопроводы; 6 — кабели; 7 — проходная дорожка

цами и монтажные проемы на расстоянии не более 300 м друг от друга; аварийные и входные люки — на расстоянии не более 100 м при наличии паропроводов и не более 200 м для водяных тепловых сетей;

в туннелях должна быть приточно-вытяжная вентиляция, которая обеспечивает как в зимнее, так и в летнее время температуру воздуха в туннелях не выше 50°C, а на время произ-

водства ремонтных работ и обходов — не выше 33°C. Снижение температуры воздуха в туннелях с 50 до 33°C допускается предусматривать с помощью передвижных вентиляционных установок;

ширина прохода в проходных каналах и туннелях должна быть не менее 600...1000 мм в зависимости от диаметров труб.

Приведенные условия определяют габариты проходных каналов, предназначенных для совмещенной прокладки инженерных сетей. Поперечный разрез проходного канала для прокладки тех же 7 трубопроводных сетей и 30 кабелей, приведенных на рис. 2.15, показан на рис. 2.19. Внутренняя площадь сечения канала — 4,94 м<sup>2</sup>; наружная площадь при толщине его днища, стенок и перекрытия 0,15 м — 6,2 м<sup>2</sup>. Поперечная площадь сечения внутри канала, занимаемая одним трубопроводом с учетом прокладки проектируемых кабелей, составляет 0,7 м<sup>2</sup>, а по отношению к наружной площади сечения канала — 0,9 м<sup>2</sup>.

Сравнение трех вариантов размещения одинаковых трубопроводов, а именно: по наземной эстакаде с расположением труб горизонтально в один ряд без проходной дорожки, по эстакаде с расположением труб по вертикали с наличием проходной дорожки и, наконец, в проходном канале дает возможность оценить положительные и отрицательные стороны этих способов прокладки сетей по следующим критериям.

1. *Компактность прокладки сетей.* Трубопроводные сети наиболее компактно размещаются при их наземной прокладке с расположением труб горизонтально в один ряд без проходной дорожки, о чем свидетельствует табл. 2.12.

2.12. Компактность прокладки трубопроводных сетей

№ рисунка	Способ прокладки трубопроводных сетей	Поперечная площадь сечения, приходящаяся на один трубопровод, м <sup>2</sup>	Степень компактности укладки трубопроводов
2.15,а	Наземная прокладка с расположением трубопроводов горизонтально в один ряд без проходной дорожки	0,21	1
2.15,б	Наземная прокладка с расположением трубопроводов по вертикали с наличием проходной дорожки	0,59	2,7
2.19	Подземная прокладка трубопроводов в проходном канале	0,7	3,3

Компактность прокладки сетей положительно влияет на экономию капитальных затрат в строительстве, экономию строительных материалов, а также на удобство строительства

и эксплуатации сетей. Однако она не всегда играет решающую роль в выборе способа прокладки сетей.

**2. Простота строительства.** Как правило, самым простым способом является наземная прокладка инженерных сетей, особенно при расположении труб горизонтально с проходной дорожкой или без нее. Для сооружения таких сетей характерно: максимальное применение типовых сборных железобетонных конструкций; минимальные расход металла и объем земляных работ; отсутствие необходимости сноса и восстановления зданий и сооружений, уличных, дворовых и дорожных покрытий, зеленых насаждений, перекладки существующих подземных инженерных сетей; минимальные перерывы работы транспорта в зоне строительства.

При прокладке инженерных сетей в подземных проходных каналах особые трудности встречаются при прохождении скальных и болотистых грунтов, а также при высоком уровне грунтовых или паводковых вод. Необходимость сооружения надежных систем попутного дренажа при высоком уровне грунтовых вод и строительстве наземных валов или дамб для защиты местности от паводковых вод существенно осложняют строительные работы и увеличивают капитальные затраты на строительство. Определенные трудности возникают при сооружении относительно глубоко расположенных подземных проходных каналов. Эти трудности возрастают в случаях расположения трассы каналов рядом с действующими инженерными сетями, зданиями и сооружениями, основания и фундаменты которых расположены на более высоких отметках, чем низ сооружаемых каналов. Действующие сооружения могут иногда потребовать весьма дорогостоящей защиты от возможного их разрушения при осадках или обвалах грунтов на трассе строительства глубоких каналов.

**3. Технологичность строительства.** Этот фактор в значительной степени зависит от одновременности прокладки сетей. Организация прокладки новых сетей рядом с действующими по ранее сооруженным строительным конструкциям всегда более сложна и трудоемка, чем при первоначальном их строительстве. Меньше трудностей встречается при прокладке новых сетей по наземным эстакадам. Усложнена стесненными условиями прокладка новых сетей в подземных проходных каналах, куда подачу труб и строительных материалов можно осуществить только через монтажные люки. В этих случаях применение подъемно-транспортных средств внутри канала весьма ограничено. Искусственные освещение и вентиляция проходных каналов, естественно, не обеспечивает такой уровень удобств, который достигается при наземной прокладке сетей.

Следует также отметить, что наличие относительно высоких глубоко заложенных подземных проходных каналов создает

некоторые затруднения при строительстве других инженерных сетей, прокладываемых отдельно на той же глубине в поперечном канале направлении.

**4. Удобства эксплуатации.** Эксплуатация инженерных сетей, проложенных наземно, более проста и удобна, чем проложенных совмещенно в подземных проходных каналах или тоннелях. Это относится практически ко всем элементам эксплуатационного процесса: обходу, осмотру, отключению и подключению сетей; промывке, заполнению, опорожнению и испытанию трубопроводов; обнаружению повреждений и аварий, а также к их ликвидации; ремонту сетей.

**5. Долговечность и надежность действия сетей.** Существующая техническая литература отмечает, что долговечность подземных инженерных сетей в 1,5...3 раза ниже, чем наземных. Основными причинами снижения долговечности сетей при подземной прокладке являются внешняя коррозия наружной поверхности труб, которая возникает из-за неблагоприятного термического режима эксплуатации в присутствии почвенных влаги, кислорода и разных солей, а также электрокоррозия, действующая по всему телу трубы, которую порождают блуждающие электрические токи в грунтах.

Приведенные выше цифры относительной долговечности сетей наземной и подземной прокладки следует расценивать как усредненные для всех сетей по стране. Однако в разных условиях они весьма заметно различаются и, в частности, существенно зависят от наличия грунтовых или паводковых вод, агрессивности грунтов, материала трубопроводов, качества антикоррозионного покрытия труб, наличия и напряженности электрических токов и разных других факторов.

Долговечность сетей, проложенных в проходных каналах, пока еще изучена недостаточно из-за относительно небольшого их наличия и срока действия. Однако уже имеющийся опыт показывает, что долговечность и, соответственно, надежность действия сетей в этом случае несколько увеличиваются по сравнению с этими же параметрами сетей отдельной подземной прокладки, но все же значительно отстают от параметров при наземной прокладке. Иллюстрацией к вопросу долговечности и надежности действия инженерных сетей может служить опыт эксплуатации их в Риге в течение последних 30 лет. Так, например, средняя долговечность тепловых сетей города, проложенных в подземных непроходных каналах, расположенных в относительно влажных и мокрых грунтах, составила по причине внешней коррозии сетей 12...15 лет при нормативной долговечности сетей 25 лет. Тепловые сети же, проложенные наземно, после 20...25-летней эксплуатации в большинстве случаев внешней коррозией не повреждались, и ожидается, что при правильной эксплуатации, не допускающей внутрен-



ней коррозии, долговечность надземных водяных тепловых сетей может быть доведена до 40 лет и более.

На практике нередко наблюдается разрыв или повреждение подземно проложенных инженерных сетей при работе землеройных машин. Ликвидация подобных повреждений или аварий сетей, а также их последствий зачастую требует значительных трудовых, материальных и капитальных затрат, которые могут превысить первоначальные затраты на сооружение этих сетей.

Учитывая неуклонно растущее значение инженерных сетей в народном хозяйстве, их повседневная надежность приобретает особую важность в условиях гражданской обороны. Требования, учитываемые в проектировании и строительстве сетей применительно к этим условиям, рассматриваются в специальной технической литературе. Однако совершенно ясно, что важнейшей задачей является содержание инженерных сетей в технически исправном состоянии, что лучше всего обеспечивается их наземной прокладкой, так как упрощается и ускоряется отключение и ремонт сетей. При взрывах наземно проложенные сети менее уязвимы, чем питаемые ими здания и сооружения, поскольку относительно округлые и по площади небольшие строительные конструкции эстакад и сами сети более устойчивы воздушными волнами.

**6. Капитальные и эксплуатационные затраты.** Капитальные затраты на сооружение инженерных сетей при разных способах их прокладки зависят от многих обстоятельств: наличия болотистых, слабых, плотных, мерзлых и скальных грунтов; высоких уровней грунтовых и паводковых вод; необходимости пересечения шоссейных и железных дорог, проездов, каналов, рек, оврагов, разных зданий и сооружений; необходимости перекладки существующих инженерных сетей, переносов зданий; устройства шпунтовых ограждений, систем попутного дренажа и др. Однако в общем случае совмещенная прокладка инженерных сетей по наземным эстакадам требует меньше трудовых, материальных и капитальных затрат, чем прокладка этих сетей в подземных проходных каналах или туннелях.

Годовые эксплуатационные затраты состоят из отчислений на амортизацию, текущий ремонт, оплату обслуживающего персонала и электроэнергии и прочих расходов. Расходы на амортизацию и текущий ремонт исчисляются в процентах от капитальных затрат, а прочие расходы — в процентах от суммы отчислений на амортизацию, текущий ремонт и заработную плату, т. е. тех расходов, которые в значительной степени зависят от капитальных затрат. Таким образом, годовые эксплуатационные расходы при прокладке сетей в более дорогих подземных проходных каналах выше, чем при прокладке этих же сетей по наземным эстакадам. К упомянутым увеличенным

эксплуатационным расходам еще добавляется, правда, относительно небольшая, стоимость электроэнергии, расходуемой для освещения и принудительной вентиляции проходных каналов.

Следует отметить, что при сравнении разных вариантов прокладки инженерных сетей годовые эксплуатационные расходы необходимо определять с учетом долговечности действия этих сетей, которая в разных условиях и в разных географических и климатических районах страны может быть различной.

**7. Градостроительные соображения.** Способ совмещенной прокладки инженерных сетей по наземным эстакадам или в подземных проходных каналах, как правило, устанавливается службами главных архитекторов городов, районов и областей путем подготовки и выдачи заказчиком и проектным организациям соответствующего архитектурно-планировочного задания (АПЗ) на проектирование и строительство объектов. Каждое АПЗ составляют с учетом архитектурных и эстетических требований местности и действующих нормативных материалов.

Однако следует заметить, что архитектурные и эстетические требования могут быть объективными и субъективными. По существу, эти вопросы тесно связаны с вкусами, нравами и привычками людей, необходимостью той или другой стройки, доступностью требуемых строительных материалов определенного качества, возможностями строительных организаций, но чаще всего связаны с традиционностью в решениях, а также с существующей модой.

Учитывая разность взглядов и вкусов людей всех времен, можно сделать вывод, что в деле применения подземных проходных каналов или наземных эстакад для совмещенной прокладки инженерных сетей общей формулы решения нет и не может быть. Эти вопросы необходимо решать на местах исходя из конкретных потребностей, возможностей и разных местных условий.

Разработанные варианты поперечных разрезов сетей следует предварительно согласовать с заинтересованными службами.

## 2.10. ПРОДОЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ ТРАССЫ СЕТЕЙ

**Создание топогеодезической подосновы.** Для разработки продольных профилей трассы совмещенно прокладываемых инженерных сетей для отдельных предприятий, промышленных районов или микрорайонов городов необходимо располагать следующими материалами:

топографическим планом местности (М 1:500) с указанием всех существующих на местности подземных сетей и сооружений;

генеральным планом предприятий или проектом решаемого района (М 1:500) с нанесенными после предварительного согласования в установленном порядке проектируемыми зданиями, сооружениями, проездами, газонами и трассами проектируемых наземных эстакад или подземных проходных каналов;

архитектурно-планировочным заданием, выданным службами главного архитектора города, района или области, в тех случаях, когда принимаемые решения влияют на архитектурный и эстетический вид местности и разработанный проект наземных эстакад подлежит окончательному согласованию с этими службами;

разработанными поперечными сечениями трасс совмещенных инженерных сетей, предварительно согласованными с заинтересованными организациями: службами эксплуатации, архитектуры, пожарного надзора и др.;

результатами гидрогеологических изысканий, проведенных по трассам совмещенно прокладываемых инженерных сетей.

Разработку продольных профилей по оси трассы прокладки наземных эстакад или проходных каналов начинают с подготовки топографо-геодезической подосновы, на которую наносят продольный профиль сетей. Если проектируемые инженерные сети располагаются на двух рядом размещенных наземных эстакадах или в двух проходных каналах, то по оси каждой из них разрабатывают свои отдельные продольные профили. Подоснову разрабатывают по материалам топографических изысканий. При отсутствии на топографических планах всех необходимых исходных данных их следует получить путем устройства шурфов и выполнения обмеров в натуре.

Топогеодезическая подоснова продольного профиля должна содержать следующие элементы:

контур натурной (черной) поверхности земли, пересекаемые существующие железнодорожные и трамвайные пути, дороги, улицы, проезды, тротуары, здания, сооружения, подземные и наземные сети и коммуникации с их названиями и характеристиками, указанием их верхних и нижних отметок (в горизонтальном масштабе  $M_{гор}$  1:500 и вертикальном  $M_{верт}$  1:50);

контур проектной (красной) поверхности земли, пересекаемые проектируемые дороги, здания, коммуникации, подземные и наземные инженерные сети, наносимые по материалам генеральных планов и проектам вертикальной планировки расматриваемых территорий;

расстояния между характерными точками рельефа земли, основными коммуникациями, зданиями и сооружениями; красные линии улиц, углы поворота и пикетаж трассы, определяемые по материалам топографических планов;

геологическую картину, наблюдаемые и предполагаемые максимальные (5% обеспеченности) уровни грунтовых и папководных вод по трассе проектируемых сетей, определяемые по материалам гидрогеологических изысканий. Если особые обстоятельства требуют более точных данных, необходимо выполнить бурение дополнительных скважин в характерных точках и определить расчетным путем предполагаемые другие характерные уровни воды, повторяющиеся один раз за 50 и 100 лет.

В примечаниях необходимо привести сведения об агрессивности грунтов и грунтовых вод, возможности образования верховодки в глинистых грунтах, оползней, карстовых и других явлений, пагубно действующих на проектируемые инженерные сети и строительные конструкции. Особенно важны указания о допустимости осуществления системы попутного дренажа при прокладке инженерных сетей в подземных проходных каналах. На практике нередко случается, что искусственное понижение уровней грунтовых вод приводит к осушению и вызванному этим разрушению оголовков деревянных свай различных старинных сооружений района с приведением их в аварийное состояние. В районах образования в верхних слоях болотистых грунтов сероводородных минеральных вод искусственное понижение уровней грунтовых вод способствует прекращению образования минеральных вод и целебных илов в пределах определенной окрестности.

После разработки топогеодезической подосновы приступают к созданию самих продольных профилей. При общих основных принципах конструирования продольные профили трассы сетей, прокладываемых различными способами, имеют свои характерные особенности.

**Разработка продольного профиля трассы при наземной прокладке сетей.** В этом случае работу выполняют в следующем порядке.

1. Откладывают на топогеодезической подоснове продольного профиля нормативные высотные отметки расположения низа строительных конструкций эстакад, обеспечивающие свободный проезд транспорта по улицам, шоссе и речным путям, с добавлением 0,2...0,5 м, что учитывает возможность подъема поверхности улиц и путей сообщения при их ремонте и реконструкции. Эта нормативная высота в зависимости от вида транспорта составляет 5...14 м и определяется действующими нормативными материалами и техническими условиями, выданными эксплуатационными организациями для проектирования и строительства каждого конкретного объекта. В местах пересечения трассой территорий, по которым возможно только пешеходное движение, минимальная высота расположения низа строительных конструкций от поверхности земли составляет 2 м. Однако при прохождении по эстакадам кабелей

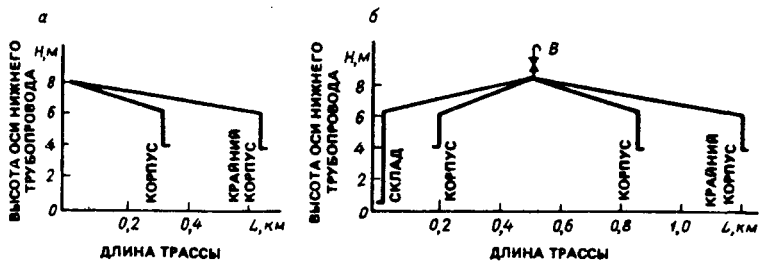


Рис. 2.20. Схемы продольного профиля наземных эстакад с односкатным (а) и двухскатным (б) расположением сетей В — воздушники

высота их расположения должна быть не менее 2,5 м от поверхности земли. На участках, где нет пешеходного и транспортного движения, высота расположения конструкций эстакад может быть понижена с таким расчетом, чтобы низ инженерных сетей, кроме кабелей, находился бы на высоте не менее 0,35 м от поверхности земли. При этом следует учесть, что столь низкая прокладка исключает механизированную уборку территорий и позволяет недопустимое хождение людей по трубопроводам, если они не ограждены специальными конструкциями. На практике участки расположения низких эстакад со временем превращаются в антисанитарные и эстетически неприглядные полосы.

2. Выполняют поиск оптимального продольного профиля по всей трассе проектируемых сетей. Оптимальным решением, с точки зрения надежности действия сетей, является их расположение с односторонним уклоном (рис. 2.20,а) и с применением П-образных горизонтально размещенных компенсаторов. При такой конструкции получается наиболее простое и удобное наполнение, опорожнение и промывка сетей, отсутствуют так называемые "мешки" трубопроводов, в которых накапливаются разные осадки и создаются дополнительные потери давления. Однако расположение сетей с односторонним уклоном в профиле приводит к необходимости сооружения высоких и дорогих опор эстакад из-за необходимости создания нормативного уклона, минимальное значение которого составляет 3 ‰. Так, например, при ровной поверхности земли и при длине трассы 0,6 км подъем эстакады в начальной точке трассы составляет 1,8 м. Поэтому эстакады с односторонним уклоном по всей длине трассы обычно сооружают только при пологом рельефе местности и коротких трассах, что встречается редко.

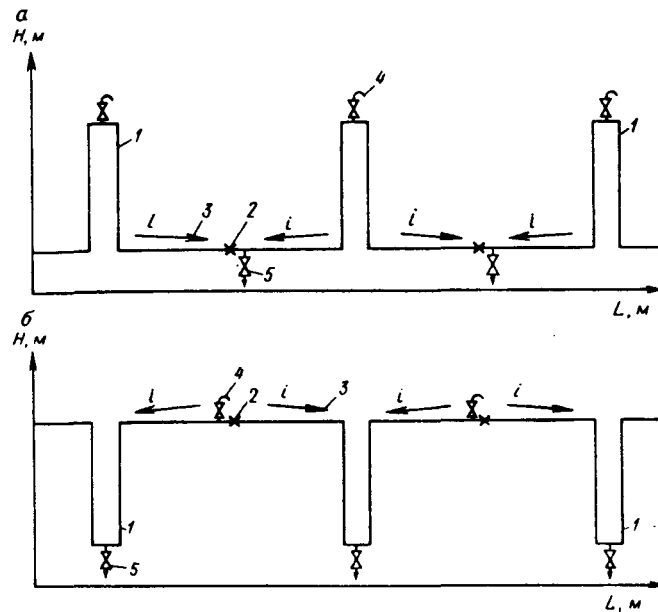


Рис. 2.21. Схемы продольного профиля сетей низкой (а) и высокой (б) прокладки с вертикально расположенными П-образными компенсаторами 1 — П-образный компенсатор; 2 — неподвижная опора; 3 — уклон сетей; 4 — воздушники; 5 — спускники

В случаях увеличения длины трассы необходимо применять эстакады с двухсторонним уклоном (рис. 2.20,б). Здесь при подъеме эстакады в середине трассы на 1,8 м возможная длина трассы, охватываемая эстакадой с двухсторонним уклоном, уже достигает 1,2 км. В этом случае получается зонтообразное расположение наземной эстакады и инженерных сетей с размещением основных воздушников в одной общей высшей точке и расположением спускников в низших точках каждого отдельного здания. Побочные воздушники и спускники местного значения устанавливают у отсекающей запорной арматуры на магистралях и ответвлениях, которая приводится в действие в относительно редких, в основном в аварийных, ситуациях. При наличии еще более длинных трасс и поверхности земли с выраженным рельефом становится необходимым сооружение эстакад, состоящих из участков, имеющих односторонние и двухсторонние уклоны.

Кроме описанных высоких эстакад с одно- и двухсторонними уклонами довольно часто строят эстакады низкой про-

кладки с вертикально расположенными П-образными компенсаторами (рис. 2.21,а). При этом вертикальные компенсаторы одновременно могут решать задачу перехода эстакад над улицами, дорогами, путями разного назначения, зданиями и сооружениями. Такие эстакады имеют свои преимущества. Они наименее капиталоемки. Низко расположенные участки эстакад при необходимости можно спрятать за заборами промышленных предприятий и полосами зелеными насаждений. Доступными глазу со стороны остаются только участки прокладки вертикальных компенсаторов и переходы через пути и дороги. Вертикальное расположение П-образных компенсаторов заметно уменьшает ширину полосы, занимаемой трассой, что также является положительной стороной эстакад этого вида.

Однако сооружение низких эстакад с вертикально поднятыми компенсаторами несмотря на вышеуказанные преимущества только в редких случаях себя оправдывает как с технической, так и с архитектурной и эстетической точек зрения. Вертикальные компенсаторы создают весьма неприятные для эксплуатации трубопроводов "мешки", вызывают необходимость установки дополнительных воздушников и спускников и требуют обеспечения беспрепятственного доступа к ним в любое время. Экономический эффект от снижения капитальных затрат в строительстве теряется вследствие сопутствующей низкой прокладке эстакад потери весьма ценных территорий. На практике при сравнении вариантов прокладки эстакад весьма часто упускают из вида вопрос стоимости земли, считая, что последняя затрачивается одинаково при низкой, средней и высокой прокладках эстакад или вообще ничего не стоит.

В действительности это не так. Если при низкой прокладке территория, расположенная под эстакадой, фактически не используется, то при средней и высокой прокладке эстакад она может быть использована для прохода пешеходов, пропуска автотранспорта, устройства стоянок и гаражей легковых и грузовых автомашин, мест складирования контейнеров и разных грузов, размещения газонов, клумб и даже отдельных невысоких зданий и сооружений. Стоимость земли, частично или полностью, должна учитываться при технико-экономических сравнениях вариантов прокладки наземных эстакад в продольном профиле трассы.

Помимо эстакад низкой прокладки с горизонтально и вертикально расположенными П-образными компенсаторами встречаются и высокие эстакады с вертикальными П-образными компенсаторами, обращенными вниз (рис. 2.21,б). Им также свойственны свои положительные и отрицательные качества, существо которых рассмотрено уже выше.

Для лучшего обозрения продольных профилей эстакад по всей трассе в целом и представления разных вариантов на пред-

варительное согласование заинтересованным лицам и службам продольные профили разрабатывают на чертежах в масштабах  $M_{гор}$  1:500; 1:1000; 1:2000; 1:5000 и  $M_{верт}$  1:50; 1:100.

Горизонтальный масштаб избирают в зависимости от длины трассы проектируемых сетей; вертикальный — в зависимости от рельефа земли, высоты расположения существующих наземных инженерных сетей и сооружений, пересекаемых проектируемой эстакадой, от ее высоты.

Определенный и предварительно согласованный оптимальный вариант наносят на ранее разработанную топогеодезическую основу продольного профиля. Туда же вносят все необходимые цифровые данные. На этом разработка продольного профиля трассы инженерных сетей при их прокладке по наземным эстакадам считается законченной (рис. 2.22).

**Разработка продольного профиля трассы при прокладке сетей в подземных проходных каналах.** Подземная прокладка сетей не влияет на архитектурный вид города, не препятствует передвижению наземных транспортных средств и людей и не вынуждает решать вопросы, связанные с пересечением существующих и проектируемых наземных сетей и сооружений. Но и здесь имеются свои существенные трудности.

Так, создание оптимальных продольных профилей сетей с односторонним или двухсторонним уклоном достаточно просто осуществимо при пологой поверхности земли с условием, что уклон идет в нужном направлении. Однако при горизонтальной поверхности земли или уклоне ее, противоположном требуемому направлению сетей, проходной канал значительно заглубляют. Это приводит к заметным увеличениям капитальных затрат, ухудшению условий строительства и эксплуатации по сравнению с сетями мелкого заложения или наземной прокладки.

Сложности возникают и при пересечении проектируемых сетей с существующими подземными сетями, которых в настоящее время гораздо больше, чем наземных. В этих случаях часто приходится прибегать к перекладке существующих сетей с размещением их в менее удобном положении — под или над каналом, то есть слишком глубоко или мелко. Перекладка сетей связана с установлением эксплуатационными организациями особых технических условий, принятием новых технических решений и увеличением объема проектных и строительно-монтажных работ. Перекладку сетей, особенно кабельных, необходимо осуществлять не только в точке пересечения канала и сетей. Часто приходится ее начинать и кончать на значительном расстоянии от точки пересечения (от муфты до муфты).

Осложнения в проектировании вызываются присутствием грунтовых и особенно паводковых вод в районе прокладки проходных каналов. В каждом отдельном случае при этом при-

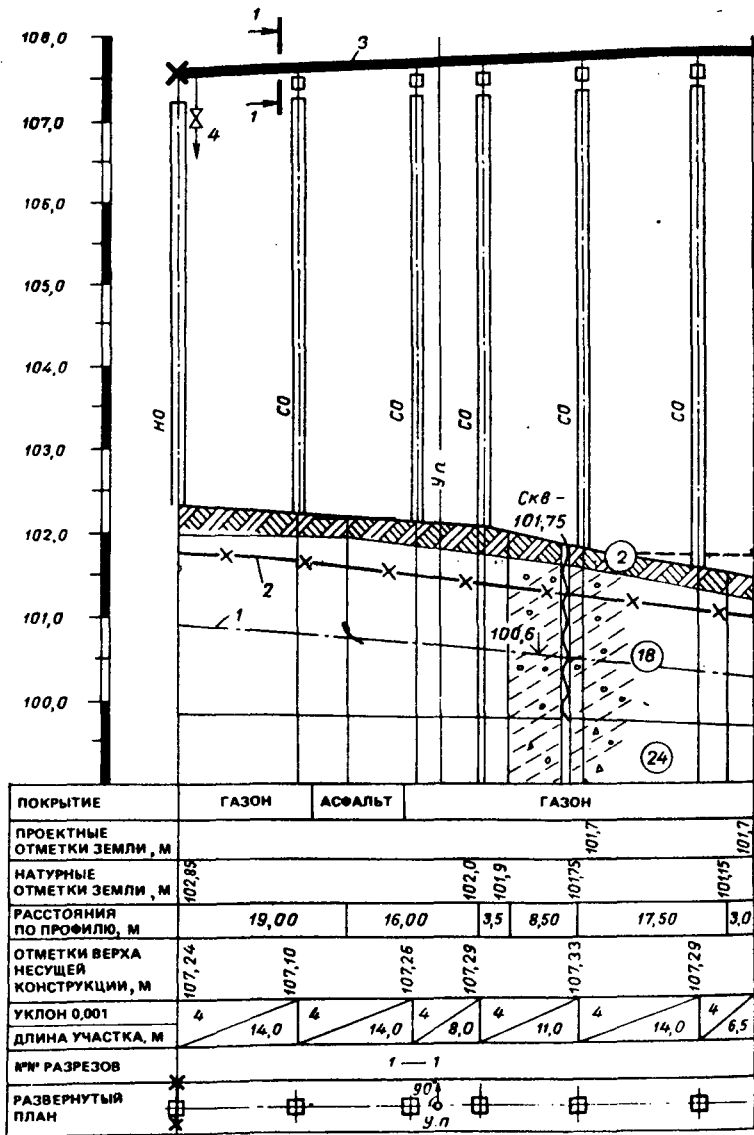


Рис. 2.22. Продольный профиль трассы сетей при их наземной прокладке, разрабатываемый на стадии рабочих чертежей или проекта (пример) НО — неподвижная опора; СО — скользящая опора; (2), (18), (24) — слои геологического разреза; 1 — наблюдаемый уровень грунтовых вод;

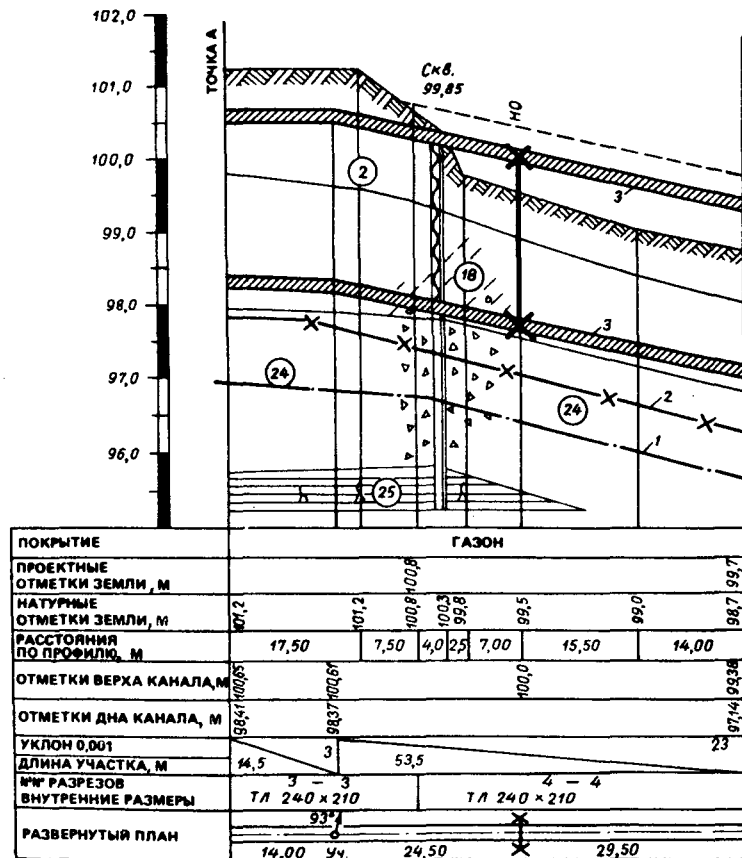


Рис. 2.23. Продольный профиль трассы сетей при их подземной прокладке, разрабатываемый на стадии рабочих чертежей или проекта (пример) НО — неподвижная опора; (2), (18), (24), (25) — слои геологического разреза; 1 — наблюдаемый уровень грунтовых вод; 2 — предполагаемый максимальный уровень грунтовых вод; 3 — проходной канал; У.П. — угол поворота

ходится принимать индивидуальные решения, оптимальные для местных условий. В этих случаях проектирование может продолжаться лишь при получении соответствующих дополнительных технических условий.

2 — предполагаемый максимальный уровень грунтовых вод; 3 — трубопроводные сети, прокладываемые по безбалочной эстакаде; 4 — спускник; У.П. — угол поворота

## Глава 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СОВМЕЩЕННО ПРОКЛАДЫВАЕМЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

### 3.1. КОМПЕНСАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ. КОМПЕНСАТОРЫ

При расположении проходного канала с односторонним уклоном и пологой поверхности земли имеется возможность сооружения единой системы попутного дренажа, действующей самотеком или с помощью одной насосной станции перекачки. Расположение канала с двух- и многосторонним уклонами обычно приводит к необходимости сооружения двух и более систем попутного дренажа и насосных станций перекачки.

По территориям, затопляемым паводковыми водами, применение подземных проходных каналов для прокладки инженерных сетей возможно только при устройстве водозащитных земляных валов вокруг района, обслуживаемого сетями. Иногда защитные валы оказываются недостаточными и необходимо дополнительное сооружение дренажной системы, понижающей уровень воды в грунтах района, расположенного внутри водозащитных валов.

Разработанные варианты продольного профиля трассы сетей, прокладываемых в подземных проходных каналах, представляются заинтересованным службам на предварительное согласование и получение технических условий на перекладку существующих сетей. В ходе этих согласований окончательно определяют оптимальный вариант профиля. Может случиться, что разработанные варианты продольного профиля докажут целесообразность отказа от сооружения подземных проходных каналов вообще и определяют необходимость строительства наземных эстакад, при которых отсутствуют основные затруднения технического и экономического характера, свойственные способу прокладки сетей в подземных проходных каналах.

Разработка продольного профиля трассы проходного канала считается законченной после переноса оптимального варианта на ранее разработанную топогеодезическую подоснову продольного профиля в масштабах  $M_{гор}$  1:500 и  $M_{верт}$  1:50 и внесения всех необходимых цифровых данных (рис. 2.23). Окончательно разработанный продольный профиль наглядно показывает, какие из существующих подземных сетей подлежат перекладке, на какой глубине по отношению к поверхности земли они должны располагаться, насколько должен быть понижен уровень грунтовых вод и как для достижения этого должны быть расположены трубопроводные сети попутного дренажа.

Трубопроводным сетям, сооружаемым из твердых материалов, удлиняющихся при нагреве и укорачивающихся при охлаждении, свойственны термические перемещения, в ряде случаев весьма значительные. Эти перемещения могут возникнуть в результате нагрева или охлаждения труб транспортируемым веществом повышенной, пониженной или переменной температуры; они возникают и при термическом воздействии наружной окружающей среды на материал труб. Термические перемещения труб  $\Delta L$  определяют по формуле:

$$\Delta L = \alpha \Delta t L,$$

где  $\alpha$  — коэффициент линейного расширения трубопровода, мм/(м·град);  $\Delta t$  — расчетная разность температур: максимальной температуры транспортируемого вещества и расчетной температуры наружного воздуха, для проектирования отопления, °C;  $L$  — длина расчетного участка, м.

Существующая техническая литература указывает, что для полной гарантии надежности действия сети расчетную величину  $\Delta t$  следует определять исходя из температуры наружного воздуха местности в наиболее холодные пятидневки (то есть при расчетной температуре отопления), при которой, в исключительных случаях, может еще происходить монтаж труб. Однако на практике это случается редко и чаще сети сооружают при более высоких температурах воздуха. Так, например, при расчетной температуре горючего трубопровода  $t_r = 150^\circ\text{C}$ , расчетной температуре наружного воздуха в наиболее холодные пятидневки  $t_{н.в} = -20^\circ\text{C}$  и выполнении монтажа труб при температуре  $t_{н.в} = 10^\circ\text{C}$  расчетный перепад температур  $\Delta t$ , определяющий термические перемещения трубопровода, составляет:  $\Delta t_{max} = 150 - (-20) = 170^\circ\text{C}$ , а  $\Delta t_{факт} = 150 - 10 = 140^\circ\text{C}$ .

Это значит, что при расчете значения  $\Delta t$  по максимуму создается резерв в размере  $(170 - 140) / (170 \cdot 100) \approx 18\%$ , который может быть использован в критических случаях.

При транспортировании трубопроводами охлажденных веществ  $\Delta t$  определяют как разницу между средней максимальной расчетной температурой наружного воздуха и расчетной температурой летом и расчетной температурой охлажденного вещества. При таком расчете величина  $\Delta t$  получается максимальной.

**Пример определения расчетного термического перемещения труб.**  
Дано: Схема участка водяных тепловых сетей  $2D_y = 300$  мм,  $L = 120$  м с параметрами теплоносителя  $150...70^\circ\text{C}$ , сооружаемых из

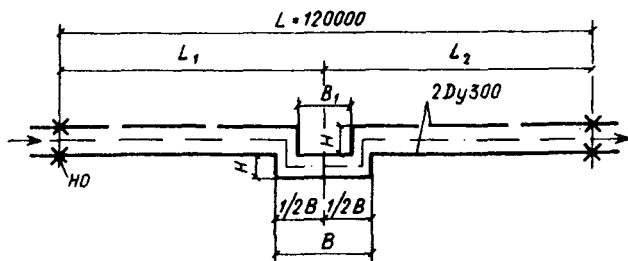


Рис. 3.1. Схема участка двухтрубной сети с П-образными компенсаторами  
 Н — вылет компенсаторов; В, В<sub>1</sub> — плечи компенсаторов; НО — неподвижная опора

стальных труб с применением П-образных компенсаторов (рис. 3.1); место строительства тепловых сетей — г. Рига, в котором средняя температура наиболее холодных пятидневок  $t = -20^{\circ}\text{C}$ ;

коэффициент линейного расширения  $\alpha$  труб, изготовленных из углеродистой стали, при температуре нагрева их стенки до  $t = 150^{\circ}\text{C}$  —  $\alpha = 1,25 \cdot 10^{-2}$  мм/(м·град).

Расчет. Максимальное термическое удлинение подающего трубопровода водяных тепловых сетей

$$\Delta L = 1,25 \cdot 10^{-2} [150 - (-20)] 120 = 245 \text{ мм.}$$

Термическое удлинение обратного трубопровода

$$\Delta L = 1,25 \cdot 10^{-2} [70 - (-20)] 120 = 135 \text{ мм.}$$

В целях снижения расчетного термического удлинения трубопровода рекомендуется предварительная растяжка смонтированных участков сети до установки неподвижных опор. При наличии П-образных компенсаторов возможно таким образом уменьшить их вылет на 30% и расход труб — на 2...4%. Однако следует заметить, что выполнение предварительной растяжки сети в натуре строго по расчету довольно сложно и при осуществлении ее возможны неточности и ошибки. Особенно сложна предварительная растяжка при высокой и средней наземной прокладке сетей. Поэтому предварительную растяжку трубопроводов по чисто практическим соображениям рекомендуется осуществлять только в особенных, критических случаях.

Для трубопроводных сетей, сооружаемых из гибких материалов — резины, разных полимеров и др., а также для кабелей термические перемещения не определяют, поскольку они практически не создают усилий как в самих сетях, так и в строительных конструкциях наземных эстакад и подземных проходных каналов.

Для компенсации термических перемещений трубопроводов в первую очередь используют вынужденные повороты

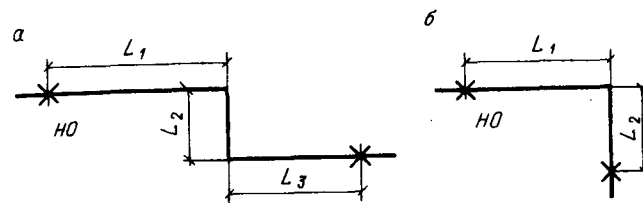


Рис. 3.2. Схемы самокомпенсирующих участков трубопроводных сетей  
 а — Z-образная конфигурация участка сети; б — Г-образная конфигурация участка сети; НО — неподвижная опора

трассы сетей в плане, а также вертикальные подъемы или опуски труб в профиле. Повороты создают Z- или Г-образную конфигурацию участков сетей (рис. 3.2), дающих возможность сетям воспринять термические перемещения трубопроводов без применения специальных компенсаторов. Хороший эффект дает зигзагообразная конфигурация трассы сетей. Практически же это возможно только при относительно небольших значениях  $\Delta t$  и  $\Delta L$ , а также при расположении сетей вне городской застройки, обычно имеющей строго прямые улицы и линии фасадов зданий. Такое расположение трассы, образующее расширение полосы, занимаемой этими сетями, допустимо только в загородных зонах.

Однако обычно основная часть трассы сетей состоит из прямых участков, где необходима установка специальных компенсаторов. В настоящее время изготавливают и устанавливают следующие типы компенсаторов: сальниковые, сильфонные, П-образные, а также лирообразные и линзовые, которые при совмещенной прокладке сетей не применяются (рис. 3.3).

Сальниковые компенсаторы изготавливают на заводах в одностороннем и двухстороннем исполнениях. Пространство между трубопроводом и корпусом компенсатора уплотнено набивкой из жгута термостойкой резины, смазанной маслом для уменьшения трения. Их работа основана на принципе действия раздвижной телескопической трубы, которая не допускает образования изгибов сочленений, способных создать защемление труб и разуплотнение сальников. Поэтому установка сальниковых компенсаторов допускается только на прямых (как в плане, так и в профиле сети) участках трубопроводов. Не допускаются также повороты трассы за односторонними сальниковыми компенсаторами, способные вызвать разворот корпуса компенсатора и нарушение соосности трубопровода и корпуса компенсатора в сальниковом пространстве.

Сальниковые компенсаторы применяют в трубопроводах, транспортирующих жидкости и газообразные вещества. Они имеют малые габариты и создают относительно небольшие

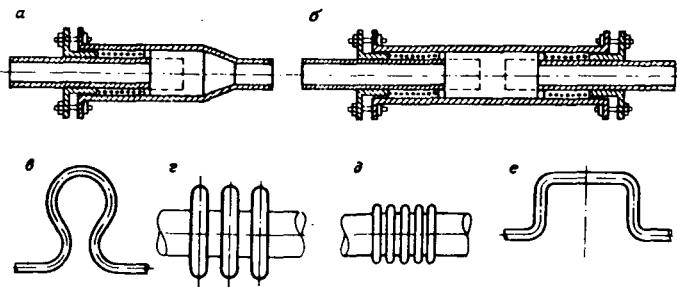


Рис. 3.3. Компенсаторы трубопроводных сетей  
 а — односторонний сальниковый; б — двухсторонний сальниковый;  
 в — лирообразный гладкоизогнутый; г — линзовый;  
 д — сильфонный (волнистый); е — П-образный

гидравлические сопротивления. Снижение потерь давлений в сети, оборудованной сальниковыми компенсаторами, по сравнению с сетью, оборудованной П-образными или лирообразными компенсаторами, составляет 10...80% в зависимости от диаметра трубопроводов и вида транспортируемого вещества.

Недостатками сальниковых компенсаторов являются необходимость их периодического обслуживания и наличия свободного пространства вокруг компенсатора, существенное увеличение усилий на неподвижные опоры и более частые повреждения и аварии, чем у компенсаторов других видов. Увеличение усилий на неподвижные опоры при наличии сальниковых компенсаторов достигает 2...5-кратных размеров по сравнению с П-образными и лирообразными компенсаторами.

При появлении подтеков в сальниках необходимо затянуть болты уплотняющего кольца (грундбоксы). Однако затяжка болтов кольца наряду с уплотнением сальника заметно повышает трение в компенсаторе и увеличивает усилия на неподвижные опоры. После повторных затяжек болтов эти усилия становятся еще более значительными и появляется необходимость замены уплотняющей набивки с временным прекращением работы и опорожнением сети, с последующим заполнением ее деаэрированной водой и осуществлением заново гидравлического испытания системы. Замена уплотняющей набивки сальника является достаточно сложной операцией, особенно при больших диаметрах труб, относительно низких температурах транспортируемой жидкости, и выполняется в ранее запланированное время — обычно летом. Но в случаях необходимости внезапной организации такой работы, например в аварийных ситуациях (в частности при высоких температурах транспортируемой жидкости в подающем трубопрово-

де водяных тепловых сетей зимой), замена сальниковой набивки превращается в весьма сложную задачу, особенно при подземной прокладке сетей. В этом случае необходимо понижение температуры теплоносителя ниже 100°C во всей системе тепловых сетей, чтобы избежать вскипания горячей воды, и отключение потребителей теплоты, расположенных в районе поврежденного компенсатора. Если погода холодная и вынужденное отключение потребителей теплоты продолжается несколько дней, возникает необходимость опорожнения местных систем отопления и вентиляции зданий, чтобы предупредить замерзание отдельных участков местных систем, проложенных по чердакам и лестничным клеткам, где температура воздуха низка и замерзание труб происходит довольно быстро. Возобновление работы систем отопления и вентиляции зданий в зимних условиях также связано с определенными трудностями.

Практика показала, что уплотнения сальниковых компенсаторов повреждаются не только из-за естественного износа жгутов термостойкой резины. Другой, более неприятной причиной является нарушение соосности трубопровода и корпуса компенсатора вследствие неодинаковой осадки камер, в которых расположены компенсаторы, и подземных каналов, в которых размещены трубопроводы. Неодинаковые осадки этих конструкций чаще всего происходят при подстилающих слабых грунтах и их замене песком. Особенно часто это наблюдается, когда при производстве строительных работ зимой подстилающий слой устраивают из мерзлого грунта. Следует отметить, что ликвидация последствий аварийных ситуаций, связанных с неполадками в сальниковых компенсаторах, обходится дорого. Стоимость выполнения в таких условиях ремонтных работ может превышать первоначальную стоимость всего участка сети, отключаемого при аварии.

При подземной прокладке сетей сальниковые компенсаторы требуют сооружения камер или павильонов больших размеров. Как при подземной, так и при наземной прокладке эти компенсаторы требуют удаления от них других сетей на расстояние, необходимое для удобства обслуживания сальников.

Итак, учитывая достоинства и недостатки сальниковых компенсаторов, можно сделать вывод, что, в общем случае, они полезны при раздельной подземной и низкой наземной прокладке трубопроводов больших диаметров и больших радиусах действия (5...6 км и более) системы сетей. При совмещенной прокладке инженерных сетей по наземным проходным и непроходным эстакадам и в подземных проходных каналах сальниковые компенсаторы, как правило, являются непригодными из-за близкого расположения друг к другу сетей и прочих рассмотренных выше факторов.

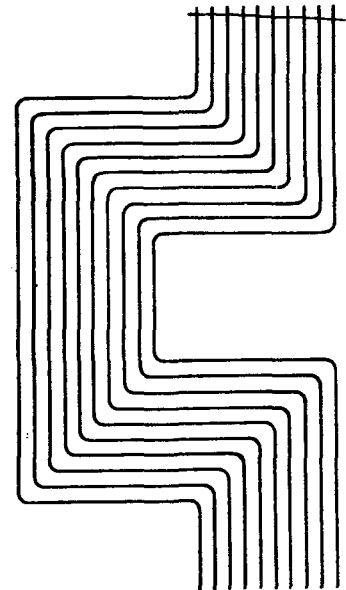


*Сильфонные (волнистые) компенсаторы* устанавливают на трубопроводах, транспортирующих жидкие и газообразные вещества. Сильфоны изготовляют из тонкой листовой стали толщиной 1,5...2,5 мм только для диаметров труб  $D_y \leq 700$  мм.

Сильфонные компенсаторы больших диаметров пока еще не прошли испытание временем на долговечность. Однако и выпускаемые компенсаторы имеют срок службы гораздо короче срока службы, например, П-образных компенсаторов, изготовленных из относительно толстостенных отрезков и деталей труб. Отмеченные факторы не позволяют рекомендовать сильфонные компенсаторы к широкому применению при совмещенной прокладке инженерных сетей, при которой выполнение ремонтных работ и устранение последствий неисправностей или аварий значительно сложнее, чем при раздельной прокладке сетей. Совмещенная прокладка сетей предъявляет также повышенные требования к обеспечению максимально возможного срока действия их компенсаторов.

*П-образные компенсаторы* являются самыми простыми в изготовлении, удобными в строительстве и наиболее надежными и долговечными в эксплуатации. Их изготовляют в специализированных мастерских или непосредственно на стройке, сваривая отрезки стальных труб и отводов заводского изготовления. Эти компенсаторы при подземной прокладке сетей не требуют сооружения дорогостоящих камер для их размещения и обслуживания, обязательных при установке сальниковых и сильфонных компенсаторов. Для них сооружают соответствующие мелкозаглубленные компенсаторные ниши, менее дорогие и более простые в строительстве, чем глубокорасположенные подземные камеры. Отсутствие подземных камер, в свою очередь, дает возможность прокладывать инженерные сети ближе к поверхности земли, то есть более экономно. На П-образные компенсаторы не оказывают влияние неодинаковая осадка отдельных участков сети, а также нарушение соосности трубопроводов в плане и в профиле. Но одним из важнейших достоинств П-образных компенсаторов является возможность прокладки внутри его контура П-образных компенсаторов соседних трубопроводов, расположенных в том же ряду (рис. 3.4). Подобными возможностями расположения не обладают компенсаторы других типов. В эксплуатации, при наполнении, опорожнении, производстве гидравлического испытания, промывке и работе сетей П-образные компенсаторы при горизонтальной их прокладке не требуют никаких дополнительных действий со стороны обслуживающего персонала. Утечки у этих компенсаторов отсутствуют. Они создают минимальные усилия на неподвижные опоры. Недостатком П-образных компенсаторов являются увеличенные потери давления транспортируемого вещества

Рис. 3.4. Раскладка П-образных компенсаторов многих труб в одноуровневый блок



по сравнению с сальниковыми и сильфонными компенсаторами, если последние оборудованы внутренними стаканами. К недостаткам относится также увеличение полосы застройки сетей, образуемое боковым вылетом компенсаторов при их горизонтальном расположении. При вертикальном расположении П-образных компенсаторов полоса территории, занимаемая сетями, не увеличивается.

Описание положительных и отрицательных сторон компенсаторов различных типов показывает, что для совмещенной прокладки инженерных сетей наиболее подходящими в общем случае являются П-образные компенсаторы, поскольку они не вызывают никаких вредных воздействий на другие рядом проложенные сети и обладают повышенной надежностью и долговечностью.

Расчеты габаритов П-образных компенсаторов — вылетов  $H$  и плечей  $B$  при известных термических перемещениях труб  $\Delta L$  расчетного участка определяют по номограммам, приведенным в специальной технической литературе или на ЭВМ по заданным программам.

### 3.2. УЗЛЫ РАЗВЕТВЛЕНИЯ СЕТЕЙ

К разработке рабочих чертежей узлов разветвления сетей приступают после составления:

плана трасс эстакад или подземных проходных каналов совмещенно прокладываемых инженерных сетей;

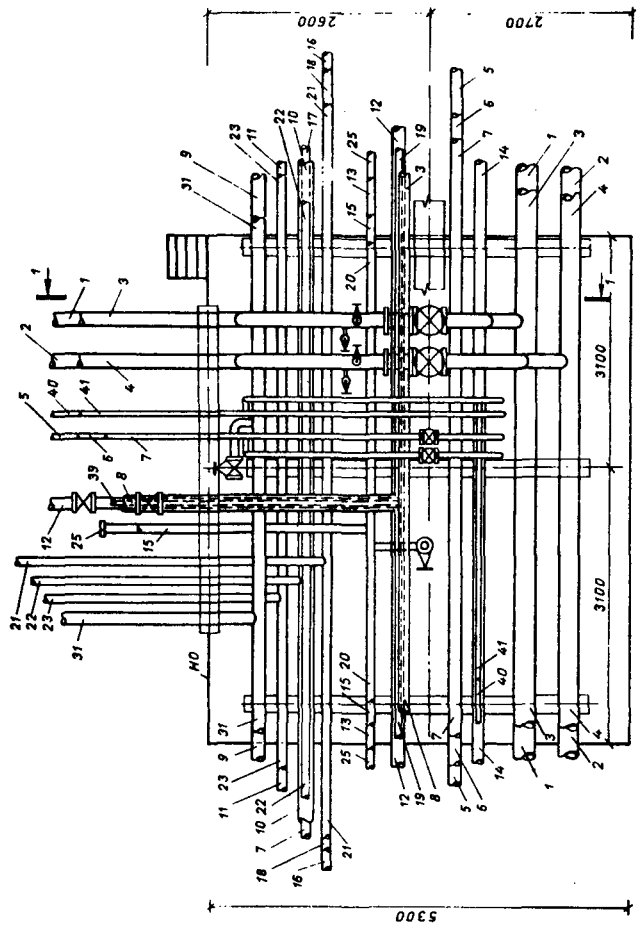
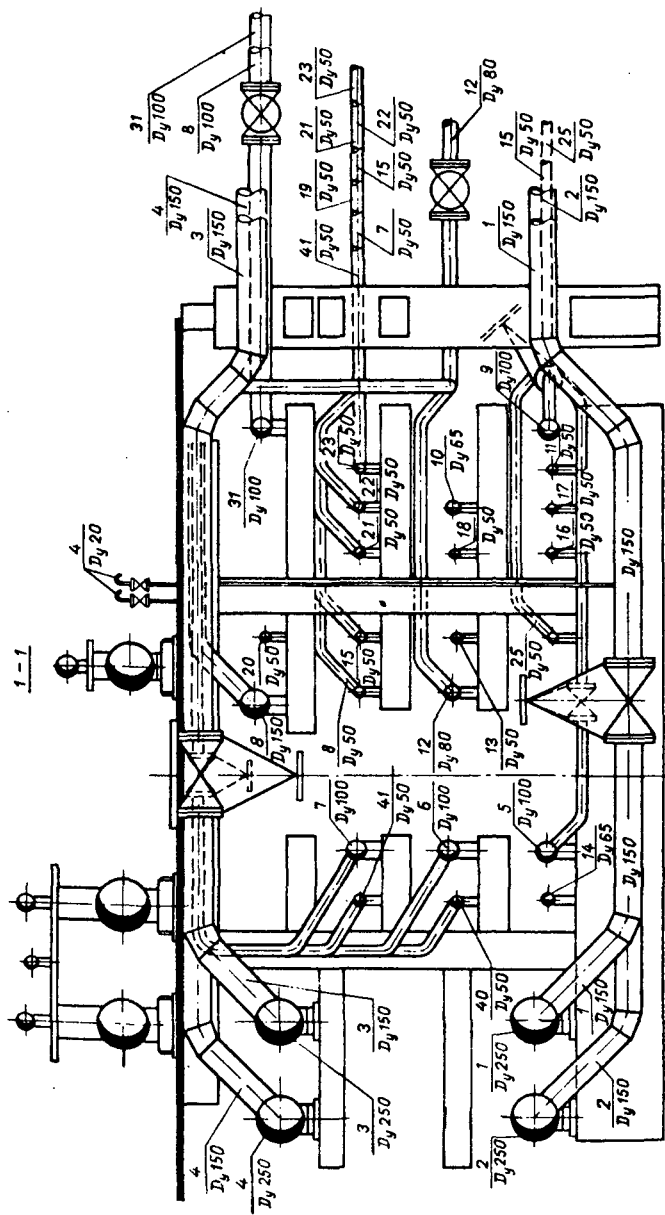


Рис. 3.5. Узел разветлений трубопроводных сетей, прокладываемых по двухъярусной эстакаде (34 трубопровода)  
 1...31 — номера тепломагистралей (см. табл. 2.3)



продольных профилей инженерных сетей и эстакад или проходных каналов;

расчетных и монтажных схем всех трубопроводных сетей с указанием диаметров, расстановкой ответвлений, спускников, воздушников, запорной арматуры и компенсаторов в сетях;

поперечных разрезов сетей, расположенных до и после каждого решаемого узла разветвления.

При наземных проходных эстакадах проекты узлов разветвления должны обеспечить выполнение следующих требований: свободный доступ с прохода к любой трубопроводной арматуре, к каждому болту фланцевого соединения;

сквозной проход эксплуатационного персонала по проходной дорожке в узле разветвления хотя бы по главному направлению эстакад. На ответвлениях основной эстакады допускаются тупиковые проходные дорожки;

отсутствие или минимально возможное число "мешков" на ответвлениях трубопроводов;

отсутствие каких-либо компенсаторов в узлах разветвления в связи с их насыщенностью трубопроводами и обязательной запорной арматурой. В узлах разветвления должны быть размещены неподвижные опоры, а компенсаторы — только в пролетах между узлами.

Для выполнения этих требований в узлах разветвлений предусматривают площадки обслуживания с доступом к ним с поверхности земли по лестницам и, по возможности, с проходных дорожек эстакады по переходным дорожкам. При двухъярусных эстакадах в проектах следует предусмотреть лестницы, соединяющие проходные дорожки первого и второго ярусов.

От соблюдения упомянутых требований при разработке рабочих чертежей узлов разветвлений (самых сложных элементов сетей) в значительной степени зависят простота и удобство строительства, ремонта и обслуживания совмещенно проложенных инженерных сетей. Особенно наглядно это проявляется в аварийных ситуациях, когда необходима предельная быстрота действий при отключении, ремонте и пуске в эксплуатацию восстановленных сетей.

Для нахождения правильных решений следует разработать несколько эскизных вариантов. В качестве примера на рис. 3.5 приведены план и разрез узла разветвлений № 1, расположенного на двухъярусной проходной эстакаде под тепломагистралью на производственной площадке ПО "Олайнфарм". Число совмещенно прокладываемых трубопроводных сетей в узле разветвления — 34 шт. Проектом предусматривались свободные места (ячейки) для прокладки в перспективе не менее 10 трубопроводных сетей. Число задвижек и вентилях, установленных на ответвлениях — 16 шт.,

спускников и воздушников — 14 шт. Подобный узел разветвления следует считать относительно сложным.

В сложных случаях рекомендуется использовать способ макетирования, как это было сделано при проектировании ряда узлов разветвлений материалопроводов, совмещенно прокладываемых на производственной площадке ПО "Олайнфарм".

Макетирование узлов разветвлений инженерных сетей осуществляется по договору с заказчиком при наличии готовых рабочих чертежей узлов. Разработка макетов узлов разветвлений является довольно сложной и специфической работой, выполняемой в специальной мастерской специалистами-макетчиками и требующей заметных трудовых затрат.

Целесообразность макетирования впервые была отмечена при разработке проектов производственных зданий, в которых технологические процессы требуют много различного оборудования, рабочих стендов и участков, связанных трубопроводными сетями и кабелями. Безмакетное проектирование показало, что при строительстве таких производственных зданий весьма часто появлялись неувязки в расположении оборудования и рабочих стендов, но главным образом, — в разводке инженерных сетей. В результате этого потребовались изменения проектов и частичная переделка уже выполненных строительно-монтажных работ, что влекло за собой дополнительные, иногда значительные, расходы материальных и трудовых ресурсов. Сроки строительства объекта удлинились, последовательность выполнения строительно-монтажных работ нарушалась. Макеты же позволяют быстро и наглядно выявить неувязки в проекте еще до начала строительно-монтажных работ, показывают необходимость изменений проектов и пути их осуществления. В свою очередь, изменения проектов влекут за собой изменения макетов. Такое цикличное взаимодействие проектов и макетов продолжается до получения оптимальных результатов, что практически недостижимо при поиске и выполнении относительно скороспелых решений по исправлению проектных разработок на стройке. При сравнении капитальных, материальных и трудовых затрат безмакетного и макетного проектирования и строительства объекта во всех случаях подтверждается явно выраженная экономическая эффективность макетного способа проектирования. Роль макетов не кончается получением оптимальных проектных решений. Они могут служить наглядными пособиями при технической учебе строительного, эксплуатационного персонала и сотрудников проектно-конструкторских бюро предприятия.

Узлы разветвления инженерных сетей, расположенных на одноярусных проходных и непроходных эстакадах или в проходных каналах и тоннелях, различаются по своей конструкции, но принципы их построения тождественны рассмотренному выше примеру.

## Глава 4. ОПИРАНИЕ СЕТЕЙ

### 4.1. ОПОРЫ ТРУБОПРОВОДОВ

Инженерные сети при их прокладке в подземных проходных каналах, по наземным проходным или непроходным эстакадам, техническим коридорам и подвалам зданий необходимо опирать через определенные расстояния в зависимости от материала и диаметра сети.

Кабели разных типов, марок и назначений опираются на полки, лотки или подвески без применения каких-либо неподвижных опор. При необходимости более надежной защиты кабели прокладывают в трубах или в кабельных коробках.

Все опоры под трубопроводы по своему действию и назначению делятся на подвижные и неподвижные.

В настоящее время на практике применяют подвижные опоры следующих типов: скользящие (обычные прямые), катковые (одно- и двухкатковые), шариковые, подвесные (жесткие и пружинные), пружинные и наклонные скользящие (рис. 4.1).

Неподвижные опоры (рис. 4.2) в свою очередь делятся на: разъемные, оборудованные фиксирующими хомутами, которые затягиваются гайками;

неразъемные с непосредственной приваркой труб к несущим конструкциям опор;

неразъемные с приварными к трубам упорами;

неразъемные лобовые и щитовые.

Выбор опор начинают с подвижных, поскольку тип и конструкция неподвижных опор в значительной степени зависят от горизонтальных нагрузок, создаваемых подвижными опорами. Подвижные опоры в принципе устанавливают на сетях, изготовленных из жестких материалов, имеющих термические перемещения. Для гибких сетей они не нужны.

Принимаемый тип подвижных опор в свою очередь зависит от следующих факторов: трассирования сетей в плане и профиле; типа компенсаторов и термических перемещений сети; вида и несущей способности строительных конструкций, на которые опираются или к которым подвешиваются инженерные сети; числа сетей и насыщенности ими поперечного разреза сетей. Каждый тип подвижных опор имеет свои положительные и отрицательные свойства, которые могут усиливаться, уменьшаться или даже исчезать в зависимости от расположения сетей раздельно или совмещенно.

*Скользящие опоры (см. рис. 4.1 а), изготавливаемые по серии 4.903-10 (Выпуск 5), позволяют трубопроводу свободно перемещаться в горизонтальной плоскости во всех направлениях как вдоль, так и поперек оси трассы сети. Они требуют наименьшего расхода металла, являются самыми дешевыми и*

*простыми в изготовлении, строительстве и эксплуатации.*

Серией 4.903-10 скользящие опоры разработаны в трех исполнениях в зависимости от термических перемещений трубопровода:

длиной 170 мм — при термических перемещениях до 90 мм трубопроводов  $D_H = 32...630$  мм;

длиной 340 мм — при термических перемещениях до 260 мм трубопроводов  $D_H = 32...1420$  мм;

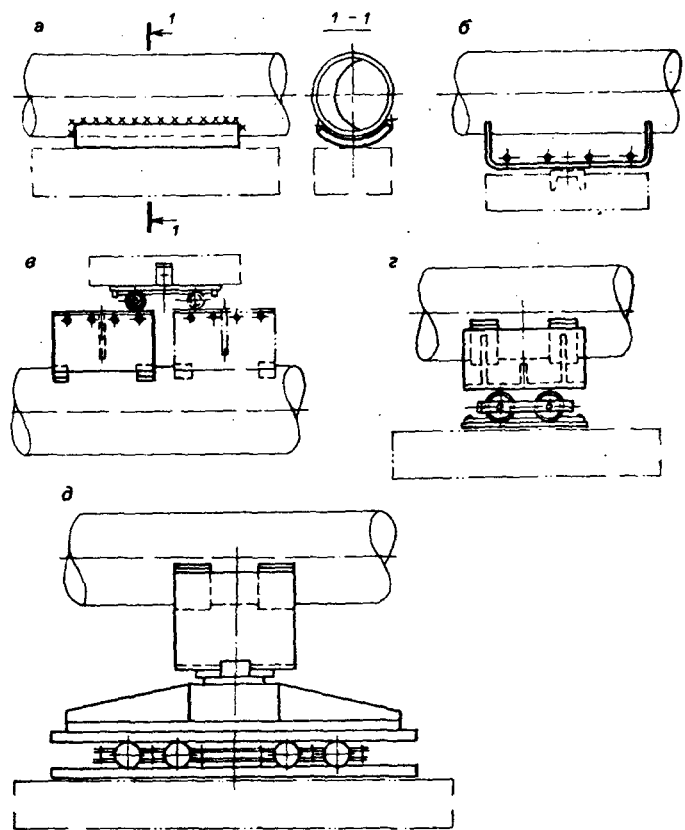
длиной 680 мм — при термических перемещениях до 600 мм трубопроводов  $D_H = 194...1420$  мм.

Скользящие опоры надежны в эксплуатации. Они требуют минимальных трудозатрат на обслуживание (смазку, проверку, ремонт и др.). Долговечность их — многие десятки лет; в обычных условиях она превышает долговечность самих трубопроводов.

К недостаткам скользящих опор относится создание сравнительно больших горизонтальных нагрузок при трении скользящей опоры трубопровода по траверсе, консоли или опорной подушке. Значения осевых и боковых горизонтальных нагрузок, создаваемых скользящими опорами, определяют по формуле:  $P_{гор} = \mu P_V 9,81 \cdot 10^{-3} = 0,3 P_V 9,81 \cdot 10^{-3}$ , где  $\mu = 0,3$  — коэффициент трения, а  $P_V 9,81 \cdot 10^{-3}$  — вертикальная нагрузка, действующая на опору. Особенность скользящих опор — наличие траверс, консолей, опорных подушек или балок для их опирания.

Обычные прямые скользящие опоры нельзя устанавливать в обоих концах вертикального подъема (пуска) сети в случаях, когда высота вертикального участка сети выше критического (3...5 м). При недостаточно гибких трубах над одной из опор это ведет к образованию зазора между опорами трубопровода и строительной конструкции эстакады или канала. При этом опирание трубы исчезает и в трубопроводе возникают недопустимые усилия. Для предупреждения образования зазоров под опорами на вертикальных участках сети необходимо применять другие, специально для этого приспособленные опоры.

*Катковые опоры (см. рис. 4.1 б, в) также изготавливают по серии 4.903-10 (Выпуск 5). Они позволяют трубопроводу свободно перемещаться вдоль оси трассы. При этом такое перемещение происходит надежно и с трехкратно пониженным коэффициентом трения  $\mu_0 = 0,1$  по сравнению со скользящими опорами. Такие качества катковых опор заставляют отдать им предпочтение при выборе типа подвижных опор для трубопроводов большого диаметра, проложенных наземно на прямых участках сети. В таких условиях трубопровод находится при установке сальниковых компенсаторов. Считается, что кат-*



ковые опоры допускают и боковые перемещения трубопровода, но уже с повышенным коэффициентом трения —  $\mu_6 = 0,3$ . Боковые перемещения появляются в поворотных участках трассы, а также в П-образных компенсаторах при прямой трассе трубопровода. Однако на практике весьма часто наблюдаются случаи эксцентриситета оси и выпадения катков из гнезд опорных конструкций на участках трубопроводов, имеющих боковые перемещения. Такие неисправности катковых опор не сразу бывают замечены и исправлены обслуживающим персоналом. Работоспособность сетей ставится под угрозу, коэффициент трения резко увеличивается.

Препятствием к широкому использованию катковых опор является необходимость систематической очистки поверхности опорных плит и катков, их смазки, а также проверки их исправ-

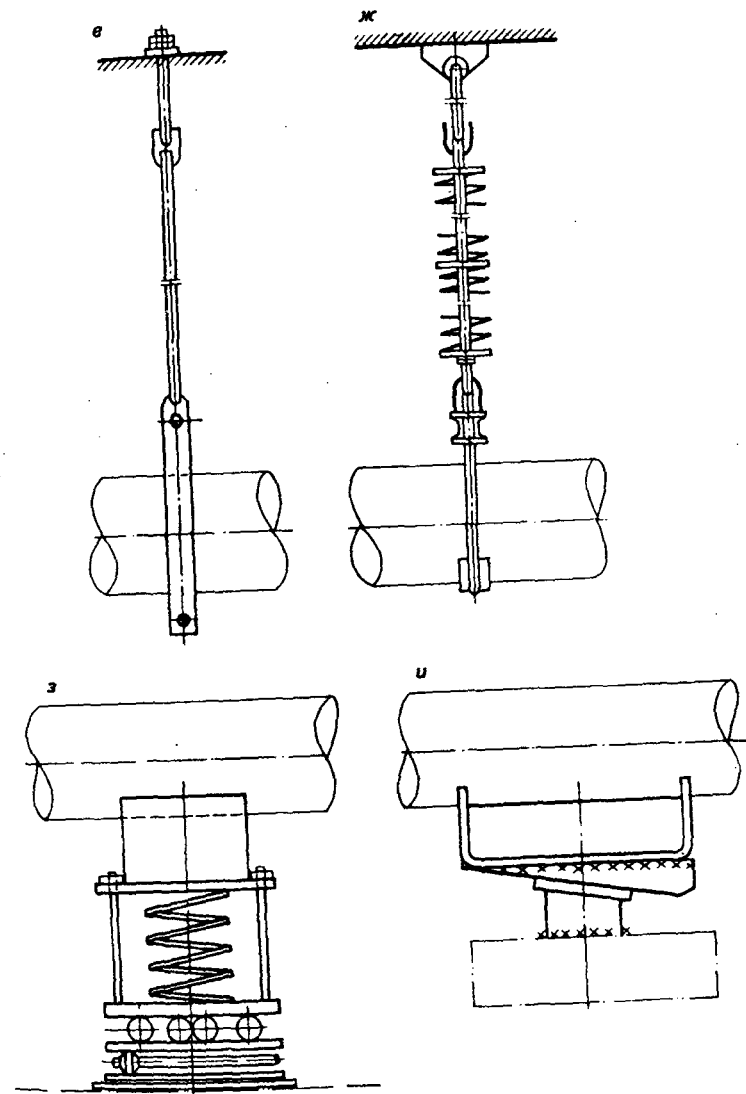


Рис. 4.1. Подвижные опоры трубопроводных сетей  
 а — скользящая (обычная, прямая); б — катковая с одним катком;  
 в — катковая с двумя катками; г — шариковая двухосная; д — шариковая четырехосная; е — подвесная жесткая; ж — подвесная пружинная; з — пружинная; и — скользящая наклонная

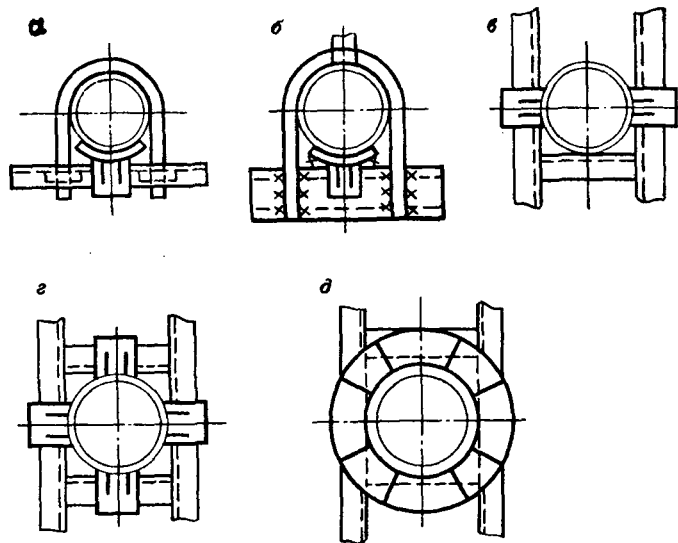


Рис. 4.2. Неподвижные опоры трубопроводных сетей

а — разъемная, оборудованная хомутами на болтах; б — неразъемная с приваркой труб к несущим конструкциям; в — неразъемная с двумя приваренными к трубе упорами; г — неразъемная с четырьмя упорами; д — неразъемная лобовая (щитовая)

ности. Это не позволяет применять катковые опоры при подземной прокладке сетей в непроходных каналах или в стесненных условиях. По сравнению со скользящими опорами катковые опоры требуют увеличенного расхода металла. Так, например, масса одной двухкатковой опоры для трубопровода тепловых сетей  $D_y = 800$  мм составляет 116,6 кг, однокатковой опоры — 82 кг, а скользящей опоры — только 26,6 кг. Производство катковых опор также более трудоемко, так как конструкция их сложнее и требует выполнения токарных работ для изготовления катков.

Поверхности опорных плит катковых опор легко загрязняются, засоряются листвой, хвоей и т. п., а в холодные периоды года покрываются льдом. Все это мешает нормальной работе опор, влечет за собой рост коэффициента трения и усилий на строительные конструкции подвижных и неподвижных опор, не предусмотренный проектом. В таких случаях катковые опоры теряют свои достоинства и даже приводят трубопроводные сети и несущие их строительные конструкции в критическое состояние.

Особенностью катковых опор является малая площадь опирания катков на опорные плиты по сравнению со скользящими опорами. Это вызывает увеличение усилий на единицу площади опирания и более быстрое изнашивание металла катков и опорных плит, особенно при наличии боковых перемещений трубопроводов.

Сравнение достоинств и недостатков катковых и скользящих опор показывает, что при первых достигается некоторое облегчение и удешевление несущих строительных конструкций трубопроводов, но скользящие опоры значительно удобнее в эксплуатации и лучше обеспечивают надежность и долговечность сетей. В связи с этим установка катковых опор при совмещенной прокладке инженерных сетей ограничена.

Шариковые опоры (см. рис. 4.1, з) изготавливают по серии 4.903-10 (Выпуск 5). Они позволяют трубопроводу перемещаться в горизонтальной плоскости как в осевом, так и в боковом направлениях при минимальных коэффициентах трения  $\mu_0 = \mu_6 = 0,1$ . Масса шариковых опор больше, чем катковых и скользящих опор. Для трубопровода водяных тепловых сетей  $D_y = 800$  мм она составляет 184...344 кг/шт., в зависимости от вертикальной нагрузки опираемого трубопровода ( $P_{\text{верт}} = 101...209$  кН на опору) и от термического перемещения сети ( $\Delta L = 200...400$  мм).

Шариковые опоры весьма сложны в изготовлении и могут быть выполнены только в специальных мастерских или на заводах. При монтаже эти опоры требуют по сравнению со скользящими и катковыми опорами повышенной точности выполнения работ, а при эксплуатации — более частого обследования и повышенного внимания. Эти опоры очень чувствительны к попаданию пыли, влаги и других загрязнений на поверхность шариков и опорных плит. Долговечность шариковых опор и надежность их действия прямо зависят от качества эксплуатации, предупреждения засорения и истирания шариков, их обойм и опорных плит. Поэтому шариковые опоры сравнительно редко применяют для трубопроводных сетей, прокладываемых совмещенно по наземным эстакадам и подземным проходным каналам, где сети расположены близко друг от друга и доступ к каждой отдельной опоре затруднен.

Подвесные опоры используют в случаях, когда трубопроводные сети необходимо подвешивать к перекрытиям зданий, балкам, фермам, мостам, наземным эстакадам, потолкам технических коридоров, подвалов, проходных каналов и туннелей. Их изготавливают на специализированных заводах и в мастерских по серии 4.903-10 (Выпуск 6), двух видов: подвесные жесткие опоры (см. рис. 4.1, д) для трубопроводов диаметром  $D_y = 25...600$  мм и подвесные пружинные (см.

рис. 4.1, е) для трубопроводов  $D_y = 150...1400$  мм. Подвесные жесткие опоры предназначены только для горизонтально расположенных трубопроводов, подвесные пружинные — как для горизонтальных, так и для вертикальных трубопроводов. Коэффициент трения, определяющий горизонтальные нагрузки, минимален и составляет  $\mu_0 = \mu_6 = 0,1$ . Масса одной подвесной пружинной опоры для трубопровода  $D_y = 800$  мм в зависимости от значения вертикального или горизонтального перемещения трубы составляет 309...436 кг, а подвесной жесткой опоры для трубопровода  $D_y = 400$  мм в зависимости от горизонтального перемещения трубы — 84,5...101,1 кг.

Подвесные опоры жестких трубопроводов, имеющих термические перемещения, должны быть достаточно длинными для обеспечения возможности раскочки труб в горизонтальном направлении. Высота типовых подвесок в зависимости от диаметра опираемого трубопровода составляет  $H = 1,11...3,18$  м. В связи с этим подвесные опоры занимают большое, плохо используемое пространство и по этой причине имеют ограниченное применение. Для кабелей и трубопроводов, которые не имеют термических перемещений, подвески могут быть короткими. В строительстве сооружение трубопроводов с применением подвесных опор неудобно, так как необходимое качество прокладки сетей по высоте в продольном профиле выдержать трудно. Это объясняется трудностями монтажа трубопроводов, их подвешивания на необходимой высоте к тягам опор на болтах и корректировки по высоте путем подтягивания или отпуска резьбовых соединений тяги каждой отдельной опоры. Такая операция занимает больше времени по сравнению с прокладкой трубопроводов механизмами по ранее сооруженным и проверенным консолям, траверсам или балкам на скользящих, катковых или шариковых опорах.

При совмещенной прокладке многих инженерных сетей, где сети проложены в несколько рядов и близко друг к другу, подвесные опоры применяются сравнительно редко.

*Пружинные опоры* (см. рис. 4.1, ж) предназначены для восприятия вертикальных и горизонтальных термических перемещений и усилий, возникающих в жестких трубопроводах при наличии вертикальных подъемов или опусков сети. Пружинная опора при разжатии пружины вследствие удлинения вертикального участка трубопровода не должна существенно снижать принимаемую на себя нагрузку, передаваемую опираемым трубопроводом. Недопустимо, конечно, образование зазора между трубопроводом и опорой, что свидетельствовало бы о полной потере несущей способности последней.

При наличии вертикальных подъемов или опусков, например в тепловых сетях, существующая техническая литература ре-

комендует установку пружинных опор, если высота вертикального участка трубопровода достигает  $H \geq 4$  м, а его диаметр  $D_y \geq 100...200$  мм. Такие условия не совсем точно отражают положение дел. По существу, задачей пружинных опор является создание наиболее благоприятных условий для опирания определенного участка трубопровода при наличии его вертикального перемещения. Но вертикальное термическое перемещение трубопровода  $\Delta H$  зависит не столько от высоты  $H$  вертикального участка сети, сколько от степени изменения температуры трубопровода  $\Delta t$ . Получается, что значение  $\Delta H$  для подающего трубопровода водяных тепловых сетей, транспортирующего теплоноситель с максимальной расчетной температурой  $t = 150^\circ\text{C}$ , будет почти вдвое превышать значение  $\Delta H$  обратного трубопровода, максимальная расчетная температура которого составляет только  $t = 70^\circ\text{C}$ . Для паропроводов, температура которых бывает  $t \leq 565^\circ\text{C}$ ,  $\Delta H$  в еще большей степени зависит от значения  $\Delta t$  и в меньшей — от высоты  $H$  вертикального участка трубопровода. Поэтому критерием для определения необходимости установки пружинных опор должно быть значение термического перемещения  $\Delta H$ , а не высота вертикального участка трубопровода  $H$ .

Для трубопроводов небольших диаметров  $D_y \leq 80$  мм с относительно тонкими стенками с учетом их гибкости установка пружинных опор не требуется. В этих случаях достаточно обычные скользящие опоры, установленные до и после вертикального участка сети, при условии, что длина трубопровода между этими опорами не превышает допустимой.

Пружинные опоры сложны в изготовлении. Их производят только специализированные заводы, способные обеспечить необходимое качество. Пружинные опоры относительно металлоемки и дороги. Так, например, для опирания трубопровода водяных тепловых сетей  $D_y = 800...1000$  мм с вертикальной нагрузкой на опору  $P_{\text{верт}} = 101$  кН необходима пружинная опора, состоящая из двух пружинных блоков и катковой опоры общей массой 260 кг. При вертикальной нагрузке  $P_{\text{верт}} = 209$  кН от таких же трубопроводов необходима пружинная опора, состоящая уже из четырех пружинных блоков и катковой опоры общей массой 520 кг.

Монтаж пружинных опор представляет собой довольно сложную операцию, требующую должного внимания. До монтажа опор пружины должны быть затянуты монтажными болтами в пределах, необходимых для нормального действия пружин в расчетном режиме после наполнения трубопровода водой и его нагрева. При определении степени затяжки пружин учитывают температуру окружающего воздуха во время строи-

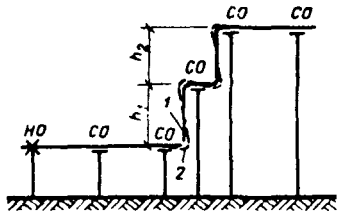


Рис. 4.3. Вертикальный подъем трубопровода ступенями, высота которых не требует установки пружинных опор  
1 — расположение трубопровода до нагрева; 2 — то же, после нагрева; HO — неподвижная опора; CO — скользящая опора

тельства. Монтажные болты после окончания монтажа и перед пуском трубопровода в эксплуатацию ослабляют. При использовании пружинных опор необходимо определенное пространство для свободного доступа к ним во время строительства, эксплуатации и ремонта. Эксплуатация пружинных опор требует серьезного внимания и трудозатрат, учитывая необходимость поддержания чистоты и применения смазочных средств на поверхностях стаканов, пружин, катков или шариков и опорных плит.

Описанные трудности ведут к тому, что на практике особенно при совмещенной прокладке большого числа трубопроводов, пружинные опоры используют редко — только при отсутствии других возможностей.

Вышеприведенные обстоятельства определяют необходимость поиска вариантов способов прокладки сетей и типов конструкций, позволяющих отказаться от установки традиционных пружинных опор. К таким способам относятся:

выполнение вертикального подъема или опускания трубопровода  $H > 4$  м несколькими отдельными ступенями, высота которых  $h \leq 3...4$  м уже не требует установки пружинных опор (рис. 4.3);

применение наклонных опор конструкции инж. Г.Э. Карклина (рис. 4.4 и 4.5).

Наклонные опоры относятся к типу подвижных скользящих опор. Действие наклонной опоры основано на принципе скольжения ее по наклонной поверхности основания при горизонтальных термических перемещениях трубопровода вследствие нагрева стенок труб. При горизонтальном перемещении трубопровода по наклонной опоре он одновременно оседает (см. рис. 4.5), компенсируя термическое перемещение при вертикальном подъеме сети. Остывая, трубопровод укорачивается, вследствие чего, перемещаясь по наклонной опоре, он поднимается. Этим подъемом компенсируется эффект укорачивания вертикального участка трубопровода.

Для выбора необходимых наклонных опор в проектах следует определить угол наклона опорной поверхности  $\alpha$  для каждой отдельной опоры. Угол наклона зависит от отношения длин вертикального отрезка и горизонтального отрезка трубо-

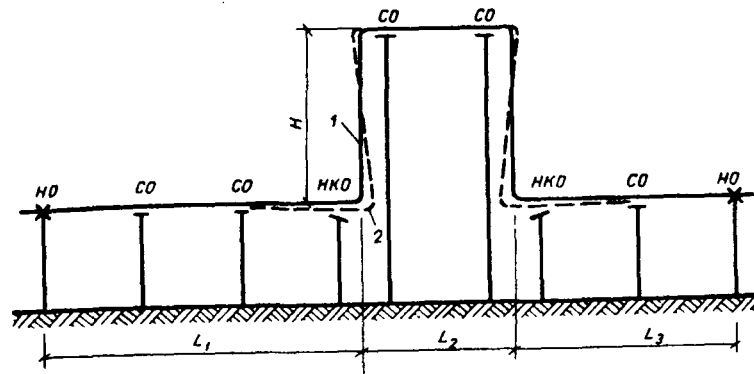


Рис. 4.4. Вертикальный подъем и спуск трубопровода с установкой наклонных опор  
1 — расположение трубопровода до нагрева; 2 — расположение трубопровода после нагрева; HO — неподвижная опора; CO — скользящая опора; НКО — наклонная опора

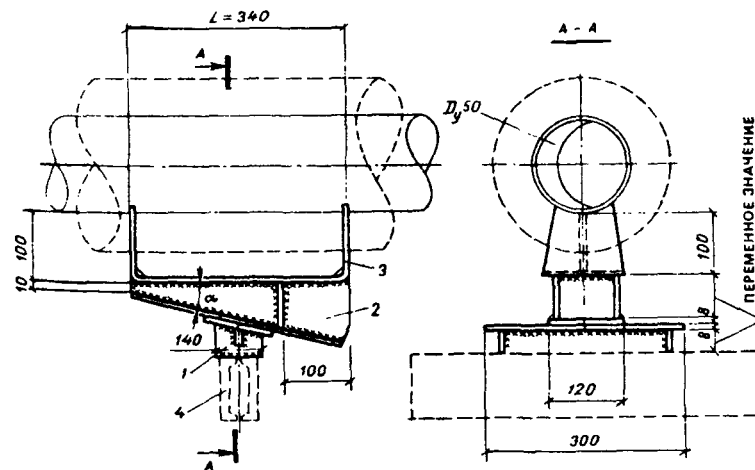


Рис. 4.5. Наклонная опора трубопроводных сетей конструкции инж. Г.Э. Карклина  
1 — основание; 2 — подставка; 3 — корпус типовой скользящей опоры; 4 — траверса (железобетонная или металлическая)



провода, расположенного от неподвижной опоры до вертикального подъема или опускания сети. Он выражается в виде арктангенса этого отношения по формуле:  $\alpha = \arctg (H/L_n)$ . Размеры:

$$H = 5 \text{ м}, L_1 = 50 \text{ м}, \alpha_1 = \arctg (5/50) = 5,7^\circ;$$

$$H = 5 \text{ м}, L_2 = 30 \text{ м}, \alpha_2 = \arctg (5/30) = 9,5^\circ.$$

Установка наклонных опор в тепловых сетях Риги и других городов страны начата в 1982 г. по проектам, разработанным Рижским отделением института "Теплоэлектропроект" и проектным институтом "Латгипропром". В настоящее время испытательный срок наклонных опор уже успешно прошел и они себя полностью оправдали. Об устойчивой и надежной работе их получены положительные отзывы от организаций, эксплуатирующих тепловые сети.

Наклонные опоры обладают многими достоинствами. Они по сравнению с пружинными опорами предельно просты в изготовлении. Их можно производить в специализированных мастерских строительного-монтажных организаций. При необходимости они могут быть изготовлены монтажниками непосредственно на стройке. Расход металла небольшой и они весьма дешевы. Так, например, масса металла одной наклонной опоры длиной 340 мм, предназначенной для трубопровода водяных тепловых сетей  $D_y = 400$  мм с расчетной вертикальной нагрузкой  $P_{\text{верт}} \leq 68,7$  кН, составляет 22,5...32,2 кг, в зависимости от угла наклона опорной поверхности. В строительстве наклонные опоры также предельно просты, удобны и заметны снижают трудозатраты. Это достигается тем, что установка их не требует никаких подготовительных работ, необходимых при установке пружинных опор, очень чувствительных к неточному выполнению, резко снижающему их работоспособность. К достоинствам наклонных опор следует отнести их способность принимать на себя постоянную вертикальную нагрузку от опираемого трубопровода независимо от степени нагрева, остывания и термического перемещения трубопровода по опоре. Для сравнения следует отметить, что вертикальная нагрузка, принимаемая пружинной опорой, изменяется в зависимости от степени сжатия пружин. В эксплуатации наклонные опоры также предельно удобны и просты, поскольку поверхности скольжения опор мало страдают от загрязнения, засорения и обледенения. Гладкие поверхности скольжения опоры и опорной плиты при передвижении опоры как бы протирают и очищают сами себя. Получается эффект самоочистки. Катковые и шариковые опоры такими самоочищающимися свойствами не обладают, поэтому они быстрее засоряются и при отсутствии систематического ухода коэффициент трения этих опор растет. Проектирование наклонных опор проще, чем пружинных, и требует меньше трудозатрат.

Следует еще упомянуть о необходимости определения оптимального пролета между наклонной опорой и началом вертикального подъема, а также пролета между наклонной опорой и последующей скользящей опорой, размещенной за вертикальным подъемом трубопровода. Для достижения необходимого прогиба труб, компенсирующего термическое перемещение вертикального участка сети, эти пролеты должны соответствовать определенным значениям (см. далее табл. 4.1) без учета какого-либо понижающего коэффициента. При определенном уменьшении этих пролетов необходимый прогиб труб может не получиться, что ведет к образованию зазора под наклонной опорой.

При всех достоинствах наклонные опоры применимы лишь в случаях, когда ближайшая неподвижная опора отодвинута от вертикального участка сети на определенное расстояние и угол наклона опоры не превышает 20...25°. В ситуациях, когда это сделать не удастся, необходимо применять другие, ранее рассмотренные способы восприятия вертикальных термических перемещений трубопроводов.

Для содействия применению в проектировании и строительстве наклонных опор проектным институтом "Латгипропром" разработана Латвийская республиканская серия ЛРС-05-87 "Опоры наклонные для тепловых сетей". В ней разработаны чертежи КМ на стадии рабочих чертежей для трубопроводов  $D_y = 100...1200$  мм и углов наклона опор  $\alpha = 3...30^\circ$ .

При совмещенной прокладке инженерных сетей наклонные опоры очень эффективны из-за их небольших габаритов, простоты в эксплуатации, долговечности и надежности в работе.

#### 4.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ ОПОРАМИ

**Расстановка подвижных опор.** Опирание инженерных сетей осуществляют для предотвращения чрезмерных напряжений материала трубопроводов и кабелей, а также для предохранения сетей от недопустимых прогибов. Допустимый шаг опирания сети зависит от массы трубопровода или кабеля, транспортируемого вещества, наличия и вида теплоизоляционного, кровного и защитного слоев и момента сопротивления поперечного сечения сети. При открытой наземной прокладке в зависимости от климатических условий необходимо учитывать и нагрузки от снега и обледенения.

Анализ показывает, что увеличение диаметра трубопровода, жесткости труб и уменьшение массы сети приводит к увеличению допустимого шага ее опирания.

Максимальный пролет между подвижными опорами на пря-

мых участках трубопроводов из условий прочности труб определяют по формуле\*:

$$l_{\max} = \sqrt{12\sigma_3^D W^D \varphi 9,81/0,8q_3 9,81}, \text{ м,}$$

где  $\sigma_3^D$  — допустимое эквивалентное напряжение материала труб от вертикальной и ветровой нагрузок, Н/мм<sup>2</sup>;  $W^D$  — момент сопротивления поперечного сечения трубы при расчетной толщине стенки трубы  $s$ , см<sup>3</sup>;  $\varphi$  — коэффициент прочности поперечного сварного шва;  $q_3$  — эквивалентная вертикальная нагрузка, Н/м; 0,8 — коэффициент пластичности; 9,81 — переводной коэффициент (значения  $\sigma_3^D \varphi$  и  $q_3$  определяются по формулам и номограммам, приведенным в указанном в сноске справочнике).

Для выбора пролетов между подвижными опорами на прямых участках стальных трубопроводов водяных тепловых сетей и паропроводов для усредненных условий расчета трубопроводов рекомендуется использовать данные табл. 4.1.

#### 4.1. Рекомендуемые пролеты между подвижными опорами на прямых участках стальных трубопроводов тепловых сетей, прокладываемых по наземным эстакадам и подземным туннелям, м

Условный диаметр трубопровода $D_y$ , мм	Пролеты при П-образных компенсаторах или при самокомпенсации сетей				Пролеты при сальниковых компенсаторах сетей	
	водяных сетей $p < 1,6$ , $t < 150$	паропроводов			водяных сетей $p < 1,6$ , $t < 150$	паропроводов $p < 1,3$ , $t < 300$
		$p < 1,3$ , $t < 300$	$p < 2,1$ , $t < 350$	$p < 3,6$ , $t < 425$		
25	2	2	2	2	—	—
32	2	2	2	2	—	—
40	2,5	2,5	2,5	2,5	—	—
50	3	3	3	2,5	—	—
65	3,5	3,5	3,5	3	—	—
80	4	4	4	3,5	—	—
100	5	5	5	4	5	5
125	6	6	6	6	6	6
150	7	8	7	7	7	8
200	9	11	8	8	9	11
250	11	12	10	10	11	12
300	12	14	12	12	12	14
350	14	16	14	14	14	16
400	14	15	15	15	15	15
450	14	16	—	—	13	15

\*Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей. — М., 1965. — С. 172.

Условный диаметр трубопровода $D_y$ , мм	Пролеты при П-образных компенсаторах или при самокомпенсации сетей				Пролеты при сальниковых компенсаторах сетей	
	водяных сетей $p < 1,6$ , $t < 150$	паропроводов			водяных сетей $p < 1,6$ , $t < 150$	паропроводов $p < 1,3$ , $t < 300$
		$p < 1,3$ , $t < 300$	$p < 2,1$ , $t < 350$	$p < 3,6$ , $t < 425$		
500	14	16	—	—	13	15
600	15	18	—	—	13	15
700	15	19	—	—	13	15
800	16	20	—	—	13	15
900	18	22	—	—	15	18
1000	20	24	—	—	16	20

Примечания: 1.  $p$ , МПа, и  $t$ , °С — параметры теплоносителя.  
2. Над жирной линией указаны пролеты для стальных бесшовных труб, изготавливаемых по ГОСТ 8732—78\*, а также стальных электросварных труб, изготавливаемых по ГОСТ 10704—76\*, поставляемых по ГОСТ 10705—80\*, под жирной линией — для сварных прямошовных труб, изготавливаемых по ГОСТ 10704—76\* и поставляемых по ГОСТ 10706—76\*.

Для прочих участков, рекомендуемые пролеты определяют с введением в расчеты следующих понижающих коэффициентов (рис. 4.6):

$k = 0,67$  — для участков между ближайшими к повороту опорами (до и после поворота);

$k = 0,82$  — для участков между последней и предпоследней опорами конечной точки трубопровода (перед заглушкой, гибким компенсатором или поворотом);

$k = 0,5$  — для последующих двух участков с каждой стороны сальникового компенсатора.

Кроме рекомендуемых существуют еще и максимально допустимые пролеты между подвижными опорами, рассчитанные на допустимое значение прогиба стальных труб (табл. 4.2).

Приведенные таблицы 4.1 и 4.2 показывают, что значения максимально допустимых пролетов заметно превышают значения рекомендуемых пролетов. Разница их в зависимости от диаметра трубопровода составляет 16...75%. Практика показала, что трубопроводные сети, сооруженные с максимально допустимыми пролетами, служат надежно и реализуют заметную экономию строительных материалов и капитальных затрат при сооружении безбалочных эстакад. Но при этом сам трубопровод используется как несущая строительная конструкция с дополнительной нагрузкой на нее. Поэтому к применению максимально допустимых пролетов трубопроводных сетей следует подходить весьма осторожно. При наличии наземных

**4.2. Максимально допустимые пролеты между подвижными опорами на прямых участках стальных трубопроводов, прокладываемых по наземным эстакадам и подземным проходным туннелям (по расчету на прогиб), м**

Размер труб D, x s, мм	Водяные сети		Паропроводы			
	p < 0,8, t < 100	p < 1,6, t < 150	p < 0,8, t < 250	p < 1,3, t < 300	p < 2,1, t < 350	p < 3,6, t < 425
32x2,5	2,5	2,3	2,1	2	2	1,8
38x2,5	3	2,7	2,5	2,3	2,3	2,2
45x2,5	3,4	3,2	2,9	2,7	2,6	2,5
57x3,5	4,4	4,3	3,8	3,8	3,6	3,4
76x3,5	5,3	5,2	4,9	4,8	4,6	4,4
89x3,5	6,1	5,9	5,5	5,4	5	5
108x4	6,8	6,3	6,3	6,2	5,9	5,7
133x4	8	7,9	7,5	7,1	6,9	6,8
159x4,5	9,2	9	8,7	8,3	8	7,8
219x6	11,9	11,7	11,9	11,3	11,1	10,6
273x7	14,4	14,2	14,6	14	13,4	13,3
325x8	16,6	16,2	17,2	16,7	16	15,5
377x9	18,4	18,3	19,4	18,9	18,3	17,8
426x6	18,2	18	20,1	19,5	—	—
478x6	19,4	19,3	21,9	21	—	—
529x6	20,7	20,5	23,4	22,7	—	—
630x7	23,5	23,5	27,4	26,7	—	—
720x7	25,5	25,5	30,3	29,6	—	—
820x8	27,8	27,7	34,2	33	—	—
920x9	30,8	30,2	38,2	36,9	—	—
1020x10	33	32,5	42,1	40,8	—	—

Примечания: 1. p, МПа, и t, °C — параметры теплоносителя.  
2. Над жирной линией указаны пролеты для труб, изготавливаемых по ГОСТ 8732-78\*, ГОСТ 10704-76\* и поставляемых по ГОСТ 10705-80\*, под жирной линией — для труб, изготавливаемых по ГОСТ 10704-76\* и поставляемых по ГОСТ 10706-76\*. 3. Таблица составлена при уклоне трубопровода  $i = 0,002\%$ .

балочных эстакад, пролетных строений или подземных проходных каналов и туннелей применение максимально допустимых пролетов не дает технико-экономического эффекта. Наоборот, оно приводит к нежелательной концентрации усилий, передаваемых на строительные конструкции.

При использовании трубопровода в качестве несущей конструкции для прокладки сетей вида "труба на трубе" пролет между подвижными опорами несущего трубопровода определяется с учетом понижающего коэффициента  $k_n$  (рис. 4.7). При установке трубы на трубе необходимо обеспечить максимально возможное снижение в несущем трубопроводе усилий, создаваемых несомым трубопроводом. Для этого необходимо опоры несомого трубопровода размещать по возмож-

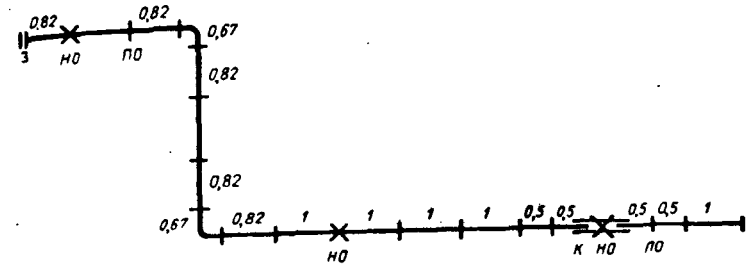


Рис. 4.6. Рекомендуемые коэффициенты для определения пролетов между опорами трубопроводных сетей  
НО — неподвижная опора; ПО — подвижная опора; 3 — заглушка; К — двухсторонний сальниковый компенсатор; 0,5; 0,67; 0,82; 1 — рекомендуемые коэффициенты для определения пролетов между опорами

ности ближе к подвижным опорам несущего трубопровода, избегая их установки в средней части пролетов (рис. 4.8). Таким образом достигают минимально возможных изгиба и усилий в несущем трубопроводе.

Скользящие опоры совмещенно прокладываемых трубопроводных сетей, размещаемых по наземным непроходным и проходным эстакадам с балочной конструкцией, как правило, располагаются на траверсах или консолях верхних строений.

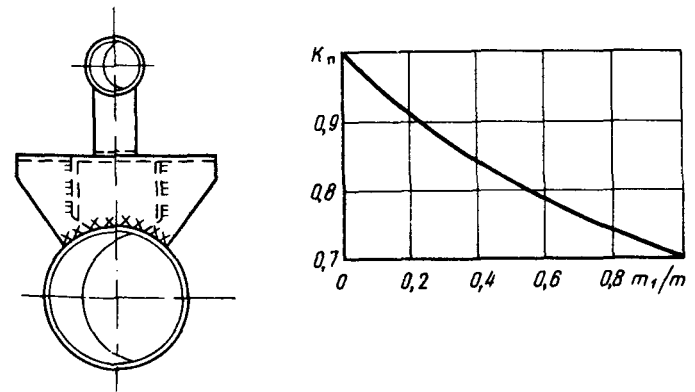


Рис. 4.7. График для определения понижающего коэффициента  $k_n$  пролетов между подвижными опорами несущего трубопровода (при прокладке "труба на трубе")  
 $m_1$  — масса 1 м погонной длины несомого трубопровода, кг;  $m$  — то же, несущего

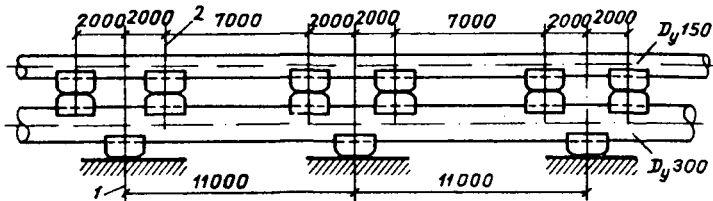


Рис. 4.8. Рекомендуемое расположение скользящих опор несущего и несомого трубопроводов  
1 — ось опирания несущего трубопровода; 2 — то же, несомого

эстакад. На прямых участках трассы траверсы и консоли верхних строений размещаются перпендикулярно продольной оси балок или балочных конструкций. На поворотах трассы в плане и в местах установки П-образных компенсаторов, расположенных горизонтально, принимают другое решение. В этих местах трубопроводы, расположенные дальше от центра поворота, удлиняют, а трубопроводы, приближенные к нему, — укорачивают. Поэтому для обеспечения нормативного шага опирания каждого трубопровода, траверсы и консоли обычно располагают под углом к оси балок эстакад (рис. 4.9). При этом на каждую отдельную траверсу или консоль может быть осуществлено

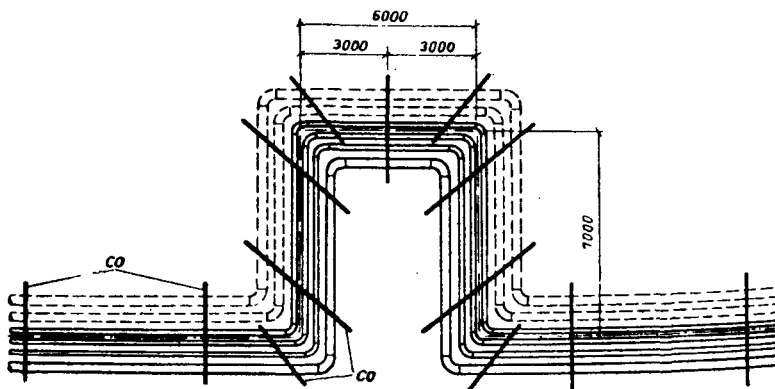
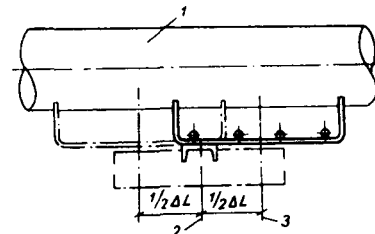


Рис. 4.9. Размещение траверс на прямых участках и поворотах в местах установки П-образных компенсаторов при совмещенной прокладке трубопроводных сетей  
СО — траверсы под скользящие опоры

Рис. 4.10. Смещение осей скользящих опор и опорных плит при монтаже трубопроводных сетей, позволяющее отказаться от их предварительной растяжки  
1 — монтируемый трубопровод; 2 — ось опорной плиты; 3 — ось скользящей опоры, смещенная от оси опорной плиты при монтаже трубопровода;  $1/2 \Delta L$  — половина максимального термического передвижения конкретной опоры



ствлено опирание всех без исключения трубопроводов или только тех, опирание которых требует рекомендуемых или допустимых максимальных пролетов. Этот вопрос в каждом отдельном случае должен решаться в зависимости от особенностей прокладываемых трубопроводов и применяемых строительных конструкций. Для трубопроводных сетей более частое опирание может иметь как положительные, так и отрицательные последствия. С одной стороны, трубопроводы подвергаются пониженным усилиям, а с другой стороны, каждая лишняя подвижная опора приводит к дополнительным потерям теплоты в горячих сетях и холода в холодопроводах.

Монтаж подвижных опор трубопроводов, особенно горячих с высокой температурой транспортируемого вещества, требует особо тщательного выполнения работ. Для полного использования опорных поверхностей следует при монтаже предусматривать смещение оси опоры относительно оси опорной плиты, которое должно соответствовать половине расчетного значения термического перемещения трубопровода в точке размещения рассматриваемой опоры (рис. 4.10). В противном случае опоры могут в работе сместиться таким образом, что потеряют свою несущую способность и деформируются. На практике известны случаи, когда они даже полностью сползли с поверхности опорных плит. Ниже для иллюстрации приведен пример.

Внутриплощадочный паропровод  $D_y = 300$  мм с расчетными параметрами пара  $p = 4$  МПа,  $t = 440^\circ\text{C}$ , оборудуемый П-образными компенсаторами, прокладывают по существующей проходной эстакаде. Средняя температура наиболее холодных пятидневок наружного воздуха, при которой монтируют трубопровод,  $t = -21^\circ\text{C}$ .

Необходимо рассчитать сдвиг оси скользящей опоры, расположенной перед П-образным компенсатором на расстоянии 50 м от неподвижной опоры, относительно оси опорной плиты.

**Решение.** Максимальное термическое перемещение паропровода над решаемой скользящей опорой составляет:  $\Delta L = \alpha \Delta t L = 1,41 \cdot 10^{-2} [440 - (-21)] 50 = 325$  мм.

Расчетный сдвиг оси решаемой скользящей опоры относительно оси опорной плиты в условиях строительства трубопровода при наруж-

ной температуре воздуха  $t = -21^{\circ}\text{C}$  составляет  $C = (1/2)\Delta L = 325/2 = 162,5$  мм.

**Выводы:**

короткая скользящая опора длиной  $L_0 = 170$  мм в настоящем случае вообще непригодна;

средняя скользящая опора длиной  $L_0 = 340$  мм пригодна только в случае предварительного сдвига упомянутых осей и при длине опорной плиты  $L_{0,п} = 200$  мм. Тогда минимальная длина опирания скользящей опоры  $L_0$  составит:  $0 = L/2 - (1/2)\Delta L + (1/2)L_{0,п} = 340/2 - (1/2)325 + (1/2)200 = 107,5$  мм, т. е. больше минимально допустимой длины  $L_0 = 80$  мм;

длинная скользящая опора длиной  $L = 680$  мм также пригодна только при предварительном сдвиге упомянутых осей и при длине опорной плиты  $L_{0,п} = 100$  мм. Минимальная длина опирания скользящей опоры составит:  $0 = 680/2 - (1/2)325 + (1/2)100 = 227,5$  мм  $> 80$  мм;

нормативная длина опирания  $0 = 80$  мм при установке длинной скользящей опоры без сдвига упомянутых осей может быть достигнута только при длине опорной плиты  $L_{0,п} = (0_{\text{мин}} - L/2 + \Delta L)2 = (80 - 680/2 + 325)2 = 150$  мм.

Следует отметить, что для скользящих опор, совмещенно прокладываемых по наземным эстакадам трубопроводов, в качестве опорной плиты служит закладная в сборной железобетонной траверсе стальная полоса шириной  $B = 100$  мм или гладкие поверхности двутавров, швеллеров и угловой стали, используемых для сооружения траверс и консолей верхних строений эстакад, с длиной поверхности опирания  $B \leq 100$  мм; в проходных каналах, туннелях и технических коридорах скользящие опоры опираются на такие же металлические траверсы и консоли. Обычно получается, что скользящая опора всегда длиннее ширины опорной части стальной полосы, двутавра, швеллера или угловой стали, на которые опора трубопровода опирается.

Однако возможно и другое решение. Можно сделать опорную плиту (конструкцию) увеличенных размеров. Такую конструкцию иногда применяют при исправлении последствий неправильного сооружения трубопроводных сетей, в случаях сползания опор с опорных плит. Удлиненная опорная конструкция работает хуже, чем скользящая опора расчетной длины, особенно при наружной прокладке сетей, поскольку увеличенная опорная поверхность подвергается более быстрому загрязнению и засорению. Поэтому описанное решение следует применять только как вынужденное.

Уменьшению длины подвижных опор и предупреждению сползания опор с опорных поверхностей способствует предварительная растяжка трубопроводов. Однако учитывая некоторую сложность ее практического выполнения, предвари-

тельную растяжку следует все же заменять проще и точнее выполняемым предварительным сдвигом осей опор.

**Расстановка неподвижных опор.** Неподвижные опоры устанавливаются только для жестких трубопроводов, имеющих термические перемещения.

Места установки неподвижных опор, как правило, совмещают с местами расположения узлов ответвлений трубопроводов и установки в сетях запорной арматуры, воздушников, спускников, а также сальниковых и сильфонных компенсаторов.

Расстановка неподвижных опор весьма существенно зависит от типа и особенностей применяемых компенсаторов, термических перемещений трубопроводов. Так, например, П-образные компенсаторы допускают наибольшие расстояния между неподвижными опорами; сальниковые компенсаторы из-за образования в трубопроводах увеличенных осевых усилий, вызывающих изгиб труб, требуют уменьшенных расстояний; сильфонные (волнистые) компенсаторы требуют еще более коротких расстояний (табл. 4.3).

**Опирание кабелей.** При совмещенной прокладке инженерных сетей по наземным эстакадам, подземным проходным каналам и техническим коридорам обычно применяют бронированные кабели, не подверженные воздействию окружающей среды, их прокладывают по типовым сборным металлическим полкам, лоткам или подвешивают к типовым подвескам заводского изготовления. В отдельных случаях допускается прокладка небронированных кабелей по эстакадам и проходным каналам. При необходимости кабели могут быть проложены в типовых сборных кабельных коробках или в стальных трубах.

Кабельные полки, лотки и короба обычно крепят к боковым стенкам балок эстакад и стенам проходных каналов, туннелей и трубных коридоров. Иногда кабельные лотки и короба прокладывают по траверсам эстакад. Кабельные подвески крепят к потолкам проходных каналов, туннелей и трубных коридоров. Шаг расстановки кабельных полок и подвесок в зависимости от гибкости кабелей составляет 0,5...1 м.

#### 4.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК НА ОПОРЫ

**Нагрузки на подвижные опоры.** Они подразделяются на вертикальные и горизонтальные.

**Вертикальные нагрузки** зависят от массы участка инженерных сетей, приходящегося на решаемую подвижную опору, и определяются по формуле:

$$P_{\text{верт}} = \sum P_{\text{ПМ}} 1,9,81 \cdot 10^{-3},$$

4.3. Рекомендуемые расстояния между неподвижными опорами стальных трубопроводов тепловых сетей

Условный диаметр трубопровода D, мм	Расстояние между неподвижными опорами с П-образными компенсаторами		Расстояние между неподвижными опорами с П-образными компенсаторами		Расстояние между неподвижными опорами с сальниковыми компенсаторами	
	Водяные сети		Паропроводы		Водяные сети	
	$p \leq 0,8, t \leq 250$	$p \leq 1,3, t \leq 300$	$p \leq 2,1, t \leq 350$	$p \leq 3,6, t \leq 425$	$p \leq 1,6, t \leq 150$	$p \leq 0,8, t \leq 250$
25	50	50	50	50	—	—
32	50	50	50	50	—	—
40	60	60	60	60	—	—
50	60	60	60	60	—	—
65	70	70	70	70	—	—
80	80	80	80	80	—	—
100	80	80	80	80	—	—
125	90	90	90	80	70	60
150	100	100	100	80	70	60
200	120	120	100	80	80	70
250	120	120	100	80	80	70
300	120	120	120	100	100	70
350	140	120	120	100	100	70
400	160	140	120	100	140	80
450	160	140	140	120	140	80
500	180	160	160	140	140	80
600	200	160	160	160	160	80
700	200	160	160	160	160	80
800	200	160	160	160	160	80
900	200	160	160	160	160	80
1000	200	160	160	160	160	80

Примечания. 1. р, МПа, и t, °С — параметры теплоносителя. 2. Расстояние между неподвижными опорами трубопроводов с предельными параметрами на участках самокомпенсации рекомендуется принимать не более 60% указанных в таблице для П-образных компенсаторов.

где  $\Sigma p_{пм}$  — сумма масс 1 м погонной длины всех инженерных сетей, опираемых на решаемую опору, кг/м; l — длина опираемого участка, то есть сумма половин обоих пролетов, расположенных до и после опоры.

Массу турбопроводных сетей составляет масса трубы с теплоизоляционным и покровным слоями, а также масса транспортируемой жидкости. Для паропроводов и других трубопроводов реальных газов, если эти сети должны проходить гидравлическое испытание или промывку водой, необходимо учитывать и массу воды.

Для определения вертикальных нагрузок на опору, размещенную в узле трубопроводных сетей, учитывают также массу арматуры, компенсаторов и ответвлений, приходящихся на данную опору.

Расчетные вертикальные нагрузки определяют с коэффициентом перегрузки  $k = 1,2$ .

К вертикальным нагрузкам на опору от инженерных сетей в зависимости от конкретных условий добавляются нагрузки от снега, обледенения, площадок обслуживания проходных дорожек с людьми, других строительных конструкций, опираемых на решаемую опору, траверсу или консоль.

Горизонтальные (осевые и боковые) нагрузки от инженерных сетей создают силы трения. Они действуют только в жестких трубопроводных сетях, имеющих термические перемещения. Горизонтальные нагрузки определяют по формуле:

$$P_{гор} = \mu P_{пм} 1,9,81 \cdot 10^{-3}$$

где  $\mu$  — коэффициент силы трения, который в зависимости от вида опор составляет: при скользящих опорах — 0,3; катковых при осевом перемещении трубопровода — 0,1; катковых при боковом перемещении трубопровода перпендикулярно оси — 0,3; то же, под углом к оси — 0,15... 0,2 в зависимости от величины угла поворота; подвесных — 0,1.

В этой формуле вертикальная нагрузка, выражаемая через  $p_{пм} 1,9,81 \cdot 10^{-3}$ , при нахождении горизонтальных нагрузок представляет собой массу сети в рабочем состоянии. Масса воды, наполняющей трубопровод в случаях гидравлического испытания или промывки бездействующего трубопровода, при определении горизонтальных нагрузок не учитывается. К горизонтальным нагрузкам на опору от инженерных сетей добавляют еще и вертикальную нагрузку.

При перемещении подвижной опоры по оси прямого участка трубопровода возникает только осевая горизонтальная нагрузка  $P_{гор}^o$ . При перемещении опоры под углом к первоначальной оси трубопровода, например на участках самокомпенсации или вблизи П-образных компенсаторов, горизонтальная нагрузка раскладывается на две составляющие: горизонтальную осевую

нагрузку  $R_{гор}^a$ , направленную по первоначальной оси трубопровода, и горизонтальную боковую  $R_{гор}^b$ , направленную перпендикулярно первоначальной оси. При перемещении опоры перпендикулярно первоначальной оси трубопровода возникает только горизонтальная боковая нагрузка  $R_{гор}^b$ .

Расчетные горизонтальные нагрузки от инженерных сетей для расчета строительных конструкций определяют с коэффициентом перегрузки  $k = 1,1$ .

Описанным методом определяют горизонтальные нагрузки на подвижные опоры при раздельной прокладке сетей, когда на опоре расположен только один трубопровод. Иные условия создаются при совмещенной прокладке инженерных сетей, когда на траверсу или консоль опираются несколько трубопроводов. В этих случаях термические перемещения всех уложенных трубопроводов обычно не совпадают по времени. Поэтому существующая техническая литература рекомендует в расчеты горизонтальных нагрузок вводить коэффициент неодновременности образования сил трения. Существуют разные материалы и исследования по определению значений этих коэффициентов. Вполне надежными являются значения коэффициентов неодновременности сил трения, диктуемые СНиП 2.09.03—85:

при прокладке одного трубопровода или двух одной системы  $k = 1$ . Подающий и обратный трубопроводы водяных тепловых сетей, трубопроводы сети горячего водоснабжения и циркуляционный, паропроводы, транспортирующие пар одинаковых параметров и т.п. считаются одной системой и рассматриваются как один трубопровод;

при числе трубопроводов от 2 до 4 горизонтальную нагрузку определяют как сумму сил трения от двух трубопроводов, наиболее неблагоприятно влияющих на рассчитываемую опорную конструкцию;

при числе трубопроводов от 5 до 10 — либо от двух, наиболее неблагоприятно влияющих, либо от всех трубопроводов с соответствующим коэффициентом одновременности (принимают худший вариант).

В СНиП 2.09.03—85 указаны следующие коэффициенты одновременности:

при наличии 5; 6; 7; 8; 9; 10 трубопроводов одинакового диаметра соответственно  $k = 0,25; 0,2; 0,15; 0,12; 0,09; 0,05$ ;

при числе трубопроводов свыше 10 рассматриваемое усилие учитывается только от 10 наиболее неблагоприятных случаев, остальные трубопроводы считаются отсутствующими.

Таким путем рассчитывают отдельно стоящие колонны безбалочных и балочных наземных эстакад, их фундаменты, балки, конструкции верхних эстакад, консоли, а также траверсы и кон-

соли проходных каналов, туннелей и технических коридоров. При этом каждая отдельная траверса, консоль или другой элемент верхнего строения должны быть рассчитаны на нагрузки, создаваемые опираемыми непосредственно на них трубопроводами с учетом соответствующего понижающего коэффициента неодновременности сил трения.

Значения горизонтальных нагрузок существенно влияют на размеры и стоимость строительных конструкций наземных эстакад. Однако вопрос образования горизонтальных нагрузок при совмещенной прокладке трубопроводов и их расчет существующей технической литературой освещены мало и далеко не полно\*. Умозрительно представляется, что горизонтальные нагрузки, например от подающего и обратного трубопровода водяных тепловых сетей, которые по СНиП 2.09.03—85 рассчитываются как один трубопровод, образуются следующим образом (рис. 4.11).

При нагреве подающий трубопровод с расчетными параметрами теплоносителя  $t = 150^\circ\text{C}$  подвергается термическому удлинению и в нем образуются горизонтальные усилия, равные максимальной силе трения опор, при которой происходит сдвиг трубопровода. После сдвига трубопровод останавливается, горизонтальные нагрузки уменьшаются, приближаясь к нулю. Из-за инерции движения трубопровода горизонтальные нагрузки могут выразиться даже минусовым знаком. На возникновение горизонтальных нагрузок и сдвигов трубопровода оказывает влияние еще и упругость строительных конструкций, несущих сети. При продолжении нагрева произойдут последующие, аналогичные первому, скачкообразные сдвиги трубопровода.

При нагреве обратного трубопровода с расчетными параметрами теплоносителя  $t = 70^\circ\text{C}$  происходит вначале такое же скачкообразное увеличение и затем уменьшение горизонтальных нагрузок и сдвигов трубопровода, только с более растянутой цикличностью сдвигов. Последняя сама по себе не имеет особого значения. Решающим является совпадение или несовпадение максимальных значений горизонтальных нагрузок. В водяных тепловых сетях максимальные горизонтальные нагрузки от подающего и обратного трубопроводов обычно не совпадают. Несовпадение максимума нагрузок зависит от расчетных параметров теплоносителя; определенную роль играет также отставание нагрева в обратном трубопроводе при нагреве подающего. Это показывает, что теоретически совпадение максимумов горизонтальных нагрузок от подаю-

\*В брошюре: "Рекомендации по определению нагрузок на отдельно стоящие опоры и эстакады под трубопроводы" (ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1973 г.).

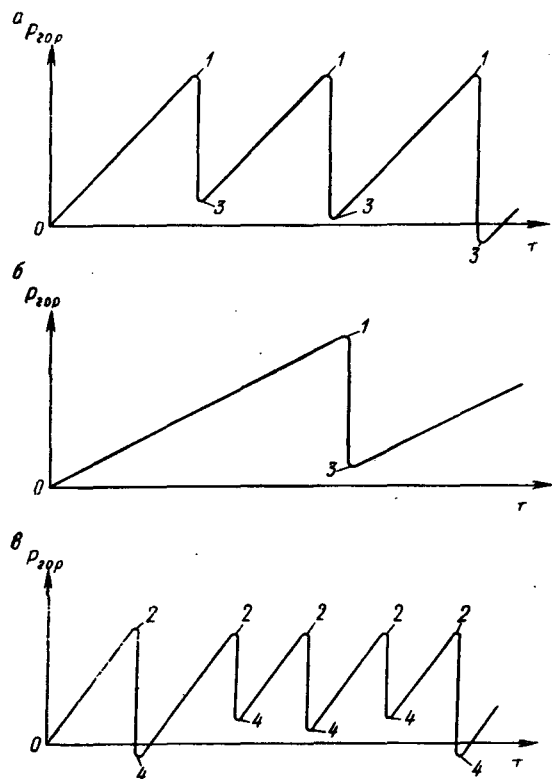


Рис. 4.11. Образование горизонтальных осевых нагрузок на опоры при нагреве и циклических термических перемещениях стальных трубопроводных сетей

а — нагрузки от подающего трубопровода водяных тепловых сетей с расчетной температурой  $t = 150-170^\circ\text{C}$ ; б — то же, от обратного трубопровода; в — нагрузки от паропровода  $t = 250^\circ\text{C}$ ;  $P_{гор}$  — горизонтальная осевая нагрузка;  $T$  — время нагрева трубопровода; 1 — максимальное значение горизонтальной осевой нагрузки на опору, при котором происходит скачкообразный сдвиг водяных тепловых сетей; 2 — то же, для паропровода; 3 — значение горизонтальной осевой нагрузки на опору после сдвига трубопровода водяных тепловых сетей; 4 — то же, для паропровода

щего и обратного трубопроводов возможно, однако вероятность такого совпадения невысока.

Учитывая, что водяные тепловые сети работают с переменными параметрами теплоносителя в отопительном периоде года,

сдвиги трубопроводов от термических перемещений будут происходить постоянно при изменении температуры теплоносителя.

Иначе дело обстоит в паропроводах и в сетях горячего водоснабжения, работающих с постоянными параметрами. В режиме работы этих сетей термических перемещений трубопроводов вообще не наблюдается. Они имеют место только в случаях пуска в эксплуатацию или остановки этих сетей, что происходит относительно редко. Однако это не значит, что горизонтальные нагрузки отсутствуют. Они могут быть накоплены каждым отдельным трубопроводом после последнего сдвига, происшедшего при пуске или остановке сети. Только значения этих нагрузок от каждого отдельного трубопровода разные, но всегда они меньше максимального, при котором происходит сдвиг сети.

Следует отметить, что при совмещенной прокладке большого числа сетей по наземным эстакадам сдвиг одного трубопровода вызывает вибрацию всей эстакады. Эта вибрация в свою очередь вызывает преждевременный сдвиг других трубопроводов, в которых еще не достигнуты максимально возможные значения горизонтальных нагрузок. Отсюда напрашивается вывод, что при совмещенной прокладке инженерных сетей горизонтальные нагрузки от каждого отдельного трубопровода воспринимаются не только строительными конструкциями, на которые опираются эти сети, но и рядом расположенными трубопроводами. Они как бы удерживают термические перемещения друг друга, связывают строительные конструкции и сами в какой-то мере нейтрализуют горизонтальные нагрузки соседнего трубопровода.

Примеры расчетов нагрузок на подвижные опоры.

Пример 1. Паропровод  $D_y = 500$  мм, предназначенный для транспортирования сухого насыщенного пара  $p \leq 1,3$  МПа, и конденсаторов  $D_y = 200$  мм,  $p \leq 0,3$  МПа, размещенный над паропроводом, проложены наземно с опиранием на отдельно стоящие колонны с шагом расстановки 14 м. Опоры скользящие. Трубопроводы имеют горизонтальные осевые и боковые перемещения.

Необходимо определить вертикальные и горизонтальные нагрузки от пароконденсатных сетей на колонну.

Решение. Масса 1 м погонной длины действующего паропровода  $D_{нхз} = 530 \times 6$  мм, покрытого антикоррозионным, теплоизоляционным и покровным слоями, составляет 139 кг/м;

масса того же паропровода, наполненного водой во время его гидравлического испытания, — 347 кг/м;

масса конденсаторов  $D_{нхз} = 219 \times 6$  мм, покрытого теми же слоями

и наполненного конденсатом или водой, — 91 кг/м;

вертикальная нагрузка на колонну от действующих пароконденсаторов:  $P_{верт} = \Sigma P_{МЛ} = (139 + 91) 14 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} = 31,59$  кН;

вертикальная нагрузка на колонну от действующих пароконденсаторов, наполненных водой при их гидравлическом испытании:  $P_{верт}^M = \Sigma P_{МЛ}^M = (347 + 91) 14 \cdot 9,81 \cdot 10^{-4} = 60,05$  кН;



горизонтальные осевые и боковые нагрузки при коэффициенте одновременности нагрузок  $k = 1$  от действующих пароконденсатопроводов:  $P_{гор}^o = P_{гор}^d = \mu P_{верт}^d = 0,3 \cdot 3220 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} = 9,47 \text{ кН}$ .

**Пример 2.** Водяные тепловые сети  $2D_{H,xs} = 219 \times 6 \text{ мм}$  и  $2D_{H,xs} = 273 \times 7 \text{ мм}$ , паропровод  $D_{H,xs} = 273 \times 7 \text{ мм}$ , трубопровод горячего водоснабжения  $D_{H,xs} = 140 \times 5,5 \text{ мм}$ , циркуляционный трубопровод  $D_{H,xs} = 75,5 \times 4 \text{ мм}$  и разные кабели числом 35 шт. прокладываются по наземной балочной эстакаде. Длина типовых сборных железобетонных балок, определяющих шаг расстановки колонн эстакады, — 12 м. Трубопроводные сети, опираемые на скользящие опоры, имеют осевые и боковые термические перемещения.

Необходимо определить вертикальные и горизонтальные нагрузки от инженерных сетей на один балочный пролет.

**Решение.** Вертикальная нагрузка от действующих сетей при средней массе одного прокладываемого кабеля 2 кг/м:  $P_{верт}^d = \sum \rho L = (2 \cdot 91 + 2 \cdot 131 + 106 + 56 + 20 + 35 \cdot 2) 12 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} = 81,93 \text{ кН}$ ;

вертикальная нагрузка от сетей при недействующем паропроводе, наполняемом водой во время проведения гидравлического испытания:  $P_{верт}^w = (2 \cdot 91 + 2 \cdot 131 + 139 + 56 + 20 + 35 \cdot 2) 12 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} = 85,82 \text{ кН}$ ;

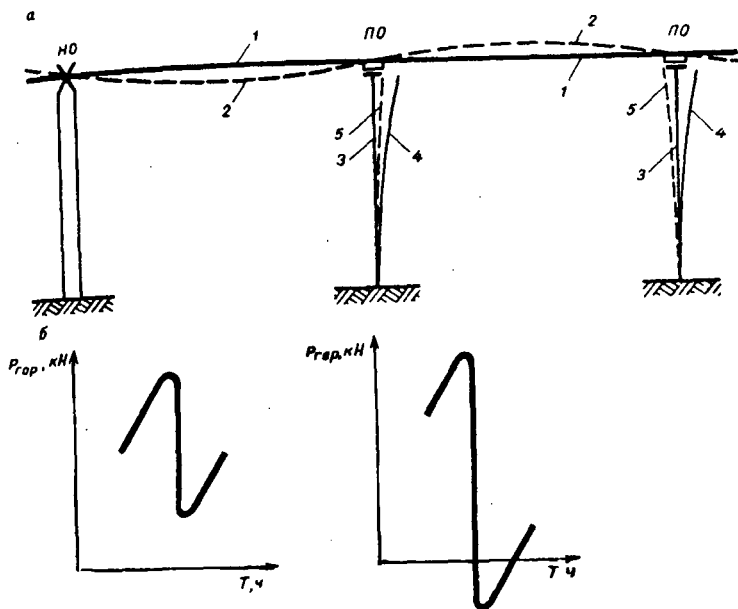
горизонтальные осевые и боковые нагрузки при коэффициенте одновременности нагрузок  $k = 1$  только от двух (фактически от четырех) инаиболее неблагоприятно влияющих трубопроводных сетей:  $P_{гор}^d = P_{гор}^o = \mu P_{верт}^d = 1 \cdot 0,3 (2 \cdot 91 + 2 \cdot 131) 9,81 \cdot 10^{-3} = 13,07 \text{ кН}$ .

Определенные в примере 2 максимальные вертикальные нагрузки от инженерных сетей действуют как на балочные конструкции одного пролета, так и на каждую колонну и ее фундаменты. Полные же осевые горизонтальные нагрузки действуют только на балочные конструкции. Далее эти нагрузки полностью или частично могут передаваться балками на неподвижную опору, расположенную на определенном расстоянии, или на промежуточные опоры, несущие конкретную балочную конструкцию. Осевые горизонтальные нагрузки, передаваемые неподвижной опоре или опоре, несущей балочную конструкцию, зависят от следующих факторов:

способности балочных конструкций принять на себя осевые горизонтальные нагрузки;

конструкции промежуточных опор, расположенных под эстакадой между неподвижными опорами. Они могут быть заземлены в грунте или быть шарнирными, то есть иметь шарнир над фундаментами опор и, при необходимости, также шарнир под балками;

способности к изгибу заземленных в грунте стоек неподвижных и промежуточных опор, зависящей как от материала стойки опоры, так и от ее высоты. Высокая опора из того же материала будет всегда иметь большую амплитуду изгиба, чем низкая опора, (рис. 4.12). Это говорит о том, что при эстакадах низкой или средней высоты возможности передачи осевых горизонтальных нагрузок на неподвижную опору мень-



**Рис. 4.12.** Изгиб стального трубопровода и высоких промежуточных опор, заземленных в грунте, при нагреве и скачкообразном сдвиге трубопровода

а — изгиб трубопровода и стоек промежуточных опор; б — изменение горизонтальных осевых нагрузок на промежуточные опоры до и после сдвига трубопровода при его нагреве; НО — неподвижная опора; ПО — промежуточная опора;  $P_{гор}$  — горизонтальная осевая нагрузка на промежуточную опору; Т — время нагрева трубопровода; 1 — положение трубопровода до начала нагрева; 2 — положение трубопровода при нагреве перед его сдвигом; 3 — положение промежуточных опор до начала нагрева трубопровода; 4 — положение промежуточных опор при нагреве перед сдвигом трубопровода; 5 — положение опор после сдвига

ше, чем при высоких эстакадах. Рис. 4.12 показывает, что трубопровод, удлиняясь из-за нагрева участка, расположенного между двумя промежуточными опорами, перед моментом сдвига как бы приобретает дугообразную форму и одновременно изгибает стойку опоры. После момента сдвига трубопровод и стойка опоры выпрямляются. В результате скачкообразного происхождения сдвигов трубопровод и стойка опоры сразу после момента сдвига выпрямляются;

разницы амплитуды изгиба неподвижных и промежуточных опор. Чем больше эта разница, тем больше возможность пере-

дачи осевых горизонтальных нагрузок на неподвижную опору; расстояния от точек приложения осевых горизонтальных нагрузок на балочные конструкции до ближайшей неподвижной опоры. Это расстояние в любом случае должно быть меньше длины максимально допустимого температурного блока конкретной балочной конструкции. Все это говорит о том, что балочные конструкции в общем случае, делают наземные эстакады более прочными, способными принимать на себя определенную долю или даже все осевые горизонтальные нагрузки, что дает возможность уменьшить размеры колонн, фундаментов и расход строительных материалов на их изготовление.

Горизонтальные боковые нагрузки от инженерных сетей должны восприниматься каждой конкретной балочной конструкцией, колонной и ее фундаментом. На неподвижные опоры, расположенные на определенном расстоянии, горизонтальные боковые нагрузки не передаются.

**Нагрузки на неподвижные опоры.** Они определяются после расчета нагрузок на подвижные опоры. Нагрузки на неподвижные опоры трубопроводных сетей могут быть вертикальными и горизонтальными. Вертикальные нагрузки определяют так же, как для подвижных опор.

Расчет горизонтальных нагрузок выполняют иначе. Горизонтальные нагрузки на неподвижные опоры трубопроводов возникают под влиянием следующих сил:

сил трения в подвижных опорах при термических перемещениях трубопроводов;

сил трения в сальниковых компенсаторах при термических перемещениях трубопроводов;

сил упругой деформации гибких компенсаторов или самокомпенсирующих участков трубопроводов при термических перемещениях сетей или их растяжке в холодном состоянии;

внутреннего давления при использовании неравновешенных сальниковых и сильфонных компенсаторов (то есть при наличии разрезных трубопроводов). При П-образных компенсаторах силы внутреннего давления воспринимаются самим трубопроводом и на неподвижные опоры не передаются.

При установке на конкретном участке сети уравновешенных сальниковых и сильфонных компенсаторов силы внутреннего давления уравновешиваются самой конструкцией компенсаторов и поэтому на неподвижные опоры не передаются.

Внутреннее давление создает горизонтальные нагрузки на неподвижные опоры, если в сети имеются заглушки и запорная арматура, находящаяся в закрытом состоянии. Это создает разницу давлений в участках сети, расположенных до и после этих элементов сети.

Горизонтальные нагрузки, порожденные упомянутыми силами, суммарно действуют на неподвижную опору только в

том случае, когда она нагружена односторонне. Это имеет место, когда сети сразу за неподвижной опорой делают поворот, близкий к прямому углу (в плане или по вертикали), а также если неподвижная опора является концевой. Во всех остальных случаях горизонтальные нагрузки от сетей, расположенных по одну сторону неподвижной опоры, имеют действие, обратное нагрузкам, создаваемым трубопроводами, размещенными на другой стороне. Они в определенной степени как бы взаимно нейтрализуются. Так, например, при нагреве трубопроводов они удлиняются под действием сил трения и создают осевые горизонтальные нагрузки, встречно направленные к неподвижной опоре и сжимающие ее с обеих сторон. При охлаждении тех же трубопроводов происходит противоположное: силы трения растягивают неподвижную опору. На стойку колонны и фундамент неподвижной опоры наземной эстакады в этих случаях действует только разница осевых горизонтальных нагрузок, которая в определенных условиях может равняться даже нулю.

Значения горизонтальных нагрузок, действующих на неподвижные опоры и на отдельные строительные конструкции, зависят от схемы расположения сетей, запорной и другой арматуры трубопроводов, имеющих термические перемещения. Разнообразие этих схем велико и они хорошо освещены в специальной технической литературе. Там же даны формулы, вспомогательные номограммы и практические примеры, помогающие выполнению необходимых расчетов (наиболее полно эти вопросы рассмотрены в справочнике проектировщика "Проектирование тепловых сетей". — М.: Стройиздат, 1965 г.).

## Глава 5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

### 5.1. ПОДЗЕМНЫЕ ПРОХОДНЫЕ КАНАЛЫ И ТУННЕЛИ

Расчет прочности и устойчивости строительных конструкций инженерных сетей выполняют по предельному состоянию на наиболее невыгодные расчетные сочетания воздействий и нагрузок. Они определяются с учетом очередности строительства, способов производства строительно-монтажных работ и технологических нагрузок, возникающих в периоды пуска и эксплуатации трубопроводов.

Основные нагрузки на строительные конструкции слагаются из собственного веса конструкций и нагрузок от прокладываемых инженерных сетей и их оборудования. При подземной прокладке строительных конструкций, проходных каналов и туннелей к основным нагрузкам относят еще и нагрузки от давления грунта, грунтовых и паводковых вод, наземного тран-

спорта. К дополнительным нагрузкам относят нагрузки от температурного воздействия на строительные конструкции, а при сооружении непроходных и проходных наземных эстакад — еще и от ветра, снега, льда и веса людей. К особым нагрузкам, воздействующим на строительные конструкции, относят нагрузки, создаваемые сейсмическими явлениями, ледоходами, лавинами, оползнями и т. п.

В расчетах строительных конструкций сумма расчетных нагрузок определяется с учетом понижающего коэффициента  $k$  на все нагрузки, кроме собственного веса конструкций. При действии основных и дополнительных нагрузок  $k = 0,9$ , а при сочетании основных, дополнительных и особых нагрузок  $k = 0,8$ .

Расчет отдельных элементов строительных конструкций выполняется согласно СНиП 2.01.07—85 "Нагрузки и воздействия", а также соответствующим техническим условиям и действующим нормативным материалам с обязательной проверкой устойчивости сооружения в целом.

При проектировании сборных железобетонных и стальных элементов следует стремиться к ограничению их массы в пределах 5...10 т. Размеры сборных элементов или их блоков не должны превышать габаритов, установленных для перевозки автомобильным, железнодорожным, водным и воздушным транспортом, применяемым на конкретной стройке.

Глубину заложения подошвы фундаментов опор определяют расчетом устойчивости основания и условиями вспучивания грунтов при промерзании. Основание под фундаменты опор рассчитывают по первому предельному состоянию (по несущей способности) или по второму предельному состоянию (по деформации) в зависимости от вида грунтов и допустимости неравномерной осадки двух ближайших опор под трубопроводы или эстакаду. Деление грунтов по гранулометрическому составу, плотности, числу пластичности и консистенции, а также нормативные давления на грунты, основания, нормативные и расчетные характеристики песчаных и глинистых грунтов (сцепление, угол внутреннего трения и модуль упругости) принимают по таблицам СНиП 2.02.01—83.

Для совмещенной прокладки инженерных сетей в настоящее время используют весьма различные строительные конструкции, изготавливаемые из разных материалов. Существует целый ряд экономически эффективных типовых сборных конструкций. Применяют также и индивидуальные конструкции, которые позволяют осуществлять нетиповые решения и придают сооружению необходимый эстетический и архитектурный вид, вписывающийся в панораму местности. В древности и в средневековье сооружения наземных эстакад, акведуков, виадуков и подземных каналов разного рода выполнялись только из камня или кирпича на известковом растворе. В настоящее время

для этих целей помимо упомянутых материалов могут быть использованы бетон, железобетон, сталь, цветные металлы, полимеры, стекло и др. Каждый вид совмещенной прокладки инженерных сетей требует соответствующих строительных конструкций.

Подземные проходные каналы и туннели сооружают из типовых сборных железобетонных элементов, изготавливаемых по серии 3.006.1-2/82 "Сборные железобетонные каналы и туннели из лотковых элементов". Такие каналы и туннели предназначены для прокладки трубопроводов различного назначения, электрокабелей и электрошин. Предусмотрено также использование туннелей в качестве подземных конвейерных галерей и пешеходных переходов (исключая сейсмические районы).

Серия 3.006.1-2/82 состоит из 8 выпусков (альбомов) и содержит рабочие чертежи проходных каналов (туннелей). Выпуск 0 включает материалы для проектирования: нагрузки и расчетные схемы; габаритные схемы; таблицы для подбора сборных железобетонных изделий и показатели расхода материалов; общие чертежи каналов и туннелей, прокладываемых в различных грунтовых условиях. Выпуски 1-1; 1-2; 1-3; 1-4; 2-1; 2-2; 2-3 включают рабочие чертежи лотков, плит, опорных подушек, арматурных и закладных изделий, узлов и балок.

Проходные каналы (туннели) бывают односекционными (рис. 5.1.а), двухсекционными (рис. 5.1.б) и многосекционными. Их маркируют следующим образом: ТЛ 240х210-8 обозначает: односекционный туннель из лотковых элементов с шириной (в чистоте) 240 см, высотой (в чистоте) 210 см для расчетной нагрузки 8 т/м<sup>2</sup>. Марка 2ТЛ 300х240-12 обозначает двухсекционный туннель из лотковых элементов с шириной (в чистоте) каждого туннеля 300 см, высотой (в чистоте) 240 см для расчетной нагрузки 12 т/м<sup>2</sup>.

Расход строительных материалов на сооружение туннелей значителен. Так, например, для сооружения 1 м погонной длины односекционного туннеля марки ТЛ 240х210-8 (см. рис. 5.1.а) расходуют: бетона класса В25 — 1,45 м<sup>3</sup>/м, стали — 171,2 кг/м; для двухсекционного туннеля марки 2ТЛ 300х240-12 (см. рис. 5.1.б): бетона класса В30 — 3,68 м<sup>3</sup>/м, стали — 645,2 кг/м.

Проходные каналы (туннели) серии 3.006.1-2/82 запроектированы для применения при следующих условиях:

в обычных грунтовых условиях при отсутствии просадочности, грунтовых вод и сейсмических воздействий:

\*Маркировка осталась прежней, без учета Международной системы единиц измерения.

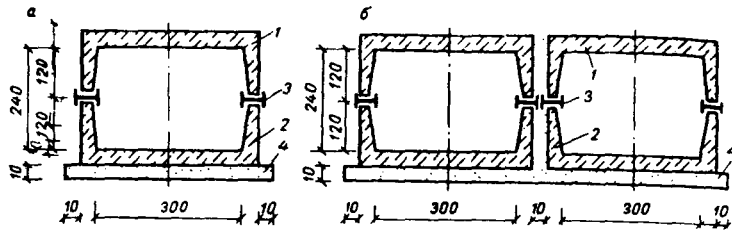


Рис. 5.1. Типовые сборные железобетонные лотковые проходные каналы (туннели) марки ТЛ 300x240 (размеры на чертеже даны в см) а — односекционный; б — двухсекционный; 1 — верхний лоток; 2 — нижний лоток; 3 — коротыш швеллера, соединяющий нижний и верхний лотки; 4 — песчаная подготовка туннелей

на просадочных грунтах;  
 при наличии грунтовых вод;  
 в районах с сейсмичностью до 9 баллов включительно для всех указанных выше грунтовых условий.

Серией предусмотрены следующие варианты прокладки туннелей:

- под автомобильными дорогами, с заглублением от верха дорожной одежды до верха перекрытия 0,5...6 м;
- под железными дорогами, с заглублением от низа шпал до верха перекрытия туннеля 1...4 м;
- вне дорог, с заглублением верха перекрытия 0,5...6 м;
- в цехах, с минимальным заглублением от уровня пола до верха перекрытия туннеля 0,3 м.

Туннели марки ТЛ собирают из нижних и верхних лотковых элементов, соединяемых коротышами из швеллеров с креплениями на сварке к закладным изделиям, помещенным в стенах нижних лотков. Габарит лотков туннелей составляет: по ширине — до 4 м, по высоте — до 1,68 включительно. При ширине лотков до 2,4 м и массе до 9,9 т включительно длина применяемых лотков 5,97 м. В остальных случаях длина лотков 9,27 м при наибольшей массе 9,4 т.

Подготовка под туннели (при отсутствии грунтовых вод) — песчаная толщиной 100 мм. При расположении туннелей ниже уровня грунтовых вод рекомендуется устройство попутного дренажа.

Для отвода случайных вод днищу туннелей придают продольный уклон  $i_{\min} = 2\text{‰}$ . Воду отводят в приемки, располагаемые в камерах, местах уширений, либо на линейных участках трассы туннелей. Расстояние между приемками не должно превышать 150 м. Воду из приемков отводят в канализацию.

В подземных туннелях не более чем через 50 м устраивают деформационные швы. Помимо этого их устройство рекомендуется в местах примыкания туннелей к камерам и уширениям, а также на границах участков резкого изменения несущей способности основания.

В туннелях необходимо предусматривать выходы и монтажные проемы. Расстояния между выходами принимают:

в шинных и кабельных туннелях — не более 150 м (кроме туннелей с маслонаполнительными кабелями, где это расстояние должно быть не более 120 м);

при прокладке паропроводов — не более 100 м;

при прокладке водяных тепловых сетей — не более 200 м.

Монтаж туннелей выполняют в соответствии с проектом производства работ и требованиями СНиП III-16-80 и СНиП III-4-80. Для монтажных и ремонтных работ в туннелях могут предусматриваться монорельсы грузоподъемностью 1 т. Вентиляция туннелей решается в каждом конкретном случае в зависимости от их назначения и степени выделения инженерными сетями теплоты, взрывоопасных или токсичных соединений.

При расположении туннелей в насыпи давление грунта принимают в соответствии с указаниями главы СНиП III-43-75.

Кроме упомянутых решений в серии 3.006.1-2/82 приведены разные решения гидроизоляции туннелей в случаях высоких уровней грунтовых вод и невозможности устройства попутного дренажа. Рассмотрены вопросы защиты строительных конструкций от коррозии, строительства туннелей в просадочных грунтах и сейсмических районах.

Помимо серии 3.006.1-2/82 существует еще и серия 3.006.1-3-83 "Сборные железобетонные конструкции туннелей", в которой приведены туннели прямоугольного сечения марки ТС, собираемые из уголковых элементов, и туннели марки ТО, собираемые из объемных элементов. Ширина туннелей составляет 1,5...4,8 м, высота — 2,1...3,6 м.

Совмещенная прокладка инженерных сетей в подземных проходных каналах и туннелях относительно мало влияет на архитектурный облик городов, поскольку наземно выводят только полузаземленные павильоны, узлы выхода и вентиляционные шахты. Поэтому строительные конструкции туннелей должны отвечать только технико-экономическим требованиям градостроительства. Серия 3.006.1-2/82 и серия 3.006.1-3/83 этим требованиям соответствуют вполне. Следовательно, нет оснований для разработки новых конструкций четырехугольного сечения, существенно отличающихся от уже разработанных в сериях 3.006.1.

Помимо подземных проходных каналов (туннелей) четырехугольного сечения существуют еще и туннели круглого сечения. Их сооружают тубинговым способом аналогично ли-

ниям метрополитена на относительно больших глубинах, ниже существующих подземных инженерных сетей, под зданиями, сооружениями, каналами, реками, путями сообщения разного характера. Такие туннели сооружают из типовых сборных железобетонных или чугунных сегментов, соединяемых на болтах. Реализация такой конструкции требует больших денежных, трудовых и материальных затрат; сроки строительства большие. Для совмещенной прокладки инженерных сетей такие туннели применяют крайне редко.

## 5.2. ОПОРЫ И ФУНДАМЕНТЫ НАЗЕМНО ПРОКЛАДЫВАЕМЫХ СЕТЕЙ

Виды высотной прокладки сетей. Наземную прокладку инженерных сетей выполняют на разной высоте по отношению к поверхности земли.

Наземные трубопроводные сети низкой прокладки (рис. 5.2,а) располагают на высоте 0,35...1,8 м от поверхности земли по трассам, не пересекаемым движением людей и транспорта — вдоль заборов, шоссе, железнодорожных путей и т.п. Начальная стоимость строительных конструкций низкой прокладки минимальная. Однако низкая прокладка трубопроводных сетей исключает размещение кабелей, что ограничивает ее использование. Ограничительными факторами являются также незащищенность теплоизоляционного и кровного слоев сетей от внешних повреждений и зарастание полосы размещения сетей сорными травами и кустами. При этом территорию полосы, расположенную под инженерными сетями низкой прокладки, невозможно очищать механизмами; использование ее для любых хозяйственных целей исключается. Стоимость потерянной территории в большинстве случаев превышает экономию затрат на строительные конструкции, полученную при низкой прокладке сетей.

Наземные трубопроводные сети средней высоты прокладки (рис. 5.2,б) располагают на уровне 2...3 м от поверхности земли в таких местах, где необходим проход под ними людей, а также над заборами. В последнем случае трассу трубопроводных сетей обычно совмещают с трассой забора. Строительные конструкции наземных трубопроводных сетей средней высоты прокладки несколько дороже строительных конструкций низкой прокладки, но территория под трассами эстакад в значительной степени удается использовать для прохода людей, проезда легкового автотранспорта, размещения заборов, гаражей, стоянок легковых автомашин и т.п. Теплоизоляционный и кровный слои трубопроводов при средней высоте прокладки сетей менее подвержены повреждениям и лучше сохраняют свои качества и наружный вид. Особых

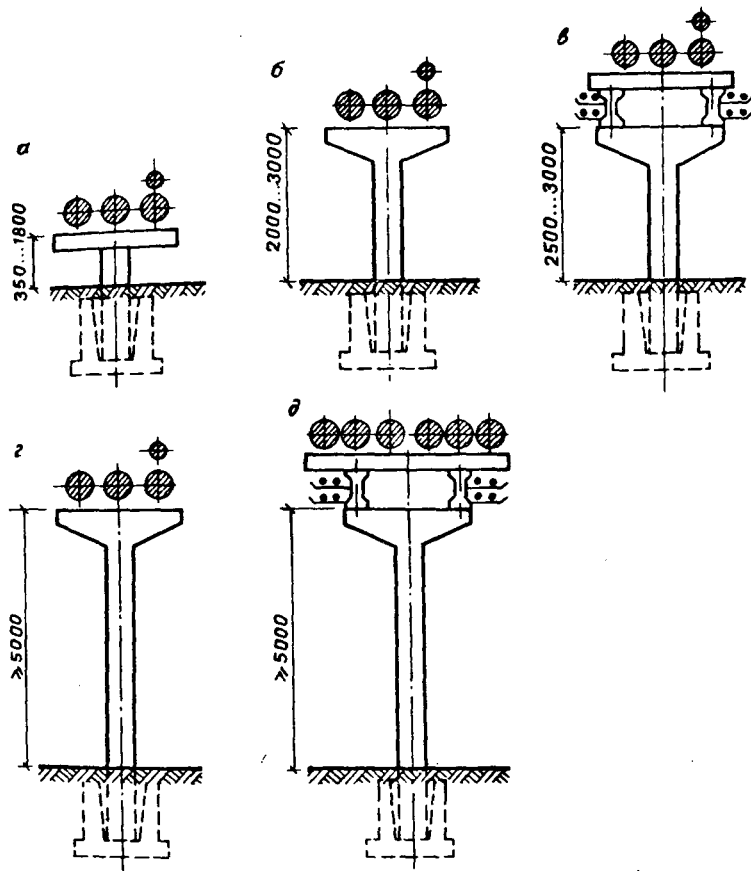


Рис. 5.2. Наземная прокладка сетей с применением полнотелых железобетонных колонн прямоугольного сечения  
а — низкая безбалочная; б — средней высоты безбалочная; в — средней высоты балочная; г — высокая безбалочная; д — высокая балочная

затруднений в уборке территории под трассой эстакад нет. Если по эстакаде средней высоты требуется уложить кабели, то в конструкцию эстакады вводят продольные балки, низ которых должен быть расположен на высоте не менее 2,5 м над поверхностью земли (рис. 5.2,в).

Наземные инженерные сети высокой прокладки сооружают на высоте более 5 м над поверхностью земли (рис. 5.2,д). Такие эстакады рассчитаны на проход под ними

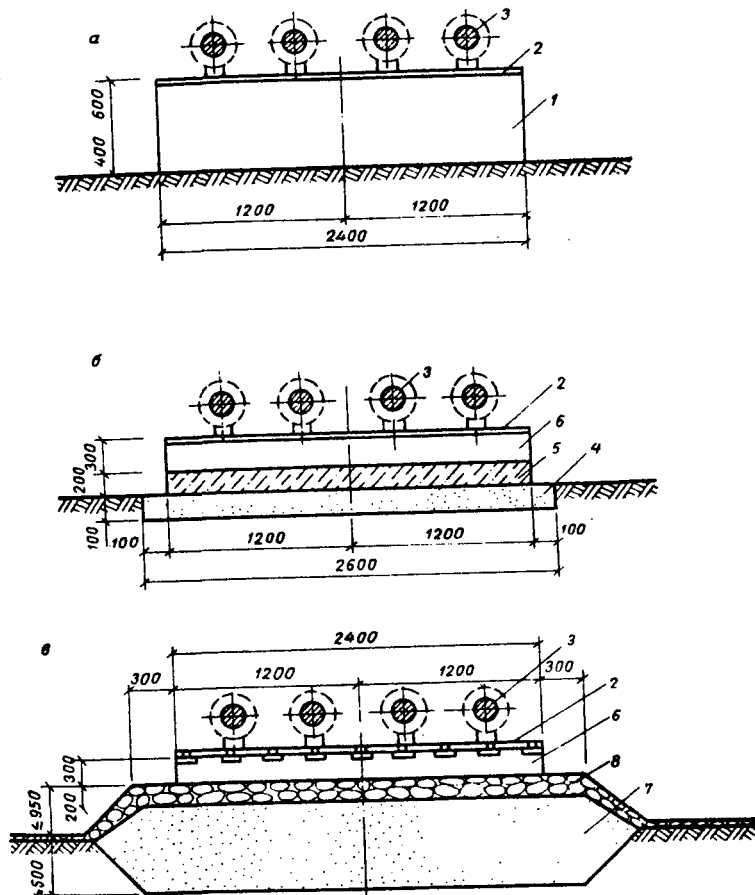
любого транспорта, прокладку сетей над кровлями зданий и сооружений разного характера. Поэтому высота прокладки инженерных сетей может достигать 15 м и более над поверхностью земли. Территорию полосы, расположенную под эстакадами сетей высокой прокладки, как правило, используют для различных целей: транспорта, стоянок автомашин любого назначения и т. д. Теплоизоляция и покровный слой трубопроводных сетей практически не повреждаются и построенные сети продолжительное время сохраняют свой первоначальный внешний вид. Территории, расположенные под эстакадами инженерных сетей высокой прокладки, убираются механизированно.

**Опорные конструкции сетей низкой прокладки.** При низкой прокладке трубопроводных сетей применяют опоры и их фундаменты разной конструкции.

Временные трубопроводные сети небольшого диаметра нередко прокладывают по типовым сборным бетонным фундаментным блокам зданий, уложенным на выровненную поверхность земли без устройства какого-либо фундамента (рис. 5.3,а). Такая прокладка трубопроводных сетей возможна только при относительно плотных грунтах; при этом стоимость и сроки строительства минимальны.

В случаях прокладки трубопроводных сетей небольших и средних диаметров в условиях слабых грунтов применяют другой вариант опор (рис. 5.3,б). На выровненную поверхность земли укладывают сборную железобетонную плиту, размеры и арматура которой рассчитаны для конкретного случая нагрузки. На плиту, которая в этом случае играет роль фундамента конструкций, укладывают сборную железобетонную или металлическую траверсу, размеры которой допускают укладку трубопроводных сетей. Такая весьма простая опорная конструкция может быть использована для прокладки как временных, так и постоянных сетей. Ее наземная часть относительно небольшая и отличается визуальной легкостью, особенно в случаях применения металлических траверс рамной конструкции. Такая конструкция требует минимальных земляных работ и не вредит растительности местности. Стоимость строительства и расход строительных материалов небольшие. В отдельных случаях наличия слабых грунтов и высоких уровней грунтовых вод такая конструкция может быть основой для поиска оптимальных решений.

Серия типовых проектов 3.015-1/82 "Унифицированные отдельно стоящие опоры под технологические трубопроводы", выпуск I, при низкой прокладке трубопроводов с их расположением до 1,2 м над поверхностью земли при наличии непучинистых грунтов рекомендует конструкцию опор, показанную на рис. 5.3,в. На курганообразный слой песка толщиной



**Рис. 5.3. Некоторые конструкции опор и фундаментов для низкой наземной прокладки трубопроводных сетей**  
а — типовые бетонные блоки стен подвалов, расположенные непосредственно на поверхности земли; б — типовая железобетонная траверса, установленная на железобетонных плитах, расположенных на поверхности земли; в — железобетонная траверса, расположенная на песчаных "курганчиках"; 1 — типовой бетонный блок стен подвалов; 2 — сталь полосовая; 3 — трубопровод; 4 — песчаный подстилающий слой; 5 — железобетонная плита; 6 — железобетонная траверса; 7 — песчаный "курганчик"; 8 — слой щебня или дерна

до 1,3 м, заменяющего растительный слой и выступающего над поверхностью земли до 0,75 м, укладывают типовую сборную железобетонную траверсу, изготовленную по серии 3.015-1/82. Для защиты песка от выдувания наземную часть песчаного "курганчика" покрывают щебнем, слоем растительного грунта или дерна толщиной 0,2 м. Такая конструкция опор легко выполняема и требует незначительных денежных средств и материальных ресурсов. Однако на практике она часто оказывалась ненадежной. В результате активности животных, людей и влияния атмосферных явлений песчаные "курганчики" расплываются, размываются, выдуваются и со временем теряют первоначальную форму, уже не отвечая своему назначению. Для сохранения формы и несущей способности "курганчиков" серия 3.015-1/82 рекомендует поверхность песчаной подсыпки, покрытую слоем утрамбованного мелкого щебня, закрепить проливкой черных вяжущих веществ. С эстетической и архитектурной точек зрения конструкция опор трубопроводных сетей с наземными "курганчиками" в любом виде ее исполнения неприглядна. Поэтому к широкому применению рекомендовать ее нельзя.

**Колонны.** Для низкой, средней и высокой прокладки инженерных сетей строительные конструкции подбирают в основном по следующим типовым сериям:

серии 3.015-1/82 "Унифицированные отдельно стоящие опоры под технологические трубопроводы", введенной в действие в 1986 г. взамен серии 3.015-1/77;

серии 3.015-2/82 "Унифицированные одноярусные эстакады под технологические трубопроводы", введенной в 1986 г. взамен серии 3.015-2/77.

Серия 3.015-1/82 состоит из 5 выпусков (альбомов). Выпуск I содержит материалы для проектирования, выпуски II-1; II-2 и II-3 — рабочие чертежи сборных железобетонных колонн для опор типов II, III, IV (см. ниже) и железобетонных траверс. Выпуск III содержит чертежи КМ.

В серии разработаны 6 типов отдельно стоящих опор: I, II, III, IV — собираемые из типовых сборных полнотелых железобетонных колонн прямоугольного сечения, траверс и стальных конструкций, разработанных настоящей серией; V и VI — собираемые из типовых сборных железобетонных центрифугированных стоек кольцевого сечения, разработанных другими сериями по ГОСТ 23444—79.

Серией 3.015-1/82 разработаны три типа сборных железобетонных колонн и стальные опоры пространственной решетчатой конструкции:

1. Прямые полнотелые железобетонные колонны прямоугольного сечения (рис. 5.4,а) в зависимости от их размеров, армирования и несущей способности разработаны в 85 ва-

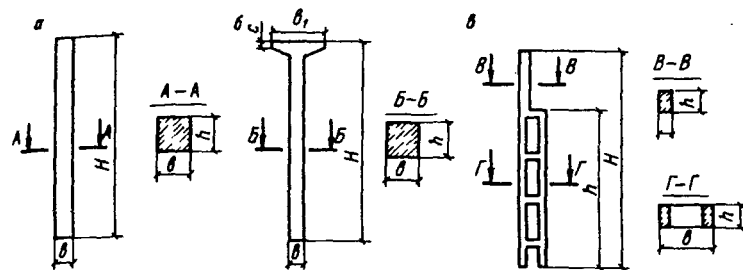


Рис. 5.4. Полнотелые железобетонные колонны прямоугольного сечения  
а — прямая; б — Т-образная; в — прямая с уменьшенным сечением верхней части

риантах. Высота их  $H = 5,7...8,1$  м. Размеры сечения:  $b = 0,3...0,5$  м,  $h = 0,3...0,5$  м. Высота колонн при их изготовлении по необходимости (это определяется проектом) может быть уменьшена.

2. Т-образные полнотелые железобетонные колонны прямоугольного сечения (рис. 5.4,б) в зависимости от их размеров, армирования и несущей способности разработаны в 45 вариантах. Высота этих колонн  $H = 6,2...8,6$  м, которая проектом может быть сокращена. Размеры сечения:  $b = 0,4$  и  $0,5$  м,  $h = 0,4$  м.

3. Прямые полнотелые железобетонные колонны прямоугольного сечения с уменьшенным сечением верхней части (рис. 5.4,в) разработаны в 37 вариантах. Высота колонн  $H = 7,5...9,7$  м. Размеры сечения  $B-B$ :  $b = 0,38$  м;  $h = 0,4$  м; размеры сечения  $Г-Г$ :  $b = 0,6$  и  $0,8$  м;  $h = 0,4$  м.

4. Стальные опоры пространственной решетчатой конструкции, изготовленные из прокатной стали.

Серия 3.015-2/82 "Унифицированные одноярусные эстакады под технологические трубопроводы" состоит из 9 выпусков (альбомов). Выпуск I содержит материалы для проектирования, а выпуски II-1...II-4 — рабочие чертежи сборных железобетонных колонн для эстакад типов Iк; Iп; IIж; IУк; IУж; Ук; Уж; УIж; УIIж, траверс и вставок. Выпуски II-5 ... II-7 содержат рабочие чертежи сборных железобетонных предварительно напряженных решетчатых балок пролетом 12 и 18 м, а выпуск III — чертежи КМ.

В серии разработаны одноярусные эстакады следующих типов:

Iк ... Ук — комбинированные эстакады (пролетные строения стальные, опоры железобетонные);

Шж ... УШж — эстакады, решенные полностью в железобетоне;

1м ... Ум; УШм и УШШм — эстакады, решенные полностью в металле.

Конструкции одноярусных эстакад рассчитаны на применение в сейсмических районах и в районах с сейсмичностью до 8 баллов включительно. Шаг опор одноярусных эстакад для типов 1к...Ук; 1м...Ум; Шж...Уж; УШм и УШШм принят равным 12 и 18 м, для типов У1ж...УШШж — 12 м.

Серией 3.015-2/82 разработаны следующие два типа прямоугольных полнотелых железобетонных колонн:

1. Прямые полнотелые железобетонные колонны прямоугольного сечения, по общему виду аналогичные колоннам серии 3.015-1/82 (см. рис. 5.4,а), разработаны в 112 вариантах в зависимости от их размеров, армирования и несущей способности. Высота  $H = 5,7 \dots 8,1$  м или, при необходимости, меньше. Размеры сечения:  $b = 0,3 \dots 0,5$  м;  $h = 0,3 \dots 0,5$  м.

2. Т-образные колонны прямоугольного сечения, по общему виду аналогичные колоннам серии 3.015-1/82 (см. рис. 5.4,б) разработаны в 146 вариантах. Высота их  $H = 5,8 \dots 8$  м или, при необходимости, меньше. Размеры сечения:  $b = 0,4 \dots 0,6$  м;  $h = 0,4 \dots 0,5$  м.

В настоящее время в подавляющем большинстве случаев отдельно стоящие опоры, а также опоры под балочные эстакады при высокой, средней и низкой прокладке инженерных сетей проектируют и сооружают из давно освоенных в производстве и строительстве типовых прямоугольных железобетонных колонн, изготовленных по упомянутым сериям 3.015 на специализированных заводах железобетонных конструкций. Применяемые в данных случаях металлические формы пригодны и для изготовления колонн серии 3.015-2/82, а также для колонн, применяемых в строительстве типовых зданий и сооружений. При необходимости изготовления колонн уменьшенной длины для низкой или средней прокладки сетей в металлические формы вкладывают опалубочные вставки. Все это говорит в пользу широкого использования колонн, изготавливаемых по сериям 3.015.

Однако применение полнотелых железобетонных колонн прямоугольного сечения в качестве отдельно стоящих опор или опор балочных эстакад, предназначенных для современной прокладки инженерных сетей, имеет существенные недостатки.

Такие колонны при сооружении опор любого типа под инженерные сети требуют устройства фундаментов, стоимость которых обычно превышает затраты на сооружение самих колонн. Если под подошвой фундаментов находятся слабые грунты, то они требуют замены несущими. При большой толщине слабых грунтов замена их экономически не оправдыва-

ется и фундаменты колонн должны сооружаться на сваях или ростверках. Все это требует дополнительных денежных средств, материальных и трудовых ресурсов. При этом производство земляных работ приводит к утрате и порче окружающей растительности и оказывает негативное влияние на защиту природы и эстетику местности.

Необходимо помнить, что конструкция типовых полнотелых железобетонных колонн прямоугольного сечения как опор эстакад была в свое время заимствована из практики их применения в строительстве зданий и сооружений промышленного и общественного назначения. Однако задачи, выполняемые этими колоннами в комплексе сооружения, характер и условия их нагрузок в обоих случаях заметно различаются. Если колонны, используемые для сооружения каркасов многоэтажных зданий, подвержены значительным вертикальным и относительно небольшим горизонтальным нагрузкам, то колонны, используемые в качестве отдельно стоящих опор и опор балочных эстакад инженерных сетей, воспринимают относительно большие горизонтальные (осевые и боковые) и небольшие вертикальные нагрузки. Прямоугольное сечение железобетонных колонн весьма удобно для сооружения каркасов зданий и крепления к ним стеновых блоков, но оно не обязательно (и даже нежелательно) в колоннах под опоры инженерных сетей. Если колонны каркасов зданий могут быть полнотелыми, учитывая небольшие горизонтальные нагрузки, изгибающие колонну, то при относительно больших горизонтальных нагрузках, имеющих место при совмещенной прокладке инженерных сетей, экономически более эффективны пустотелые колонны.

Полнотелые железобетонные колонны прямоугольного сечения сами по себе неэстетичны, так как технология их изготовления такова, что три из четырех граней получаются сравнительно ровными, а четвертая — шершавой и неровной. При транспортировании колонн их грани отбиваются, стальная арматура обнажается и ржавеет. Ржавчина окрашивает колонны в неприятный цвет и придает им изношенный, неэстетичный вид. Транспортно-монтажные петли, которыми снабжены колонны, также портят общий вид конструкции.

Учитывая отмеченные недостатки полнотелых железобетонных колонн прямоугольного сечения по сериям 3.015-1/82 и 3.015-2/82, ведущие специалисты и организации страны заняты разработкой иных, более эффективных опорных конструкций для эстакад под совмещенную прокладку инженерных сетей. Наиболее удачные и экономически эффективные из них описаны ниже.

**Железобетонные свай-опоры конструкции инженера Ю.М. Онула.** Для наземной прокладки тепловых сетей (по проектам Рижского отделения ВГПИ "Теплоэлектропроект") они на



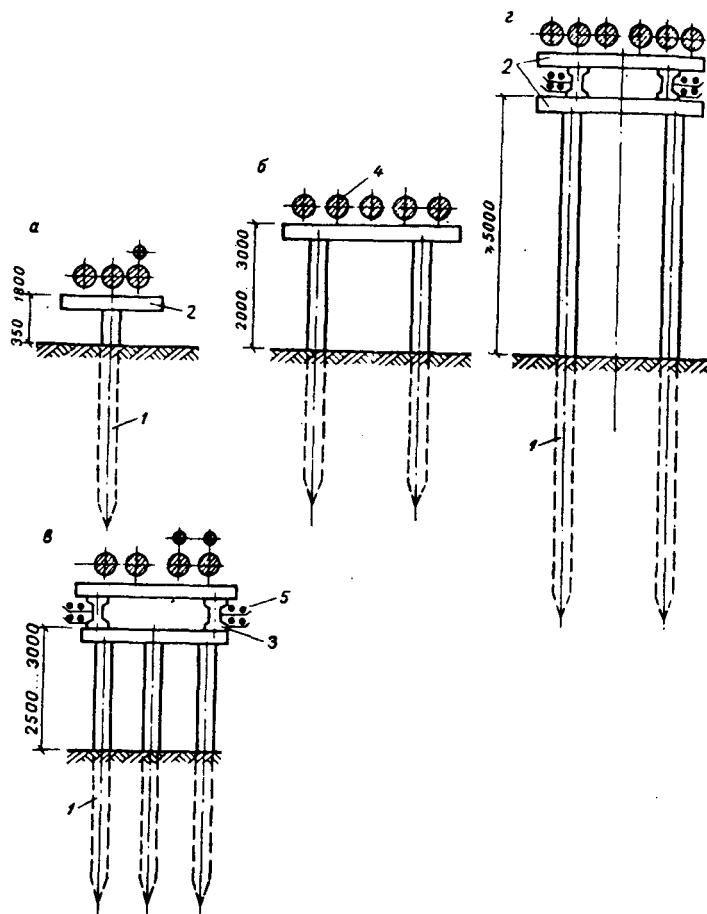


Рис. 5.5. Наземная прокладка сетей с применением железобетонных свай-опор

а — низкая безбалочная; б — средней высоты безбалочная; в — средней высоты балочная; г — высокая балочная; 1 — свая-опора; 2 — траверса; 3 — балка; 4 — трубопроводные сети; 5 — кабели

практике применяются уже с 1958 г. Первоначально железобетонные свай-опоры применялись для сооружения отдельно стоящих опор при низкой прокладке тепловых сетей (рис. 5.5,а), затем они были приняты для сооружения отдельно стоящих опор и опор балочных эстакад тепловых сетей средней высоты (рис. 5.5,б,в). Начиная с 1970 г. РижТЭП в отдельных слу-

чаях стал применять в проектах железобетонные свай-опоры для опирания тепловых сетей высокой прокладки (рис. 5.5,г) при расположении сетей на высоте 5...6 м над поверхностью земли. За последние годы РижТЭП начал применять в проектах составные свай-опоры при наземной прокладке тепловых сетей, что дало возможность расположить последние на высоте 8 м и более над поверхностью земли.

Проектный институт "Латгипропром" с 1970 г. применяет опыт РижТЭПа как в проектах тепловых, так и совмещенных инженерных сетей, используя свай-опоры конструкции Ю.М. Онзула для низкой и средней высоты прокладки. В отдельных случаях "Латгипропром" применял свай-опоры при совмещенной прокладке инженерных сетей по высокому балочным эстакадам, когда на опоры действуют относительно небольшие осевые горизонтальные нагрузки. Продолжительный опыт сооружения свай-опор по проектам РижТЭПа и "Латгипропрома" показал простоту производства строительно-монтажных работ, высокие технико-экономические показатели надежности этой конструкции. Для сооружений свай-опор использовали типовые полнотелые железобетонные сваи прямоугольного сечения длиной 6...12 м, сечением 0,3х0,3 м. В отдельных случаях длину изготавливаемых промышленностью целых (не составных) свай увеличивали до 16...18 м. Арматуру свай принимали типовой. Однако в особых случаях, когда требовалась передача на свай-опоры увеличенных горизонтальных нагрузок, проектами совмещенной прокладки инженерных сетей предусматривалось усиленное армирование свай. Такое усиленное армирование свай неоднократно выполняли заводы железобетонных конструкций при условии заказа достаточно большого числа свай одинаковых размеров.

Отдельно стоящие опоры и опоры балочных эстакад для совмещенной прокладки инженерных сетей сооружают из разного числа свай-опор. Если число и диаметры прокладываемых трубопроводов, шаг расстановки опор и осевые горизонтальные нагрузки небольшие, опора может состоять из одной единственной свай-опоры. Если значения этих параметров увеличиваются, промежуточную опору сооружают из двух-трех свай-опор, расположенных в один ряд поперек оси трассы сетей. Свай-опоры одного ряда безбалочной конструкции соединяют между собой железобетонной или стальной траверсой, над которой прокладывают инженерные сети (см. рис. 5.5,а,б). Если требуется установка продольных балок, их располагают над траверсами, связывающими свай-опоры, а траверсы, несущие трубопроводные сети, размещают над балками (см. рис. 5.5,в,г).

Неподвижные (анкерные) опоры обычно сооружают из одного, двух или трех рядов свай-опор, расположенных вдоль оси трассы, в зависимости от нагрузки на опору. Общее число

свай-опор в одной неподвижной опоре достигает 6...9. На практике кроме упомянутой конструкции неподвижных опор применяют и другую, основанную на устройстве подкосов. В этом случае средняя часть неподвижной опоры, предназначенной для восприятия вертикальных нагрузок, аналогична промежуточной опоре. Подкосы, предназначенные для восприятия горизонтальных осевых нагрузок, опираются снизу на погруженные в грунт короткие сваи.

Оголовки свай-опор, составляющие как неподвижные, так и промежуточные опоры, после их забивки и выравнивания покрывают металлическими колпаками высотой 0,2...0,3 м, изготовленными из кусков угловой и листовой стали или отрезков трубопроводов, покрытых сверху листовой сталью. Колпаки плотно покрывают поверхность оголовка и предохраняют сваю-опору от атмосферных воздействий. После установки колпаков все сваи-опоры каждой неподвижной опоры связывают надежной металлической конструкцией.

Глубина погружения свай-опор ниже существующей поверхности земли составляет 4...8 м в зависимости от состава и несущей способности грунтов, а также нагрузок, передаваемых на сваю-опору. При толщине слоя пластичных грунтов более 8 м и прокладке инженерных сетей, допускающих неодинаковую осадку отдельных опор, заглубление свай-опор обычно не превышает 8 м, даже если несущие грунты расположены на более глубокой отметке.

Погружение свай-опор в грунт выполняют с помощью сваебойных установок разного типа. Легко и просто их погружение осуществляется в слабых (илистых, торфянистых, пластичных), песчаных, суглинистых и глинистых грунтах. В этих случаях применение свай-опор конструкции инж. Ю.М. Онзула по сравнению с опорами из традиционных колонн, изготовленными по сериям 3.015-1/82 и 3.015-2/82, дает наивысший экономический эффект.

Грунты, насыщенные валунами, забивку свай-опор не допускают. Для скальных грунтов могут быть разные решения. Если они залегают мелко, но толщина слоя рыхлого грунта достаточна для размещения монолитных железобетонных фундаментов, то предпочтение может быть отдано типовым сборным колоннам серии 3.015. Однако если скальные грунты выходят на дневную поверхность, предпочтение обычно отдают сваеопорам, погруженным с добивкой в скважины, пробуренные на глубину 2...3 м и заполненные жидким бетонным раствором.

Следует отметить, что выбор свай-опор связан также с соблюдением эстетического вида их наземной части. В этом вопросе важнейшую роль играет обеспечение вертикального положения опор, особенно при высокой и средней высоте проклад-

ки инженерных сетей. На практике наряду со строго вертикальными сваями-опорами нередки случаи, когда отдельные опоры имеют некоторый уклон. Иногда оси двух свай-опор в плане не совпадают между собой и с осью трассы сетей. Анализ причин этих отклонений показывает, что строго вертикальная забивка свай зависит от правильной организации сваебойных работ. Площадка под сваебойную установку должна быть ровной, а направляющая стрела установки при погружении каждой сваи-опоры — строго вертикальной. С одной точки расположения сваебойной установки следует погружать не более одной-двух свай-опор. Такой порядок несколько снижает производительность строительных работ, но повышает качество их выполнения, исключая нарушение параллельности осей свай.

Сваи-опоры конструкции инж. Ю.М. Онзула имеют свои достоинства и недостатки. К основным достоинствам относятся: особенно высокая степень компактности конструкции. Сваи являются одновременно опорами под инженерные сети и их фундаментами;

экономичность свай-опор по сравнению с железобетонными колоннами прямоугольного сечения, сооруженными на монолитных железобетонных фундаментах. Снижение капитальных затрат в зависимости от высоты прокладки инженерных сетей, нагрузок, передаваемых на опоры, и грунтовых условий объекта строительства достигает 50...70%;

снижение сроков изготовления и сооружения строительных конструкций инженерных сетей на 50...70%;

отказ от применения бетона, то есть от мокрых процессов ведения строительных работ;

глубоко погруженные в грунт сваи-опоры обеспечивают сохранность эстакад инженерных сетей при образовании течи в более мелко рядом расположенных сетях, и связанном с этим размыве грунтов. Для обеспечения бесперебойного действия отдельного предприятия, промышленного района или города в целом значение бесперебойного действия инженерных сетей трудно переоценить;

сваи-опоры не дефицитны.

К недостаткам свай-опор следует отнести:

ограниченность их применения. Они неприменимы в грунтах, изобилующих валунами. Их нельзя также применять при больших горизонтальных нагрузках, передаваемых на опоры.

Практически их использование отпадает при малом объеме работ, если на площадке строительства не производится других свайных работ и отсутствуют действующие сваебойные установки на ближних участках;

забивка свай-опор вызывает некоторое сотрясение грунтов, которое может отрицательно сказаться на сохранности близко

расположенных зданий, сооружений и подземно проложенных инженерных сетей.

Во избежание последнего принимают разные предохранительные меры, к которым, в частности, относится предварительная раскопка существующих инженерных сетей, расположенных в рабочей зоне, с подвешиванием их на время производства сваябойных работ. Иногда предварительно бурят скважины диаметром, меньшим поперечного сечения свай-опор, в точках их забивка на глубину, превышающую глубину заложения низа существующих сетей и фундаментов зданий. Применяют также способ погружения свай-опор более или менее сильными ударами. Все эти способы существенно снижают вибрацию существующих сетей и строительных конструкций. Из практики известно множество случаев, когда одиночные сваи успешно забивали на расстоянии 1,5...2 м от существующих зданий, имеющих бутобетонные ленточные фундаменты, сооруженные на торфянистых грунтах, а также от существующих инженерных сетей разного рода без какого-либо повреждения зданий и сетей. Во всех этих случаях забивку свай вели с уменьшенной силой ударов. В то же время известны случаи дорогостоящих повреждений зданий, сооружений и инженерных сетей при кустовой забивке свай, о чем предупреждает существующая техническая литература. Этот важный вопрос производства строительных работ, по-видимому, заслуживает дальнейших исследований практического и теоретического характера. В любом случае сотрясение грунтов при забивке заметно ограничивает применение свай-опор.

Суммируя изложенные выше достоинства и недостатки, присущие сваям-опорам конструкции Ю.М. Онзула, можно сделать вывод, что они прошли долговременную практическую проверку и могут быть рекомендованы к применению во всех подходящих случаях.

**Железобетонные центрифугированные стойки (колонны) кольцевого сечения.** Рабочие чертежи этих стоек разработаны следующими сериями:

серия 1.400-14 "Железобетонные центрифугированные стойки кольцевого сечения", созданная Проектным институтом № 1 Госстроя СССР с участием НИИЖБа и Белорусского политехнического института в 1978 г.;

серия 1.423-6Б "Железобетонные центрифугированные колонны одноэтажных промышленных зданий без мостовых кранов", созданная проектным институтом "Белпромпроект" и Белорусским политехническим институтом с участием Минпромстроя БССР, ПИ-1 Госстроя СССР и НИИЖБа Госстроя СССР в 1982 г.

Серия 1.400-14 состоит из трех выпусков (альбомов), в которых содержатся номенклатура стоек, рабочие чертежи стоек и материалы для подбора арматурных изделий. Серией

запроектированы железобетонные стойки следующих размеров: наружный диаметр стоек 300; 400; 500; 600; 700; 800; 1000 мм; длина 3,6...19,2 м. Их изготавливают из тяжелого бетона класса В25...В60 без предварительного напряжения арматуры. Стойки армированы пространственными каркасами, состоящими из продольной рабочей арматуры диаметром 10...20 мм и поперечной арматуры, изготовленной в виде спирали из проволоки диаметром 4 и 5 мм, привариваемой к рабочей арматуре. В верхней части стоек предусмотрены закладные изделия в виде колец из полосовой стали, предназначенные для крепления опирающихся на стойку строительных конструкций: траверс или балок. Кольца оголовков стоек должны быть покрыты листовой сталью, чтобы исключить попадание дождя и снега во внутреннюю полость стойки.

Серией 1.400-14 разработаны рабочие чертежи стоек, опалубочные размеры которых приведены в табл. 5.1.

Разработанные серией рабочие чертежи предназначены для производства железобетонных центрифугированных стоек кольцевого сечения на специализированных заводах, имеющих стенды, оборудованные ременными или роликовыми центрифугами. Стойки не имеют монтажных петель. Для подъема, погрузки и выгрузки стоек используют специальные траверсы, не допускающие повреждения стоек.

Серия 1.423-6Б состоит из трех выпусков (альбомов), которые содержат материалы для проектирования, рабочие чертежи стоек (колонн), арматурных, закладных и соединительных изделий. Серией запроектированы стойки следующих размеров: наружный диаметр — 500 и 600 мм; длина — 6,2...10,5 м.

Все железобетонные стойки кольцевого сечения, разработанные серией 1.423-6Б, уже давно изготавливаются Оршанским комбинатом железобетонных изделий и конструкций (БССР) и хорошо освоены в строительстве и эксплуатации. Они лишены почти всех недостатков, первоначально допущенных при проектировании и производстве. Вся номенклатура стоек, входящих в серию 1.400-14, в производстве еще не освоена, и их недостатки пока еще не вскрыты. Существует, например, мнение, что длинные стойки с наружным диаметром 300 мм в существующих условиях вообще невозможно изготовить. Между тем для совмещенной прокладки инженерных сетей по наземным эстакадам стойки именно этого диаметра были бы весьма полезны.

Железобетонные центрифугированные стойки кольцевого сечения обладают многими важными достоинствами:

в этих стойках по сравнению с традиционными полнотелыми колоннами прямоугольного сечения расход бетона снижен на 35...50%, стали — на 15...30%; цемента — на 15...30%; щебня — на 35...50%;

Эскиз	Наружный диаметр D, мм	Толщина стенки В, мм	Длина стойки L, м		Размеры оголовка	
			минимальная	максимальная	высота h, мм	толщина стенки В <sub>1</sub> , мм
	300	50; 60	6	6	100	100
	400	50; 60; 70; 80	3,6	9,6	125	125
	500	—	12,6	12,6	175	175
	600	60; 70; 80; 100	4,2	15,6	225	225
	700	—	4,8	17,4	250	250
	800	60; 70; 80; 100; 120	5,4	19,2	300	300
	1000	80; 100; 120	6	19,2	600	375

уменьшаются трудозатраты по изготовлению стоек на 10%, масса — в 2 раза, парк опалубочных металлических форм — в 3...5 раз;

центрифугированный способ формирования повышает прочность бетона стоек по сравнению с вибрационной технологией в 1,2...1,6 раза. Это приводит кроме экономии материалов еще и к увеличению срока службы центрифугированных стоек;

стойки кольцевого сечения воспринимают горизонтальные нагрузки лучше, чем традиционные полнотельные железобетонные колонны прямоугольного сечения, поскольку момент сопротивления поперечного сечения пустотелой стойки гораздо больше при одинаковом расходе бетона в обоих вариантах. Это качество центрифугированных стоек очень ценно для отдельно стоящих опор и опор наземных эстакад, предназначенных для совмещенной прокладки инженерных сетей;

гладкие центрифугированные стойки эстетически явно выигрывают по сравнению с железобетонными колоннами прямоугольного сечения, имеющими более шероховатые поверхности, каверны, местами отбитые грани с обнаженной арматурой. Это обстоятельство способствует улучшению архитектурного совмещения отдельно стоящих опор и наземных эстакад с архитектурным ансамблем местности.

К недостаткам железобетонных опор кольцевого сечения следует отнести только то, что они являются дефицитными в большинстве экономических районов страны.

Железобетонные центрифугированные стойки кольцевого сечения выигрывают по всем показателям по сравнению с полнотельными железобетонными колоннами прямоугольного сечения при сооружении отдельно стоящих опор или опор наземных эстакад для совмещенной прокладки инженерных сетей. Вопрос их широкого внедрения в стране зависит только от возможностей скорейшего освоения производства этих стоек во всех экономических районах страны. Центрифугированные стойки кольцевого сечения призваны полностью заменить в настоящее время широко распространенные полнотельные колонны прямоугольного сечения. Поэтому ожидается, что в перспективе производство и использование последних для строительства наземных инженерных сетей полностью прекратится.

Следует еще отметить некоторые особенности опор, сооружаемых из железобетонных центрифугированных стоек.

Арматурный каркас центрифугированных стоек изготавливают из стержней круглого сечения диаметром 10...20 мм. На них по спирали намотана и приварена к стержням проволока диаметром от 4 до 5 мм. Такая конструкция арматурного каркаса по сравнению с каркасом железобетонных колонн прямоугольного сечения, где каждый поперечный элемент

изготавливают и размещают на стержнях каркаса отдельно, позволяет более глубоко механизировать поток изготовления и сварки каркаса, а также улучшить его качество.

При проектировании и строительстве опор из железобетонных центрифугированных стоек кольцевого сечения необходимо принять все возможные меры для предупреждения попадания воды во внутреннюю полость стойки. Известны случаи, когда вода заморзала, разрушала стойки и приводила к демонтажу всего сооружения. Поэтому при изготовлении, хранении и монтаже стоек все отверстия в них должны быть надежно закрыты. При установке стоек в местностях, временно затопляемых осенне-весенними паводками, в нижней части стоек необходимо предусмотреть специальное отверстие для организованного и, по возможности, быстрого входа-выхода воды из внутренней полости стоек. Эти отверстия должны быть обсыпаны щебнем, крупнозернистым гравием и песком.

Центрифугированные стойки предъявляют повышенные требования к подъемно-транспортным механизмам, осуществлению их погрузки, выгрузки, транспортирования, хранения, а также к качеству выполнения строительно-монтажных работ. Эти требования приведены в альбомах серии 1.400-14 и в специальной технической литературе.

**Фундаменты.** Фундаменты отдельно стоящих опор и опор балочных эстакад, предназначенных для наземной совмещенной прокладки инженерных сетей, должны быть, по возможности, надежными и дешевыми. Стоимость фундамента опоры, зависящая в основном от материальных и трудовых затрат на его сооружение, определяется просто. На практике экономическую эффективность строительных конструкций, в том числе и фундаментов опор, как правило, определяют капитальные затраты. Вопрос надежности, к сожалению, при этом обычно не рассматривается, хотя он имеет существенное значение для любой конструкции, а для фундаментов опор под инженерные сети особенно. Известно, что выход из строя отдельного производственного корпуса на заводе или предприятия в промузле влечет за собой менее тяжелые последствия, чем выход из строя эстакады магистральных совмещенных инженерных сетей, обслуживающих этот промузел по тупиковой (некольцевой) схеме. Аварию же эстакады может вызвать провал одного-единственного фундамента ее опоры вследствие подмыва грунта, в результате повреждения и течи из расположенных рядом водопровода, канализации, тепловых сетей или сетей горячего водоснабжения (это, конечно, может произойти и в случаях бессвайного фундамента и расположения низа фундамента выше расположения упомянутых трубопроводных сетей).

Если сравнить ранее рассмотренные конструкции фундаментов отдельно стоящих опор и опор балочных эстакад, со-

оружаемых для совмещенной прокладки инженерных сетей, с точки зрения капитальных затрат и степени надежности действия строительных конструкций и инженерных сетей, то можно сделать следующие выводы:

сваи-опоры фундаментов, как таковых, вообще не имеют. Погруженная в грунт часть сваи одновременно является как бы фундаментом. Капитальные затраты в этом случае минимальны, а степень надежности действия строительных конструкций и инженерных сетей — максимальная;

сооружение бессвайных монолитных железобетонных фундаментов под железобетонные колонны прямоугольного сечения или центрифугированные стойки кольцевого сечения требует значительных капитальных затрат. Однако степень живучести строительных конструкций и инженерных сетей можно признать обеспеченной только в том случае, если подземные трубопроводные сети, течь из которых при их повреждении может размывать грунт под фундаментами опор, расположены на безопасном расстоянии, а также если не ожидается глубокой раскопки грунта для строительства или ремонта зданий и сооружений поблизости от трассы эстакады инженерных сетей. Если же возможность опасного размыва или раскопки грунта реальна, то степень живучести строительных конструкций и инженерных сетей снижается;

капитальные затраты на сооружение монолитных железобетонных фундаментов на сваях под колонны и стойки разного типа по сравнению с бессвайными фундаментами возрастают на 5...20%. Но, отнесенное к общей стоимости эстакад и инженерных сетей, это увеличение не превышает 2...3%, зато степень живучести строительных конструкций и инженерных сетей становится максимальной.

### 5.3. ПРОДОЛЬНЫЕ БАЛКИ И СТАЛЬНЫЕ ПРОЛЕТНЫЕ СТРОЕНИЯ

Если на каком-то участке совмещенной прокладки инженерных сетей наземно прокладывают только трубопроводы большого диаметра, продольные балки не нужны. Такие трубопроводы обладают достаточной самонесущей способностью, позволяющей расставить опоры с большим шагом. В этих случаях между опорами могут быть свободно размещены дороги, проезды, трамвайные, железнодорожные пути и др. Однако, если при совмещенной прокладке хотя бы части трубопроводов имеют небольшие диаметры, допустимый шаг их опирания становится коротким. Увеличение шага расстановки опор влечет за собой необходимость применения продольных балок. Прокладка кабелей с учетом весьма короткого шага их опирания во всех случаях требует наличия балок.

В настоящее время в строительстве применяют типовые сборные железобетонные, а также стальные балки разного типа. Существующие руководящие указания требуют во всех возможных и экономически оправданных случаях применения железобетонных балок. Это объясняется необходимостью экономии дефицитного металла, а также несколько увеличенной долговечностью железобетонных балок, особенно в условиях воздействия агрессивных сред.

Типовые сборные железобетонные предварительно напряженные решетчатые балки пролетом 12 и 18 м для эстакад совмещенной прокладки инженерных сетей изготавливают специализированные заводы железобетонных изделий и конструкций по серии 3.015-2/82 (рис. 5.6, а, б). В серии разработаны рабочие чертежи для производства следующих балок:

железобетонных предварительно напряженных решетчатых балок пролетом 12 м (рис. 5.6, а) в 99 вариантах, рассчитанных на нормативные вертикальные нагрузки от инженерных сетей 2,45...19,62 кН на 1 м погонной длины эстакады. Высота балок  $h = 0,4...0,7$  м, ширина  $b = 0,2$  м. Расход бетона 1,25 м<sup>3</sup>/шт., стали — 240,1...274,1 кг/шт.; масса — 3,1 т/шт.;

железобетонных предварительно напряженных решетчатых балок пролетом 18 м (рис. 5.6, б) в 60 вариантах, рассчитанных на нормативные вертикальные нагрузки от инженерных сетей 2,45...19,62 кН на 1 м погонной длины эстакады. Высота балок в их середине — 1,4 м (разрез Б-Б), концах  $h = 0,7$  м, ширина  $b = 0,2$  м. Расход бетона — 2,63 м<sup>3</sup>/шт., стали — более 280 кг/шт., масса — 6,58 т/шт.;

железобетонных предварительно напряженных сплошностенчатых со сплошной стенкой двутаврового сечения пролетом 12 м (рис. 5.6, в) в 45 вариантах, рассчитанных на нормативные вертикальные нагрузки от инженерных сетей 2,45...19,62 кН на 1 м погонной длины эстакады. Высота балок  $h = 0,89$  м, ширина  $b = 0,28$  м. Расход бетона — 1,8 м<sup>3</sup>/шт., стали — 182,7...290,3 кг/шт., масса — 4,5 т/шт.

Прогиб продольных железобетонных балок составляет не более 1/200 пролета, то есть для балок длиной 12 м —  $e \leq 60$  мм, а для балок длиной 18 м —  $e \leq 90$  мм. Эстакады инженерных сетей обычно сооружают, устанавливая в пролете по две балки параллельно друг другу.

Изготовление железобетонных балок пролетом 12 м широко освоено, в то время как балки пролетом 18 м изготавливают не в каждом экономическом районе страны и поэтому применение их ограничено. Железобетонные балки, изготавливаемые по серии 3.015-2/82, предназначены для объектов, сооружаемых в сейсмических районах с расчетной температурой воздуха не ниже  $-55^{\circ}\text{C}$  при нормативном скоростном напоре ветра до 0,54 кН/м<sup>2</sup>.

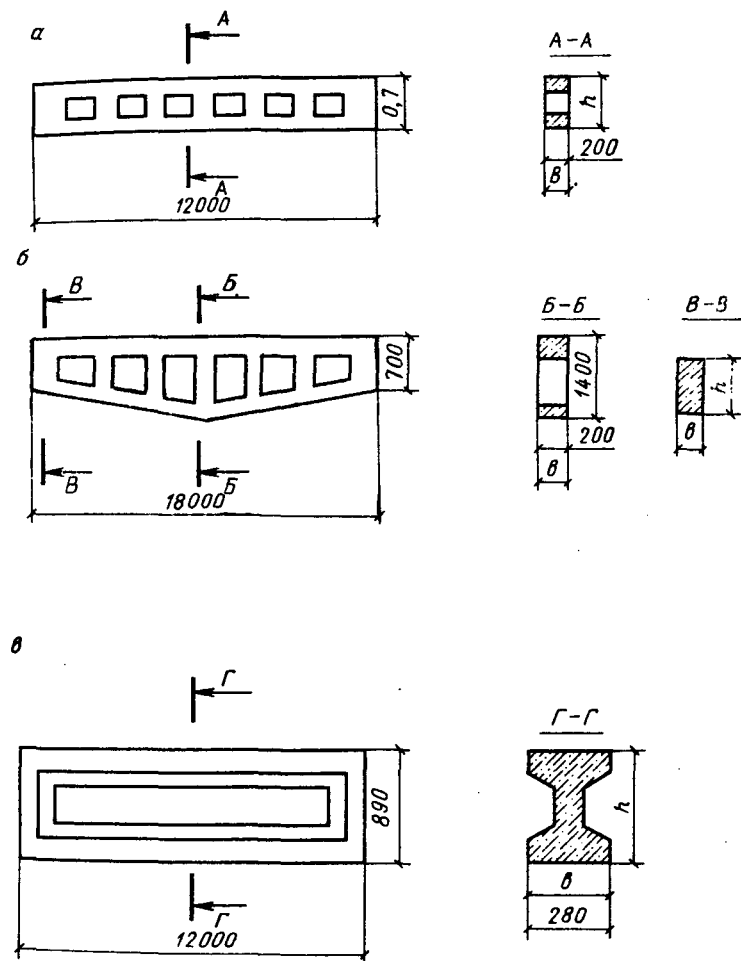


Рис. 5.6. Железобетонные предварительно напряженные балки  
а — решетчатая пролетом 11,95 м; б — решетчатая пролетом 17,95 м;  
в — сплошностенчатая двутаврового сечения пролетом 11,96 м

Кроме железобетонных балок выпуском III серии 3.015-2/82, разработанным в 1983 г. институтом "ЦНИИПроектстальконструкция", представлены еще и рабочие чертежи стальных пролетных строений эстакад, состоящих из двух вертикальных ферм пролетом 12 и 18 м. Обе фермы соединяются между собой связями, расположенными по верхнему поясу, и вертикаль-

ными связевыми рамами. Высота вертикальных ферм пролетом 12 м — 1,2 м, а ферм пролетом 18 м — 1,8 м.

Однако в строительстве эти пролетные строения неудобны. Они допускают прокладку инженерных сетей только по верхнему поясу конструкции. Поскольку точки опирания ферм расположены под верхними поясами, требуется применение более высоких колонн или стоек, а инженерные сети располагаются на более высоких отметках от поверхности земли. Этим снижается экономическая эффективность рассмотренного типа ферм.

Типовые проекты для изготовления железобетонных балок пролетом более 18 м, предназначенных для прокладки инженерных сетей, в настоящее время отсутствуют. Это, по-видимому, закономерно. Учитывая большую собственную массу железобетона, предполагается, что он является экономически неэффективным материалом для балок большого пролета при относительно небольших вертикальных нагрузках, создаваемых инженерными сетями. Однако практика показала, что при осуществлении совмещенной наземной прокладки инженерных сетей систематически возникает необходимость в пролетных строениях пролетом более 12 и 18 м. В таких условиях "Латгипропром", систематически занимающийся с 1962 года проектированием совмещенной прокладки инженерных сетей, первоначально в каждом отдельном случае разрабатывал индивидуальные проекты соответствующих стальных пролетных строений. Разработка таких проектов поручалась специализированной проектной организации — Латвийскому отделу ГПИ "Ленпроектстальконструкция" (ЛО ЛенПСК) по субподряду. Такой порядок несмотря на хорошее качество проектов приводил к определенным затруднениям. Подготовка заданий, выдача заказов, заключение договоров, непосредственно разработка индивидуальных проектов занимали много времени. Иногда сжатые сроки разработки индивидуальных проектов приводили к принятию недостаточно экономичных и эстетичных решений. Эти обстоятельства определили производственную необходимость в создании Латвийских республиканских серий стальных пролетных строений пролетом более 12 м, которые по заказу Госстроя Латвийской ССР были разработаны в 1983, 1984 и 1985 гг. "Латгипропром" и ЛО ЛенПСК.

*Латвийская республиканская серия ЛРС-01-83 "Стальные пролетные строения пролетом 18, 24, 30, 36 м для наземной прокладки инженерных сетей с применением сортамента металлпроката, действующего на территории Латвийской ССР"* — чертежи КМ. Разработана в 1983 г. Пролетные строения предназначены для наземной прокладки инженерных сетей с нормативной вертикальной нагрузкой от них 1,47...14,72 кН/м

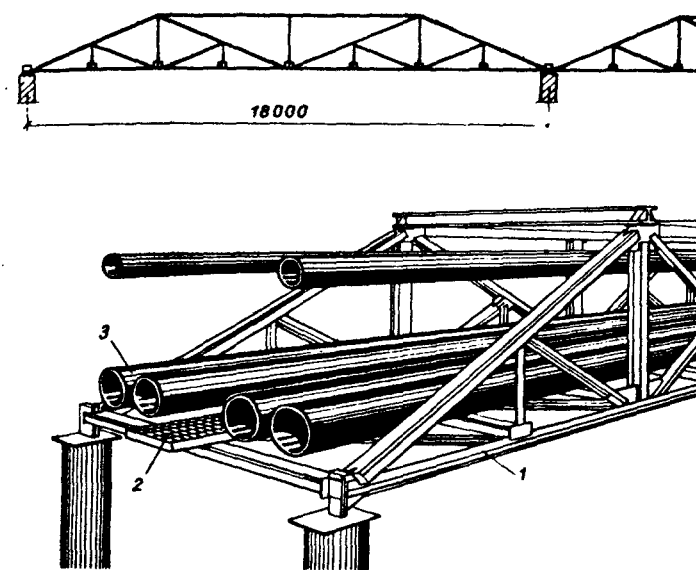


Рис. 5.7. Стальное пролетное строение пролетом 18, 24, 30, 36 м для наземной прокладки инженерных сетей с применением сортамента металлпроката, действующего на территории Латвийской ССР  
1 — пролетное строение; 2 — проходная дорожка; 3 — трубопроводные сети

над шоссевыми и железными дорогами, проездами, каналами, реками, оврагами, разными зданиями и сооружениями. Конструкция пролетных строений предусматривает опирание трубопроводных сетей со скользящими опорами на траверсы, размещенные над нижними поясами ферм, а также подвешивание части сетей с вертикальной нагрузкой, не превышающей 50% общей, к узлам верхних поясов ферм (рис. 5.7). Ширина пролетных строений: свободное пространство между внутренними гранями элементов ферм — 2 и 3 м, расстояние между наружными гранями ферм — 2,6 и 3,6 м соответственно. Ширина может быть принята проектом в зависимости от условий привязки чертежей серии к конкретному объекту. Размещение трубопроводных сетей возможно также по наружным сторонам ферм. Для этого необходимо соответственно увеличить длину траверс, располагаемых над нижними поясами ферм, что разрабатывается индивидуально для каждого конкретного проекта.

Высота пролетных строений: свободное пространство между внутренними гранями элементов ферм — 2 м для пролетных

строений пролетом 18 и 24 м; 2,8 м — для пролетных строений пролетом 30 и 36 м; расстояние между наружными гранями ферм — 2,7 и 3,6 м соответственно.

Пролетные строения собираются на месте монтажа из ферм, связей и траверс заводского изготовления. Фермы изготавливают из экономически эффективных гнutosварных профилей и стали марок, обеспечивающих экономию металла до 25%.

Пролетные строения, изготовленные по серии ЛРС-01-83, допускают блочный монтаж этих строений и трубопроводных сетей.

Рабочие чертежи серии разработаны для климатического района II<sub>в</sub> (ГОСТ 16350—80), соответствующего территории Латвийской ССР. Серия предназначена для снеговых районов III, II и I, совпадающих с ветровыми районами 1, II и III, 1У соответственно, в сейсмичной зоне строительства. Они пригодны как для территории Латвийской ССР, так и для других районов СССР с аналогичными климатическими условиями.

Инженерные сети размещают на конструкции пролетных строений с симметричным расположением вертикальных нагрузок по отношению к оси наземной эстакады. Однако рабочие чертежи серии разработаны с учетом возможности смещения оси суммарных вертикальных нагрузок от оси пролетного строения в плане на 0,5 м при ширине пролетного строения 2 м и на 0,75 м при ширине 3 м.

Конструкции пролетных строений рассчитаны на горизонтальные осевые нагрузки, создаваемые инженерными сетями и составляющие 30% вертикальных. Горизонтальные боковые нагрузки на участках конструкции, расположенных до 6 м от опор пролетных строений, приняты равными горизонтальной осевой нагрузке. Инженерные сети в пролете могут опираться на скользящие, катковые или подвесные опоры. Расположение неподвижных опор в пролетах не допускается. Они должны быть размещены либо вне пролетных строений, либо на их концах. Допустимый шаг расстановки опор инженерных сетей или их опорных конструкций составляет 3 или 6 м.

Пролетные строения рассчитаны на сооружение продольных проходных дорожек шириной 0,6 м, облегчающих строительство, ремонт и обслуживание инженерных сетей. Они рассчитаны также на установку не более четырех ограждающих щитов и защитных настилов соответствующей длины, необходимых при пересечении путей электрифицированного транспорта. Максимальная высота расположения низа конструкций пролетных строений над уровнем земли составляет 10,2 м.

Рабочие чертежи пролетных строений настоящей серии разработаны в 80 вариантах. Столь широкая шкала позволяет при привязке чертежей серии к конкретному объекту достичь высокой экономии использования металла.

Технико-экономические показатели стальных пролетных строений серии ЛРС-01-83 определяются следующим:

экономией стали по сравнению с типовыми стальными пролетными строениями серии 3.015-2/82 за счет применения эффективных гнutosварных профилей и стали прогрессивных марок — до 25%;

снижением стоимости и трудовых затрат (в том же сравнении) при изготовлении пролетных строений — до 30%;

снижением стоимости проектирования и трудовых затрат (в том же сравнении) — до 80%;

резким сокращением сроков проектирования стальных пролетных строений для пролетов, охваченных сериями. Привязку рабочих чертежей серии для конкретного объекта практически выполняют за несколько дней, в то же время как разработка индивидуального проекта пролетного строения с учетом выдачи необходимых заданий и заказов, подготовки и заключения договоров требует многих месяцев;

унификацией и упрощением изготовления и монтажа металлоконструкций;

повышением качества пролетных строений за счет индустриализации их изготовления;

расходом сталепроката на одно пролетное строение — 4...12 т/шт. или 0,25...0,31 т на 1 м погонной длины пролетного строения в зависимости от вертикальных нагрузок, создаваемых инженерными сетями, а также от длины пролета.

*Латвийская республиканская серия ЛРС-02-84 "Стальные пролетные строения пролетом 18; 24; 30; 36 м для наземной прокладки инженерных сетей с применением ферм типа "Молодечно".* Разработана в 1984 г. Задачи, условия и цели разработки серии ЛРС-02-84 такие же, как для рассмотренной выше серии ЛРС-01-83. Некоторые особенности заключаются в следующем:

пролетные строения, изготовленные по серии ЛРС-02-84, позволяют прокладывать инженерные сети в двух ярусах. Сети возможно опирать на траверсы нижнего или верхнего яруса, либо подвешивать к траверсам верхнего яруса (рис. 5.8), что существенно упрощает их строительство, ремонт и обслуживание;

проходные дорожки пролетных строений серии ЛРС-02-84 могут быть сооружены на любом ярусе;

конструкции пролетных строений серии ЛРС-02-84 разработаны с использованием типовых ферм типа "Молодечно", изготавливаемых из экономически эффективных замкнутых гнutosварных профилей, производимых по рабочим чертежам серии 1.460.3-14;

стальные пролетные строения серии ЛРС-02-84 собирают из ферм типа "Молодечно" централизованной поставки и от-



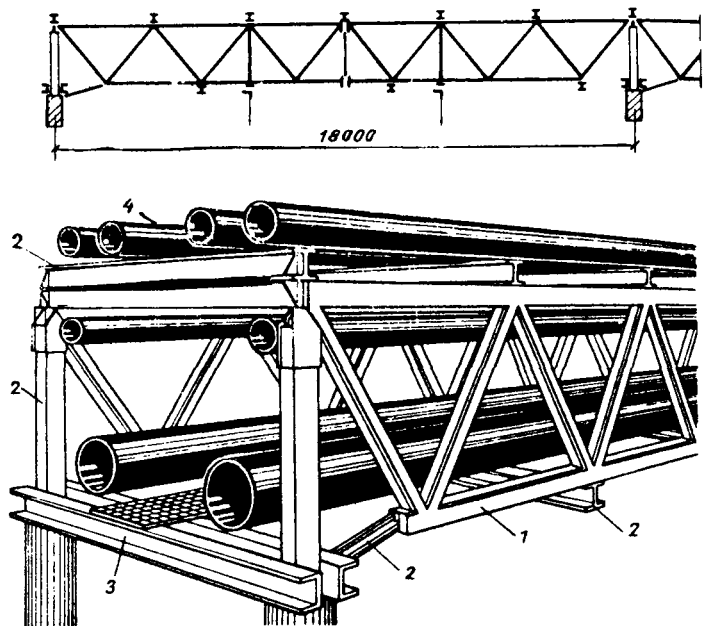


Рис. 5.8. Стальное пролетное строение пролетом 18, 24, 30, 36 м для наземной прокладки инженерных сетей с применением ферм типа "Молодечно"  
 1 — ферма типа "Молодечно"; 2 — дополнительные элементы: стойки, траверсы, подкосы; 3 — проходная дорожка; 4 — трубопроводные сети

дельных элементов местного изготовления. Это значительно упрощает и удешевляет сборку пролетных строений, но ставит работы в зависимость от возможностей и сроков централизованной поставки ферм.

Латвийская республиканская серия ЛРС-03-85 "Стальные пролетные строения пролетом 15; 18; 21; 24 м для наземной прокладки инженерных сетей с применением сварных двутавров". Разработана в 1985 г. Задачи и цели разработки серии ЛРС-03-85 такие же, как рассмотренных выше серий ЛРС-01-83 и ЛРС-02-84. Серия предназначена для более коротких пролетов и для трубопроводных сетей меньших диаметров и предлагает три типа балочных конструкций (рис. 5.9, табл. 5.2).

Пролетные строения балочной конструкции рассчитаны на создаваемые инженерными сетями горизонтальные осевые

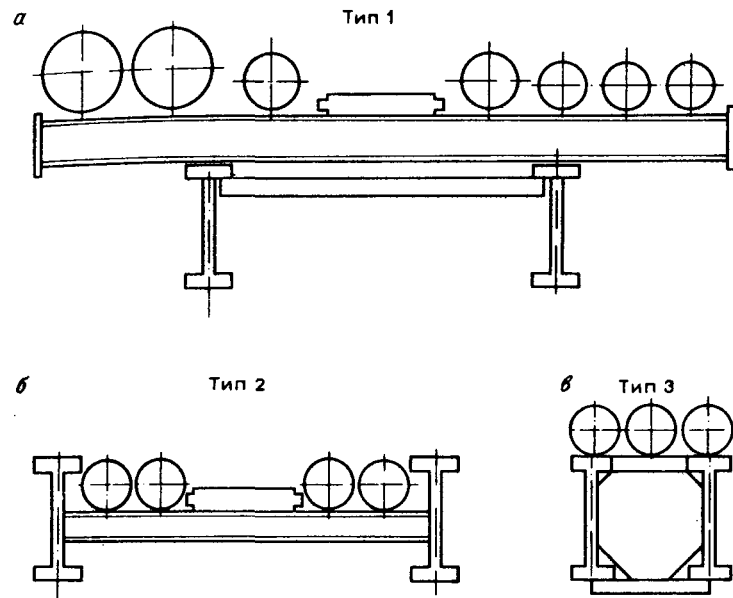


Рис. 5.9. Стальные пролетные строения пролетом 15, 18, 21, 24 м для наземной прокладки инженерных сетей с применением сварных двутавров  
 а, б, в — соответственно тип 1, 2, 3

нагрузки, составляющие 30% вертикальных. Горизонтальные боковые нагрузки учтены только для пролетных строений типа 1, при условии, что они действуют только на участке 6 м у одной из опор пролетного строения.

Рабочими чертежами настоящей серии разработаны 186 вариантов пролетных строений. Столь широкая шкала позволяет выбрать оптимальный вариант пролетного строения для каждого конкретного случая и достичь высокой экономии использования металла.

Каждый из трех типов пролетного строения имеет свои особенности.

Балочные конструкции типа 1 предназначены для использования при относительно больших вертикальных нагрузках, больших и меньших диаметрах трубопроводов, а также при прокладке кабелей. Кабели наиболее удобно размещать по наружным боковым стенкам балок. Конструкция допускает прокладку как обычных, так и взаиморезервируемых кабелей. Серией предусмотрена возможность прокладки посередине

## 5.2. Номенклатура стальных пролетных строений балочной конструкции серии ЛРС-03-85

Тип пролетного строения	Шаг траверс, м	Дли-траверс, м	Нормативная вертикальная нагрузка от инженерных сетей на 1 м погонной длины пролетного строения, кН/м	Допустимый эксцентриситет вертикальной нагрузки, м	Длина пролета, м
1	3; 6	2,5	5,9; 7,8	0,625	15; 18;
		3	7,8; 9,8; 11,8	0,75	21; 24
		3,5	9,8; 11,8	0,75	15; 18; 21
		4	9,8; 11,8; 13,7; 15,8	0,75	15; 18
2	3	2	2,0; 3,9; 5,9	0,5	15; 18;
		1,5	2,0	0,35	21; 24
		1,2	2,0	0,3	
3	3	0,9	1,2	0,22	15

балочной конструкции проходной дорожки шириной 0,6 м для облегчения строительства, ремонта и обслуживания сетей. При отсутствии необходимости в дорожке на ее месте могут быть расположены инженерные сети. Балочная конструкция предусматривает возможность установки боковых ограждающих щитов и защитных настилов в случаях пересечения пролетными строениями путей электрифицированного транспорта. В серии приведены их рабочие чертежи.

Конструкция пролетных строений типа 1 допускает крепление сплошных боковых щитов архитектурного назначения высотой до 0,7 м. В каждом конкретном случае их выполняют по индивидуальным проектам. Щиты архитектурного назначения должны устанавливаться только по требованию службы главного архитектора города для придания пролетному строению и конструкциям инженерных сетей определенного архитектурного вида или цветовой гаммы.

Рабочими чертежами серии ЛРС-03-85 разработаны прогрессивные конструкции — тонкостенные балки без ребер жесткости, что дает до 10% экономии стали по сравнению с традиционными решениями.

Пролетные строения типа 1 компонуют из блоков полной заводской готовности и траверс. Блоки состоят из двух сварных двутавров, соединенных между собой горизонтальными связями и диафрагмами, и стыкуются на высокопрочных болтах. Траверсы устанавливают на пролетные строения с шагом 3 или 6 м и крепят на сварке.

Чертежами серии предусмотрен строительный подъем в средней части пролетного строения, равный его прогибу при полной нормативной нагрузке. Для создания уклонов трубопроводов (если это необходимо) пролетные строения устанавливают на разновысоких опорах.

Пролетные строения типа 1 изготавливают специализированные заводы местных строительных организаций. Конструкции настоящей серии допускают их блочный монтаж вместе с трубопроводными сетями. Пролетные строения серии ЛРС-03-85 пригодны для территории Латвийской ССР, а также для других районов СССР с аналогичными климатическими условиями.

Балочные конструкции типа 2 предназначены для прокладки небольшого числа трубопроводов малого диаметра, а также разных кабелей, скрывааемых за конструкциями продольных балок. Подобные требования иногда предъявляют службы главных архитекторов городов.

Пролетные строения типа 2 компонуют из блоков полной заводской готовности, состоящих из двух сварных двутавров, соединенных горизонтальными связями. Траверсы опущены ниже уровня верхнего пояса блоков и вместе с ребрами жесткости конструкции образуют диафрагмы, обеспечивающие устойчивость верхних и нижних поясов сварных двутавров. Блоки стыкуют на высокопрочных болтах.

Балочные конструкции типа 3 предназначены для прокладки 2...3 трубопроводов малого диаметра или небольшого числа кабелей. Они представляют собой блок полной заводской готовности пролетом 15 м, состоящий из двух сварных балок, соединенных между собой диафрагмами-траверсами с шагом 3 м.

Технико-экономические показатели стальных пролетных строений балочной конструкции серии ЛРС-03-85 определяются следующим:

экономией стали по сравнению с традиционными балочными конструкциями за счет применения тонкостенных балок без ребер жесткости — до 10%;

снижением стоимости конструкций и трудовых затрат (в том же сравнении) при изготовлении пролетных строений — до 20%;

снижением стоимости проектирования и трудовых затрат — до 80%;

резким сокращением сроков проектирования стальных пролетных строений для пролетов, охваченных серией;

унификацией и упрощением изготовления и монтажа металлоконструкций;

повышением качества пролетных строений за счет индустриализации их изготовления;

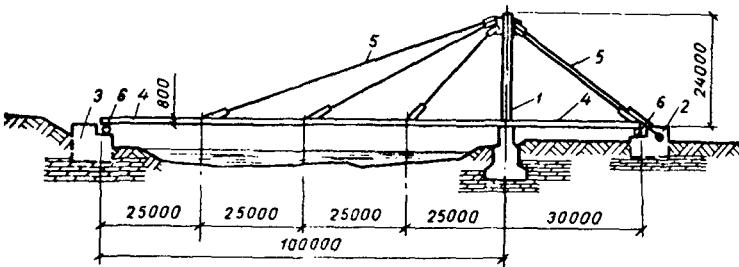


Рис. 5.10. Стальное вантовое пролетное строение  
1 — пилон; 2 — анкерная опора; 3 — концевая опора; 4 — продольная балка жесткости; 5 — ванты; 6 — каток

расходом сталеπροката на одно пролетное строение — 1,6...6,3 т/шт. или 0,1...0,26 т на 1 м погонной длины пролетного строения в зависимости от вертикальных нагрузок, создаваемых инженерными сетями, а также от длины пролета.

Высота балок типа 1:  $h = 0,73$  м для пролета 15 м и  $h = 0,92$  м для пролетов 18; 21; 24 м. Балки типа 2 имеют высоту  $h = 0,52$  и  $0,73$  м для пролета 15 м и  $h = 0,92$  для пролетов 18; 21; 24 м. Высота балок пролетом 15 м типа 3 —  $h = 0,42$  м.

Разработанные серии ЛРС-01-83, ЛРС-02-84 и ЛРС-03-85 дают возможность оценить экономическую эффективность стальных пролетных строений балочной конструкции пролетом до 24 м и конструкций с применением ферм пролетом до 36 м в строительстве совмещенных инженерных сетей. Разработка ряда индивидуальных проектов показала возможность увеличения пролетов до 60...70 м в случаях применения стальных ферм. Однако при сооружении пролетов, длина которых превышает 70 м, появляется необходимость в применении других конструкций. Такими являются стальные вантовые пролетные строения (рис. 5.10). Следует отметить, что пролетные строения вантовой конструкции обладают своеобразным видом и создают необычный силуэт на фоне застройки городов или общего вида местности. Их архитектурная оправданность зависит от обстоятельств и условий, характерных для конкретного района застройки.

Необходимо обратить внимание на разные мнения в вопросах проектирования, строительства и эксплуатации пролетных строений вантовой конструкции в части сооружения продольных балок жесткости. Существуют мнения о целесообразности использования несущей способности прокладываемых по пролетному строению стальных трубопроводных сетей в случаях, если они обладают значительными диаметрами. Возмож-

ность повышения экономической эффективности пролетных строений за счет отказа от сооружения балок жесткости с первого взгляда кажется заманчивой. Однако следует помнить, что нормативный срок действия металлических мостов и других пролетных строений составляет 100 лет, а стальных трубопроводных сетей в зависимости от качества транспортируемых веществ — только 15...30 лет. Следует также учитывать обеспечение возможности ремонта и замены трубопроводных сетей в любое время, что становится невозможным в случаях использования трубопроводов в качестве балок жесткости. Кроме того, использование трубопроводных сетей в качестве балок жесткости существенно увеличивает нагрузки на трубы. И, наконец, при совмещенной прокладке инженерных сетей разные трубопроводы и конструкции пролетных строений имеют весьма разные термические перемещения. При наличии балок жесткости каждый из трубопроводов, проложенный по пролетному строению, может свободно перемещаться в осевом и боковом направлениях. При использовании некоторых трубопроводов в качестве балок жесткости свободное термическое перемещение большинства совмещенно проложенных трубопроводных сетей становится неорганизованным, непредсказуемым и даже невозможным. Надежность действия пролетных строений и инженерных сетей резко снижается. Все это показывает, что прокладываемые трубопроводы никак не могут полноценно заменить балки жесткости.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совмещенная прокладка инженерных сетей представляет несомненно прогрессивную фазу развития их строительства и имеет большое народнохозяйственное значение. Совмещенная прокладка сетей дает возможность:

существенно снизить стоимость строительства, материальные и трудовые ресурсы, расходуемые в процессе сооружения сетей;

повысить надежность действия и долговечность сетей;

облегчить и упростить осмотр, ремонт и замену сетей;

быстро обнаружить утечки и аварии в сетях и ликвидировать их в самые короткие сроки;

повысить уровень технической культуры в проектировании, строительстве и эксплуатации сетей.

Опыт прошлых лет кроме целесообразности и экономической эффективности совмещенной прокладки инженерных сетей доказал возможность ее широкого внедрения в практику. Она просто и легко осуществима при проектировании и строительстве вновь сооружаемых промышленных предприятий, узлов, районов при наличии генеральных заказчиков на эти объекты. Следует, однако, сказать, что при совмещенной прокладке инженерных сетей в уже существующих промышленных узлах и в отдельных районах городов могут иметь место некоторые трудности ведомственного характера, которые выражаются в сложности нахождения генеральных заказчиков, решающих вопросы комплексного финансирования проектирования и строительства. Могут появиться также трудности, связанные с эксплуатацией сооружаемых сетей, предназначенных для многих потребителей района. Однако в большинстве случаев при правильной постановке дела и определенной настойчивости эти трудности на пути развития совмещенной прокладки сетей вполне преодолимы.

Перспективы развития совмещенной прокладки инженерных сетей определяет ряд факторов.

Ожидается рост населения страны и ее дальнейшая урбанизация. Это потребует развития и реконструкции промышленной и жилой застройки городов и соответственно развития инженерных сетей. Учитывая все возрастающее значение надежности действия и долговечности инженерных сетей, можно ожидать развития кольцевания основных сетей в широких масштабах, при наличии двух или более источников потока транспортируемых веществ или энергии. Кольцевание магистральных инженерных сетей местами уже начато и достоинства этого мероприятия в принципе доказаны. Если в системе имеется лишь один источник потока транспортируемых веществ или энергии, то во многих случаях возникает вопрос о целесообразности сооружения двух параллельных тупиковых

взаиморезервируемых или кольцевых сетей. В перспективе этот вопрос необходимо будет решать в зависимости от конкретных условий.

Наименее ясным вопросом перспективы является выбор оптимального способа прокладки совмещенных инженерных сетей. Представляется весьма важным правильно предугадать, какому из применяемых в настоящее время способов будет отдано предпочтение: сооружению проходных каналов и туннелей или наземных непроходных и проходных эстакад. Этот относительно мало изученный вопрос бесспорно заслуживает особого внимания, поскольку он коренным образом влияет на стоимость строительства объекта, простоту и удобства строительства, ремонта и обслуживания сетей, а также на архитектурный и эстетический вид местности. Исходя из последнего фактора несколько сдерживается сооружение наземных эстакад в жилых, административных и центральных районах городов, поскольку считается, что они не эстетично смотрятся в городской среде. Однако эти взгляды с течением времени могут оказаться субъективными, временными, не отвечающими перспективным направлениям развития городов. В истории человечества известно много случаев, когда необходимые перспективные направления в градостроительстве были приняты с большим запозданием, а также случаев, когда критерии застройки городов резко менялись.

Потребность в строительстве протяженных наземных сооружений существовала уже в древности, имеется она и теперь. Для снабжения городов питьевой водой из горных рек древними римлянами возводились каменные акведуки, которые проходили как по нагорной зоне, так и по городской территории, и достигали длины в несколько десятков километров. В разные времена сооружались закрытые и открытые пешеходные галереи, соединяющие между собой здания, сооружения или даже отдельные части города (например, галерея Уффици, во Флоренции, соединяющая дворец Палаццо Веккио с дворцом Палаццо Питти и проходящая через мост реки Арно-Понте Веккио). Интереснейшим наземным сооружением в мировой практике строительства является Великая Китайская стена. В настоящее время в Японии обращено внимание на возведение наземных эстакад под железнодорожные линии, предназначенные для поездов, движущихся на так называемой "Воздушной подушке". Характерно, что для всех подобных сооружений находили приемлемые, порой прекрасные архитектурные формы, гармонирующие с природой и существующей застройкой.

Представляется, что перспективы развития совмещенной прокладки инженерных сетей должны основываться на нетрадиционных для сегодняшнего дня решениях. Одним из возможных вариантов прокладки сетей по наземным строительным конструкциям может быть следующий.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица для гидравлического расчета трубопроводов водяных тепловых сетей при эквивалентной шероховатости труб  $k_3 = 0,5$  мм, температуре воды  $t = 100^\circ\text{C}$ , плотности воды  $\rho = 958,4$  кг/м<sup>3</sup> и кинематической вязкости воды  $\nu = 0,295 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с

$G_i$ т/ч	D <sub>H</sub> x s, мм: 32x2,5		38x2,5		44,5x2,5		45x2,5		57x3,5	
	$v_s$ м/с	$\Delta P_{уд'}$ Па/м	$v_s$ м/с	$\Delta P_{уд'}$ Па/м	$v_s$ м/с	$\Delta P_{уд'}$ Па/м	$v_s$ м/с	$\Delta P_{уд'}$ Па/м	$v_s$ м/с	$\Delta P_{уд'}$ Па/м
0,20	0,1	9,32	-	-	-	-	-	-	-	-
0,22	0,11	11,18	-	-	-	-	-	-	-	-
0,24	0,12	13,24	-	-	-	-	-	-	-	-
0,26	0,13	15,60	-	-	-	-	-	-	-	-
0,28	0,14	17,85	-	-	-	-	-	-	-	-
0,30	0,15	20,40	-	7,06	-	-	-	-	-	-
0,32	0,16	23,25	-	7,95	-	-	-	-	-	-
0,34	0,17	26,59	-	9,03	-	-	-	-	-	-
0,36	0,18	29,14	-	10,1	-	-	-	-	-	-
0,38	0,19	32,37	-	11,28	-	-	-	-	-	-
0,40	0,2	35,81	-	12,36	-	-	-	-	-	-
0,42	0,21	39,24	-	13,44	-	-	-	-	-	-
0,44	0,22	42,97	-	14,91	-	-	-	-	-	-
0,46	0,23	46,6	-	16,28	-	5,79	-	5,4	-	-
0,48	0,24	50,52	-	17,85	-	6,29	-	5,89	-	-
0,50	0,25	54,45	-	19,13	-	6,77	-	6,38	-	-
0,55	0,26	65,33	-	23,05	-	7,46	-	6,87	-	-
0,60	0,3	77,01	-	27,47	-	8,93	-	8,34	-	-
0,65	0,33	80,34	-	31,98	-	10,5	-	9,91	-	-
0,7	0,35	104,97	-	36,98	-	12,46	-	11,58	-	-
0,75	0,38	120,66	-	42,28	-	14,32	-	13,44	-	-
0,8	0,41	137,34	-	47,68	-	16,34	-	15,4	-	-
						18,64	-	17,36	-	-
									0,1	4,32
									0,11	4,91
									0,12	5,59

Все магистральные инженерные сети города в целях достижения максимальной надежности и долговечности закольцовываются. В этом случае отдельные участки сетей при их проверке, очистке, ремонте и замене могут быть отключены без прекращения действия остальных участков сетей кольца. Небольшие ответвления сетей могут быть тупиковыми.

Совмещенно прокладываемые закольцованные инженерные сети следует размещать в закрытых обогреваемых, архитектурно выразительных проходных галереях, сооружаемых по наземным эстакадам. Галереи могут быть скомпонованы с путепроводами, мостами, земляными валами и пр. Поиск оптимального архитектурного вида наземных эстакад обычно выполняют, нанося различные варианты на фотографии местности. Замечено, что горизонтальные конструкции эстакад способны создавать интересные акценты, особенно в совокупности с существующими вертикальными элементами города и местности.

Для решения еще недостаточно изученных вопросов дальнейшего развития и повышения технико-экономической эффективности совмещенной прокладки представляется необходимым:

систематически обобщать опыт проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сетей и широко отражать его в новейшей технической литературе;

пересмотреть систему оплаты проектирования совмещенной прокладки инженерных сетей, учитывая повышенную его трудоемкость, необходимость разработки вариантов инженерной, архитектурной и дизайнерской частей проекта;

вести в программу обучения студентов вузов и техникумов вопросы совмещенной прокладки инженерных сетей;

организовать проработку вопросов, связанных с совмещенной прокладкой инженерных сетей, соответствующими научно-исследовательскими институтами и научно-техническими обществами с привлечением специалистов проектных, строительных и эксплуатационных организаций;

пересмотреть существующие нормативные материалы и требования, относящиеся к совмещенной наземной и подземной прокладке инженерных сетей с учетом накопленного опыта.

Широкое внедрение совмещенной прокладки инженерных сетей внесет свой положительный вклад в повышение производительности труда, качества продукции, благосостояния населения и общего технического уровня страны.

Продолжение прил. 1

G <sub>г</sub> т/4	D <sub>н</sub> xs, мм: 32x2,5		38x2,5		44,5x2,5		45x2,5		57x3,5	
	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м
0,85	0,43	155	0,29	53,46	0,2	20,9	0,20	19,62	0,13	6,38
0,9	0,46	173,64	0,31	59,64	0,21	23,35	0,21	21,78	0,13	7,06
0,95	0,48	193,26	0,32	66,02	0,22	25,9	0,22	24,33	0,14	7,85
1	0,51	214,84	0,34	73,08	0,24	28,55	0,23	26,68	0,15	8,63
1,05	0,53	236,42	0,36	80,54	0,25	31,39	0,24	29,33	0,16	9,52
1,1	0,56	259,97	0,37	88,39	0,26	34,43	0,25	32,27	0,16	10,3
1,15	0,58	283,51	0,39	96,63	0,27	37,47	0,27	35,12	0,17	11,18
1,20	0,61	313,92	0,41	104,97	0,28	40,71	0,28	37,96	0,18	12,16

Продолжение прил. 1

G <sub>г</sub> т/4	D <sub>н</sub> xs, мм: 32x2,5		38x2,5		45x2,5		57x3,5		76x3,5	
	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м
1,25	0,63	335,5	0,42	113,8	0,29	41,2	0,18	13,5	—	—
1,3	0,66	362,97	0,44	123,61	0,3	44,24	0,19	14,13	—	2,65
1,35	0,68	391,42	0,46	133,42	0,31	47,68	0,2	15,21	0,1	2,84
1,4	0,71	420,85	0,47	143,23	0,32	51,11	0,21	16,38	0,11	3,04
1,45	0,73	451,26	0,49	154,02	0,33	54,84	0,21	17,46	0,11	3,24
1,5	0,76	482,65	0,51	164,81	0,35	58,66	0,22	18,74	0,12	3,53
1,55	0,79	516	0,53	175,6	0,36	62,59	0,23	19,82	0,12	3,73
1,6	0,81	549,36	0,54	187,37	0,37	66,71	0,24	20,99	0,12	3,92
1,65	0,84	594,68	0,56	199,14	0,38	70,93	0,24	22,17	0,13	4,22

1,7	0,86	619,99	0,58	210,92	0,39	75,34	0,25	23,54	0,13	4,51
1,75	0,89	657,27	0,59	223,67	0,4	79,85	0,26	24,82	0,14	4,71
1,8	0,91	695,53	0,61	236,42	0,42	84,46	0,27	26,09	0,14	5
1,85	0,94	734,77	0,63	250,16	0,43	89,17	0,27	27,57	0,14	5,20
1,9	0,96	774,99	0,64	263,89	0,44	94,08	0,28	29,04	0,15	5,49
1,95	0,99	816,19	0,66	277,62	0,45	99,08	0,29	30,41	0,15	5,79
2	1,01	858,38	0,68	292,34	0,46	103,99	0,3	31,88	0,16	6,08
2,1	1,06	946,67	0,71	321,77	0,48	114,78	0,31	34,83	0,16	6,67
2,2	1,11	1038,9	0,75	353,16	0,51	126,55	0,33	36,2	0,17	7,36
2,3	—	—	0,78	386,51	0,53	138,32	0,34	41,89	0,18	7,95
2,4	—	—	0,81	420,85	0,55	150,09	0,35	45,52	0,19	8,63
2,5	—	—	0,85	456,17	0,58	162,85	0,37	49,44	0,19	9,42
2,6	—	—	0,88	493,44	0,6	176,58	0,38	53,46	0,2	10,10
2,7	—	—	0,92	532,68	0,62	190,31	0,4	57,68	0,21	10,89
2,8	—	—	0,95	572,9	0,65	204,05	0,41	62	0,22	11,28
2,9	—	—	0,98	614,11	0,67	218,76	0,43	66,51	0,22	12,26
3	—	—	1,02	657,27	0,69	234,46	0,44	71,22	0,23	13,24
3,1	—	—	1,05	702,4	0,72	250,16	0,46	76,03	0,24	14,22
3,2	—	—	1,09	748,5	0,74	266,83	0,47	81,03	0,25	15,01
3,3	—	—	1,12	795,59	0,76	283,51	0,49	86,13	0,26	15,89
3,4	—	—	1,15	844,64	0,78	301,17	0,50	91,43	0,26	16,97

Продолжение прил. 1

G <sub>г</sub> т/4	D <sub>н</sub> xs, мм: 45x2,5		57 x3,5		76x3,5		89x3,5		108x4	
	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м
3,5	0,81	319,81	0,52	96,22	0,27	17,85	0,19	6,97	0,13	2,65
3,6	0,83	337,46	0,53	102,02	0,28	18,84	0,2	7,36	0,13	2,75
3,7	0,85	357,08	0,55	107,91	0,29	19,82	0,2	7,75	0,14	2,84
3,8	0,88	376,7	0,56	113,80	0,29	20,9	0,21	8,14	0,14	3,04
3,9	0,9	396,32	0,58	120,66	0,3	21,78	0,21	8,63	0,14	3,24

Продолжение прил. 1

G <sub>i</sub> T/4	D <sub>H</sub> xs, мм: 45x2,5		57x3,5		76x3,5		89x3,5		108x4	
	V <sub>ρ</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	V <sub>ρ</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	V <sub>ρ</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	V <sub>ρ</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	V <sub>ρ</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м
4	0,92	416,93	0,59	126,55	0,31	22,86	0,22	9,03	0,15	3,34
4,2	0,97	460,09	0,62	139,3	0,33	24,33	0,23	9,91	0,16	3,73
4,4	1,02	504,23	0,65	153,04	0,34	27,57	0,24	10,89	0,16	4,02
4,6	1,06	551,32	0,68	167,75	0,36	30,12	0,25	11,87	0,17	4,41
4,8	1,11	600,37	0,71	182,47	0,37	32,77	0,26	12,95	0,18	4,81
5	1,15	651,38	0,74	198,16	0,39	35,51	0,27	14,03	0,18	5,2
5,2	1,2	705,34	0,77	213,86	0,4	38,46	0,29	15,11	0,19	5,59
5,4	1,25	760,28	0,8	230,54	0,42	41,5	0,3	16,28	0,2	5,98
5,6	1,29	817,17	0,83	252,12	0,43	44,54	0,31	17,46	0,21	6,38
5,8	1,34	877,01	0,86	265,85	0,45	47,77	0,32	18,74	0,21	6,87
6	1,39	938,82	0,89	284,49	0,47	51,21	0,33	20,01	0,22	7,36
6,2	1,43	1001,6	0,92	304,11	0,48	54,64	0,34	21,78	0,23	7,85
6,4	—	—	0,95	323,73	0,5	58,27	0,35	23,25	0,24	8,34
6,6	—	—	0,98	344,33	0,51	61,9	0,36	24,72	0,24	8,83
6,8	—	—	1	365,91	0,53	65,73	0,37	26,29	0,25	9,32
7	—	—	1,03	387,50	0,54	69,65	0,38	27,86	0,26	9,91
7,5	—	—	1,11	445,37	0,58	79,95	0,41	31,98	0,28	11,28
8	—	—	1,18	506,2	0,62	90,94	0,44	36,3	0,3	12,75
8,5	—	—	1,26	571,92	0,66	103,01	0,47	41,01	0,31	14,32
9	—	—	1,33	640,59	0,7	114,78	0,49	46,01	0,33	16,09
9,5	—	—	1,4	714,17	0,74	128,51	0,52	51,21	0,35	17,85
10	—	—	1,48	790,69	0,78	142,25	0,55	56,8	0,37	19,82
10,5	—	—	1,55	872,11	0,81	156,96	0,58	62,59	0,39	21,78
11	—	—	1,63	957,46	0,85	171,68	0,6	68,67	0,41	23,94
11,5	—	—	1,7	1045,7	0,89	188,35	0,63	75,05	0,42	26,19

Продолжение прил. 1

G <sub>i</sub> T/4	D <sub>H</sub> xs, мм: 76x3,5		89x3,5		108x4		133x4		159x4,5	
	V <sub>ρ</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	V <sub>ρ</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	V <sub>ρ</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	V <sub>ρ</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	V <sub>ρ</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м
12	0,93	205,03	0,66	81,72	0,44	28,55	0,28	8,83	0,2	3,53
12,5	0,97	221,71	0,69	88,68	0,46	30,9	0,3	9,61	0,21	3,83
13	1,01	240,35	0,71	95,94	0,48	33,45	0,31	10,4	0,21	4,12
13,5	1,05	258,98	0,74	103,01	0,5	36,1	0,32	11,09	0,22	4,41
14	1,09	278,6	0,77	110,85	0,52	38,85	0,33	11,87	0,23	4,71
14,5	1,12	299,21	0,8	119,68	0,53	41,59	0,34	12,75	0,24	5,4
15	1,16	319,81	0,82	127,53	0,55	44,54	0,35	13,64	0,25	6,08
16	1,24	363,85	0,88	145,19	0,59	50,72	0,38	15,5	0,26	6,77
17	1,32	411,04	0,93	163,83	0,63	57,19	0,4	17,56	0,28	7,55
18	1,4	460,09	0,99	184,43	0,66	64,16	0,43	19,72	0,3	8,34
19	1,47	513,06	1,04	205,03	0,7	71,51	0,45	21,88	0,31	9,32
20	1,55	568,98	1,1	227,59	0,74	79,26	0,47	24,33	0,33	10,2
21	1,63	626,86	1,15	250,16	0,78	87,31	0,5	26,78	0,34	11,18
22	1,71	687,88	1,21	274,68	0,81	95,84	0,52	29,43	0,36	12,26
23	1,78	752,43	1,26	300,19	0,85	104,97	0,54	32,08	0,38	13,34
24	1,86	819,14	1,32	326,67	0,89	113,8	0,57	35,02	0,39	14,42
25	1,94	888,79	1,37	355,12	0,92	123,61	0,59	37,96	0,41	15,7
26	2,02	961,38	1,43	383,57	0,96	133,42	0,62	41,1	0,43	16,87
27	2,09	1035,9	1,48	413,98	1	144,21	0,66	44,24	0,44	18,15
28	—	—	1,54	445,37	1,03	155	0,69	47,58	0,46	19,52
29	—	—	1,59	477,75	1,07	166,77	0,73	51,11	0,48	20,8
30	—	—	1,65	511,1	1,11	178,54	0,76	54,64	0,51	22,27
31	—	—	1,7	545,44	1,15	190,31	0,78	58,37	0,53	23,74
32	—	—	1,76	581,73	1,18	203,07	0,8	62,2	0,54	25,21
33	—	—	1,81	618,03	1,22	215,82	0,83	66,12	0,56	26,78
34	—	—	1,87	656,29	1,26	228,57	0,85	70,24	0,57	28,35
35	—	—	1,92	695,53	1,29	242,31	0,88	74,36	0,59	30,02
36	—	—	1,98	735,75	1,33	257,02	0,9	78,68	0,61	31,69
37	—	—	2,03	776,95	1,37	270,76	0,92	83,19	0,62	33,45
38	—	—	2,09	820,12	1,4	286,45	0,9	87,7	—	—

G <sub>T/4</sub>	D <sub>H</sub> xs, мм: 108x4		133x4		159x4,5		219x6		273x7	
	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м
39	1,44	301,17	0,92	92,41	0,64	35,22	0,34	6,47	0,21	2,16
40	1,48	316,86	0,95	97,22	0,66	37,08	0,35	6,77	0,22	2,26
41	1,51	332,56	0,97	102,02	0,67	38,95	0,35	7,06	0,23	2,35
42	1,55	349,24	0,99	106,93	0,69	40,81	0,36	7,46	0,23	2,45
43	1,59	365,91	1,02	111,83	0,71	42,77	0,37	7,85	0,24	2,55
44	1,63	383,57	1,04	117,72	0,72	44,83	0,38	8,14	0,24	2,65
45	1,66	401,23	1,06	122,63	0,74	46,89	0,39	8,53	0,25	2,84
46	1,7	418,89	1,09	128,51	0,76	48,95	0,4	8,93	0,25	2,94
47	1,74	437,52	1,11	134,4	0,77	51,11	0,41	9,32	0,26	3,04
48	1,77	456,17	1,13	140,28	0,79	53,37	0,41	9,71	0,26	3,14
49	1,81	475,79	1,16	146,17	0,8	55,62	0,42	10,2	0,27	3,34
50	1,85	495,41	1,18	152,06	0,82	57,88	0,43	10,59	0,28	3,43
52	1,92	535,63	1,23	163,83	0,85	62,59	0,45	11,48	0,29	3,73
54	1,99	577,81	1,28	177,56	0,88	67,49	0,47	12,36	0,3	4,02
56	2,07	620,97	1,32	190,31	0,92	72,59	0,48	13,24	0,31	4,32
58	2,14	666,1	1,37	204,05	0,95	77,89	0,50	14,22	0,32	4,51
60	2,22	713,19	1,42	218,76	0,98	83,39	0,52	15,21	0,33	4,81
62	2,29	761,26	1,47	233,48	1,02	88,98	0,53	16,28	0,34	5
64	2,36	811,29	1,51	249,17	1,05	94,86	0,55	17,36	0,35	5,3
66	2,44	862,30	1,56	264,87	1,08	101,04	0,57	18,44	0,36	5,69
68	2,51	916,25	1,61	280,57	1,12	106,93	0,59	19,52	0,37	5,98
70	2,59	970,21	1,65	297,24	1,15	113,8	0,6	20,7	0,39	6,38
72	2,66	1027,1	1,7	314,90	1,18	119,68	0,62	21,88	0,4	6,77
74	—	—	1,75	332,56	1,21	126,55	0,64	23,15	0,41	7,06
76	—	—	1,8	351,2	1,25	133,42	0,66	24,43	0,42	7,46
78	—	—	1,84	369,84	1,28	141,26	0,67	25,7	0,43	7,95

80	—	—	1,89	388,48	1,31	148,13	0,69	27,08	0,44	8,34
85	—	—	2,01	438,51	1,4	167,75	0,73	30,51	0,47	9,42
90	—	—	2,13	491,48	1,48	187,37	0,78	34,24	0,5	10,5
95	—	—	2,25	548,38	1,56	208,95	0,82	38,16	0,52	11,67

G <sub>T/4</sub>	D <sub>H</sub> xs, мм: 159x4,5		219x6		273x7		325x8		377x9	
	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м
100	1,64	231,52	0,86	42,28	0,55	12,95	0,39	5,1	0,29	2,45
105	1,72	255,06	0,91	46,6	0,58	14,32	0,41	5,69	0,3	2,65
110	1,81	280,57	0,95	51,21	0,61	15,7	0,43	6,18	0,32	2,94
115	1,89	306,07	0,99	55,92	0,63	17,17	0,44	6,77	0,33	3,14
120	1,97	333,54	1,03	60,92	0,66	18,74	0,46	7,36	0,34	3,34
125	2,05	361,99	1,08	66,12	0,69	20,31	0,48	8,04	0,36	3,63
130	2,13	391,42	1,12	71,51	0,72	21,97	0,5	8,63	0,37	3,92
135	2,22	421,83	1,16	77,11	0,74	23,64	0,52	9,32	0,39	4,22
140	2,3	454,2	1,21	82,89	0,77	25,4	0,54	10,1	0,4	4,61
145	2,38	486,58	1,25	88,88	0,8	27,27	0,56	10,79	0,42	4,91
150	2,46	520,91	1,29	95,16	0,83	29,23	0,58	11,58	0,43	5,20
155	2,54	556,23	1,34	102,02	0,88	31,2	0,6	12,36	0,44	5,59
160	2,63	592,52	1,38	107,91	0,91	33,26	0,62	13,15	0,46	5,98
165	2,71	630,78	1,42	114,78	0,94	35,31	0,64	13,93	0,47	6,38
170	2,79	669,04	1,47	122,63	0,96	37,57	0,66	14,81	0,49	6,77
175	2,87	709,26	1,51	129,49	0,99	39,73	0,68	15,7	0,5	7,16
180	—	—	1,55	137,34	1,05	42,08	0,70	16,58	0,52	7,55
185	—	—	1,64	153,04	1,1	46,89	0,74	17,46	0,54	8,44
190	—	—	1,72	168,73	1,16	51,99	0,77	18,54	0,57	9,32
200	—	—	1,81	186,39	1,21	57,29	0,81	20,5	0,6	10,3
210	—	—	1,9	205,03	1,28	62,88	0,85	22,66	0,63	11,28



G <sub>г</sub> Т/4	D <sub>н</sub> <sup>xs</sup> , мм: 237x7		325x8		377x9		426x7		478x7	
	V, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/М	V, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/М	V, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/М	V, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/М	V, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/М
230	—	—	1,98	223,67	1,27	68,67	—	—	—	—
240	—	—	2,07	243,29	1,32	74,85	0,89	27,17	0,66	12,36
250	—	—	2,16	263,89	1,38	81,13	0,93	29,53	0,69	13,44
260	—	—	2,24	285,47	1,43	87,8	0,97	32,08	0,72	14,62
270	—	—	2,33	308,03	1,49	94,67	1,01	34,73	0,75	15,79
280	—	—	2,41	331,58	1,54	102,02	1,04	37,38	0,77	16,97
290	—	—	2,5	356,1	1,6	108,89	1,08	40,22	0,8	18,25
300	—	—	2,59	380,63	1,65	116,74	1,12	43,16	0,83	19,62
310	—	—	2,67	406,13	1,71	124,59	1,2	46,21	0,86	20,99
								49,34	0,89	22,37

G <sub>г</sub> Т/4	D <sub>н</sub> <sup>xs</sup> , мм: 237x7		325x8		377x9		426x7		478x7	
	V, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/М	V, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/М	V, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/М	V, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/М	V, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/М
320	1,76	133,42	1,24	52,58	0,92	23,84	0,7	11,58	0,55	6,18
330	1,82	141,26	1,28	55,92	0,95	25,41	0,72	12,36	0,57	6,57
340	1,87	150,09	1,32	59,35	0,97	26,98	0,74	13,05	0,58	6,97
350	1,93	158,92	1,35	62,88	1	28,55	0,76	13,83	0,6	7,46
360	1,98	168,73	1,39	66,51	1,03	30,21	0,78	14,72	0,62	7,85
370	2,04	177,56	1,43	70,24	1,06	31,88	0,81	15,5	0,63	8,34
380	2,09	187,37	1,47	74,07	1,09	33,65	0,83	16,38	0,65	8,73

390	2,15	197,18	1,51	77,99	1,12	35,51	0,85	17,17	0,67	9,22
400	2,2	207,97	1,55	82,11	1,15	37,28	0,87	18,15	0,69	9,71
410	2,26	217,78	1,59	86,23	1,18	39,24	0,89	19,03	0,7	10,2
420	2,31	229,55	1,62	90,55	1,2	41,1	0,91	20,01	0,72	10,69
430	2,37	240,35	1,66	94,86	1,23	43,16	0,94	20,9	0,74	11,18
440	2,42	251,14	1,7	99,08	1,26	45,13	0,96	21,88	0,75	11,77
450	2,48	262,91	1,74	103,99	1,29	47,19	0,98	22,96	0,77	12,26
460	2,53	274,68	1,78	108,89	1,32	49,34	1	23,94	0,79	12,85
470	2,59	286,45	1,82	113,8	1,35	51,5	1,02	25,02	0,81	13,44
480	2,64	299,21	1,86	117,72	1,38	53,76	1,04	26,09	0,82	13,93
490	2,7	311,96	1,9	123,61	1,4	56,02	1,07	27,17	0,84	14,52
500	2,75	323,54	1,93	128,51	1,43	58,27	1,09	28,25	0,86	15,21
520	2,86	361,01	2,01	138,32	1,49	63,08	1,13	30,61	0,89	16,38
540	2,97	388,48	2,09	150,09	1,55	67,98	1,18	32,96	0,93	17,66
560	3,08	417,91	2,17	160,88	1,6	73,18	1,22	35,51	0,96	19,03
580	3,19	447,34	2,24	172,66	1,66	78,48	1,26	38,06	1	20,4
600	3,3	478,73	2,32	184,43	1,72	83,97	1,31	40,71	1,03	21,88
620	3,41	499,33	2,4	197,18	1,78	89,66	1,35	43,46	1,06	23,35
640	3,52	531,7	2,48	209,93	1,83	95,55	1,39	46,4	1,1	24,82
660	3,63	566,04	2,55	223,67	1,89	102,02	1,44	49,34	1,13	26,39
680	3,74	600,37	2,63	237,4	1,95	107,91	1,48	52,29	1,17	28,06
700	3,85	636,67	2,71	251,14	2,01	114,78	1,52	55,43	1,20	29,72

Продолжение прил. 1

G <sub>г</sub> Т/4	D <sub>н</sub> <sup>xs</sup> , мм: 237x7		325x8		377x9		426x7		478x7	
	V, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/М	V, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/М	V, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/М	V, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/М	V, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/М
720	3,96	672,97	2,79	265,85	2,06	120,66	1,57	58,66	1,24	31,49
740	4,07	711,23	2,86	280,57	2,12	127,53	1,61	62	1,27	33,26
760	4,18	750,47	2,94	296,26	2,18	134,4	1,65	65,33	1,3	35,02
780	4,29	789,71	3,02	311,96	2,24	142,25	1,7	68,87	1,34	36,89

G, т/ч	D <sub>H</sub> xs, мм: 237x7		325x8		377x9		426x7		478x7	
	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м
800	4,41	830,91	3,09	328,64	2,29	149,11	1,74	72,4	1,37	38,85
820	—	—	3,17	345,31	2,35	156,96	1,78	76,13	1,41	40,81
840	—	—	3,25	361,99	2,41	164,81	1,83	79,85	1,44	42,77
860	—	—	3,33	379,65	2,46	172,66	1,87	83,68	1,48	44,83
900	—	—	3,40	397,31	2,52	180,5	1,91	87,6	1,51	46,99
920	—	—	3,48	415,94	2,58	189,33	1,96	91,63	1,54	49,15
940	—	—	3,56	434,58	2,64	197,18	2	95,75	1,58	51,31
960	—	—	3,64	453,22	2,69	206,01	2,05	100,06	1,61	53,56
980	—	—	3,71	472,84	2,75	214,84	2,09	103,99	1,65	55,92
1000	—	—	3,79	492,46	2,81	223,67	2,13	108,89	1,68	58,27
1020	—	—	3,87	513,06	2,87	233,48	2,18	112,82	1,72	60,63
1040	—	—	3,95	533,66	2,92	243,31	2,22	117,72	1,75	63,08
1060	—	—	4,02	555,25	2,98	252,12	2,26	122,63	1,78	65,63
1080	—	—	4,1	576,83	3,04	261,93	2,31	127,53	1,82	68,18
1100	—	—	4,18	598,41	3,1	271,74	2,35	132,44	1,85	70,73
1150	—	—	4,26	620,97	3,15	282,53	2,39	137,34	1,89	73,38
1200	—	—	4,45	678,85	3,3	308,03	2,5	150,09	1,97	80,25
1250	—	—	4,64	738,69	3,44	335,5	2,61	162,85	2,06	87,31
1300	—	—	4,83	801,48	3,58	363,95	2,72	176,58	2,14	94,76
1350	—	—	5,03	867,2	3,73	394,36	2,83	191,3	2,23	102,02
1400	—	—	5,22	934,89	3,87	424,77	2,94	206,01	2,32	110,85
1450	—	—	5,42	1005,5	4,01	457,15	3,05	221,71	2,4	118,7
1500	—	—	—	—	4,16	490,5	3,16	238,38	2,49	127,53
1550	—	—	—	—	4,30	524,84	3,26	255,06	2,57	136,36
1600	—	—	—	—	4,44	560,15	3,37	271,74	2,66	146,17
1650	—	—	—	—	4,59	597,43	3,48	289,4	2,74	155
					4,73	634,71	3,59	308,03	2,83	164,81

G, т/ч	D <sub>H</sub> xs, мм: 529x7		630x7		720x8		820x9	
	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м
740	1,03	19,23	0,72	7,55	0,55	3,73	0,42	1,86
760	1,06	20,31	0,74	7,95	0,57	3,92	0,44	1,96
780	1,09	21,39	0,76	8,34	0,58	4,12	0,45	2,06
800	1,11	22,46	0,78	8,83	0,6	4,41	0,46	2,26
820	1,14	23,64	0,8	9,22	0,61	4,61	0,47	2,35
840	1,17	24,82	0,82	9,71	0,63	4,81	0,48	2,45
860	1,20	26	0,84	10,2	0,64	5	0,49	2,55
880	1,23	27,17	0,86	10,4	0,66	5,3	0,51	2,65
900	1,25	28,45	0,88	11,09	0,67	5,49	0,52	2,84
920	1,28	29,72	0,9	11,67	0,69	5,79	0,53	2,94
940	1,31	31	0,92	12,16	0,7	5,98	0,54	3,04
960	1,34	32,37	0,93	12,65	0,72	6,29	0,55	3,14
980	1,36	33,75	0,95	13,15	0,73	6,57	0,56	3,34
1000	1,39	35,12	0,97	13,73	0,75	6,87	0,57	3,43
1020	1,42	36,49	0,99	14,32	0,76	7,06	0,59	3,63
1040	1,45	37,96	1,01	14,81	0,78	7,36	0,60	3,73
1060	1,48	39,44	1,03	15,4	0,79	7,65	0,61	3,92
1080	1,50	40,91	1,05	15,99	0,80	7,95	0,62	4,02
1100	1,53	42,48	1,07	16,58	0,82	8,24	0,63	4,22
1150	1,6	46,4	1,12	18,15	0,86	9,03	0,66	4,61
1200	1,74	50,52	1,17	19,82	0,89	9,81	0,69	5
1250	1,74	54,84	1,22	21,48	0,93	10,69	0,72	5,4
1300	1,81	59,35	1,27	23,35	0,97	11,58	0,75	5,79
1350	1,88	63,96	1,31	25,02	1,01	12,46	0,78	6,28
1400	1,95	68,77	1,36	26,88	1,04	13,34	0,8	6,77
1450	2,02	73,77	1,41	28,84	1,08	14,32	0,83	7,26
1500	2,09	78,97	1,46	30,9	1,12	15,4	0,86	7,75
1550	2,16	84,37	1,51	32,96	1,16	16,38	0,89	8,34
1600	2,23	89,86	1,56	35,12	1,19	16,97	0,92	8,83
1650	2,30	95,55	1,61	37,38	1,23	18,54	0,95	9,42



Продолжение прил. 2

G, т/ч	D <sub>H</sub> xs, мм: 57x3,5		76x3,5		89x3,5		108x4		133x4	
	v <sub>с</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>с</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>с</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>с</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>с</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м
1,15	163	7514,5	85,5	1373,4	60,5	551,32	40,7	197,18	26,1	62,78
1,2	170	8181,5	89,2	1491,1	63,2	600,37	42,5	215,82	27,2	68,67
1,25	177	8878,1	92,9	1618,7	65,8	651,38	44,3	235,44	28,3	73,58
1,30	184	9604	96,7	1746,2	68,4	704,36	46	255,06	29,5	81,42
1,35	191	10359	100	1883,5	71,1	759,29	47,8	274,68	30,6	88,29
1,4	198	11144	104	2030,7	73,7	816,19	49,6	289,4	31,7	93,2
1,45	—	—	108	2177,8	76,3	876,03	51,3	313,92	32,9	99,08
1,5	—	—	112	2334,8	79	937,84	53,1	333,54	34	103,99
1,55	—	—	115	2491,7	81,6	1000,6	54,9	353,16	35,1	110,85
1,6	—	—	119	2648,7	84,2	1069,3	56,6	374,74	36,2	118,7
1,65	—	—	123	2815,5	86,9	1138	58,4	398,29	37,3	126,55
1,7	—	—	126	2992,1	89,5	1206,6	60,2	422,81	38,5	134,4
1,75	—	—	130	3168,6	92,2	1275,3	62	447,34	39,6	143,23
1,8	—	—	134	3355	94,8	1353,8	63,7	474,8	40,8	149,11

Продолжение прил. 2

G, т/ч	D <sub>H</sub> xs, мм: 89x3,5		108x4		133x4		159x4,5		219x6	
	v <sub>с</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>с</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>с</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>с</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>с</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м
1,85	97	1422,5	65,5	500,31	41,9	156,96	29,1	71,51	—	—
1,9	100	1500,9	67,3	528,76	43	164,81	29,9	78,87	—	—
1,95	103	1579,4	69,1	557,21	44,2	174,62	30,7	86,82	—	—
2,00	105	1667,7	70,8	585,66	45,3	184,43	31,5	94,67	—	—
2,1	111	1834,5	74,3	645,5	47,6	202,09	33	103,01	20,7	21,78
2,2	116	2020,9	77,9	708,28	49,8	220,73	34,6	110,85	21,5	23,54
2,3	121	2207,3	81,4	774,99	52,1	240,35	36,2	119,68	22,3	25,51
2,4	126	2403,5	85	843,66	54,4	260,95	37,8	129,49	23,1	27,27
2,5	132	2599,7	88,5	915,27	56,6	282,53	39,3	138,32	24	28,45
2,6	137	2815,5	92	990,81	58,9	311,96	40,9	145,19	24,8	30,41
2,7	142	3041,1	95,6	1069,3	61,2	329,62	42,5	156,96	25,6	32,18
2,8	147	3266,7	99,1	1147,8	63,4	355,12	44,1	167,75	26,4	34,83
2,9	153	3502,2	103	1236,1	65,7	380,63	45,6	179,52	27,3	37,08
3	158	3747,4	106	1314,5	68	407,12	47,2	190,31	28,1	39,24
3,1	163	4002,5	110	1402,8	70,2	434,58	48,8	201,11	29	41,99
3,2	168	4267,4	113	1500,9	72,5	463,03	50,3	212,88	30	44,15
3,3	174	4532,2	117	1599,9	74,8	492,46	51,9	224,65	30,6	46,11
3,4	179	4816,7	120	1697,1	77	522,87	53,5	237,4	31,4	48,05
3,5	184	5101,2	124	1795,2	79,3	554,27	55,1	251,14	32,2	51,8
3,6	190	5395,5	127	1893,3	81,6	588,6	56,5	263,89	33	54,45
3,7	195	5699,6	131	2001,2	83,8	620	58,2	277,62	33,7	58,86
3,8	200	6013,5	135	2119	86,1	653,35	59,8	291,11	34,4	64,75
3,9	205	6337,3	138	2226,9	88,4	688,66	61,4	306,07	35,1	70,14
4	211	6670,8	142	2344,6	90,6	723,98	62,9	336,48	36,4	76,52
4,2	221	7347,7	149	2580	95,4	836,79	66,1	366,89	38	84,37
4,4	232	8063,8	156	2835,1	99,7	896,03	69,2	400,25	41,3	90,25
4,6	242	8819,2	163	3100	104	957,46	72,4	433,6	43	—
4,8	253	9594,2	170	3374,6	109	1039,9	75,5	469,9	—	—
5	263	10418	177	3659,1	113	1128,2	78,7	—	—	—
5,2	274	11262	184	3963,2	118	1226,3	81,8	—	—	—

Продолжение прил. 2

G <sub>г</sub> т/ч	D <sub>н</sub> х <sub>с</sub> , мм: 133x4		159x4,5		219x6		273x7		325x8	
	v, м/с	ΔP, γд' Па/м	v, м/с	ΔP, γд' Па/м	v, м/с	ΔP, γд' Па/м	v, м/с	ΔP, γд' Па/м	v, м/с	ΔP, γд' Па/м
5,4	122	1324,4	85	506,2	44,6	96,14	28,5	30,02	-	-
5,6	127	1422,5	88,1	544,46	46,3	102,92	29,6	32,18	-	-
5,8	131	1520,6	91,3	583,7	47,9	110,35	30,6	34,53	-	-
6,0	136	1628,5	94,4	624,9	49,6	117,23	31,7	36,98	-	-
6,2	140	1736,4	97,5	667,08	51,2	123,61	32,7	39,44	-	-
6,4	145	1854,1	101	711,23	52,9	133,42	33,8	42,08	-	-
6,6	150	1971,8	104	756,35	54,5	141,26	34,8	44,44	-	-
6,8	154	2089,5	107	802,46	56,2	148,13	35,9	47,09	-	-
7	159	2217,1	110	850,53	57,8	156,96	36,9	49,74	26	19,82
7,5	170	2540,8	118	976,1	62	180,5	39,6	57,09	27,9	22,66
8	181	2894	126	1108,5	66,1	205,03	42,2	64,45	29,7	25,7
8,5	193	3266,7	134	1255,7	70,2	231,52	44,9	72,20	31,5	29,04
9	204	3668,9	142	1402,8	74,4	259,97	47,5	81,13	33,4	32,57
9,5	215	4081	149	1569,6	78,5	289,4	50,1	89,76	35,2	36
10	227	4522,4	157	1736,4	82,6	320,79	52,8	99,08	37,1	40,02
10,5	238	4993,3	165	1913	86,7	353,16	55,4	109,87	38,9	44,15
11	249	5474	173	2098,3	90,9	387,5	58	119,68	40,8	48,27
11,5	261	5984,1	181	2295,5	95	423,79	60,7	130,47	42,6	52,68
12	272	6513,8	189	2501,6	99,1	461,07	63,3	142,25	44,5	57,19
12,5	283	7073	197	2717,4	103	500,31	66	155	46,3	61,8
13	295	7651,8	205	2933,2	107	541,51	68,6	167,75	48,2	66,9
13,5	306	8250,2	212	3168,6	112	583,7	71,2	180,5	50,1	72,1
14	317	8868,2	220	3404,1	116	627,84	73,9	194,24	51,9	77,3
14,5	329	9515,7	228	3649,3	120	673,95	76,5	207,97	53,8	82,7
15	340	10183	236	3904,4	124	721,04	79,2	222,69	55,6	88,29
16	362	11586	252	4483,9	132	820,12	84,4	253,1	59,3	101,04
17	385	13076	267	5012,9	140	926,06	89,7	286,45	63,0	113,8
18	408	14656	283	5621,1	149	1039,9	95	320,79	66,7	127,53
19	430	16334	299	6268,6	157	1157,6	100	357,08	70,4	142,25
20	453	18099	315	6945,5	165	1285,1	106	396,3	74,2	156,96

Продолжение прил. 2

G <sub>г</sub> т/ч	D <sub>н</sub> х <sub>с</sub> , мм: 219x6		273x7		325x8		377x9		426x7	
	v, м/с	ΔP, γд' Па/м	v, м/с	ΔP, γд' Па/м	v, м/с	ΔP, γд' Па/м	v, м/с	ΔP, γд' Па/м	v, м/с	ΔP, γд' Па/м
21	173	1412,6	111	436,55	77,8	173,64	57,7	79,46	43,8	39,63
22	182	1550	116	479,71	81,6	190,31	60,4	87,31	45,9	43,46
23	190	1697,1	121	523,85	85,3	207,97	63,2	95,16	48,0	47,38
24	208	1844,3	127	569,96	89	226,61	65,9	103,01	50,1	51,5
25	215	2001,2	132	619,01	92,7	245,25	68,7	111,83	52,1	55,43
26	215	2168	137	669,04	96,4	265,85	71,4	121,64	54,2	59,55
27	223	2334,8	142	722,02	100	286,45	74,2	130,47	56,3	63,77
28	231	2511,4	148	775,97	104	308,03	76,9	140,28	58,4	68,67
29	240	2697,8	153	832,87	108	330,6	79,7	151,07	60,5	73,58
30	248	2884,1	158	890,75	111	354,14	82,4	161,87	62,6	78,48
31	256	3080,3	164	951,57	115	377,69	85,1	172,66	64,7	84,37
32	264	3276,5	169	1010,4	119	402,2	87,9	183,45	66,7	89,27
33	273	3492,4	174	1079,1	122	427,72	90,6	195,22	68,8	95,16
34	281	3698,4	179	1147,8	126	454,2	93,4	206,99	70,9	101,04
35	289	3924	185	1216,4	130	481,67	96,1	219,74	73	106,93
36	297	4149,6	190	1285,1	133	509,14	98,9	232,5	75,1	112,82
37	306	4385,1	195	1353,8	137	538,57	102	245,25	77,2	119,68
38	314	4630,3	201	1432,3	141	568	104	258,98	79,2	126,55
39	322	4875,6	206	1510,7	145	597,43	107	272,72	81,3	132,44
40	330	5120,8	211	1579,4	148	628,42	110	287,42	83,4	140,28
41	339	5385,7	216	1667,7	152	661,19	113	301,17	85,5	147,15
42	347	5650,6	222	1746,2	156	693,57	115	316,86	87,6	154,02
43	355	5925,2	227	1834,5	159	726,92	118	331,58	89,7	161,87
44	364	6199,9	232	1913	163	761,26	121	347,27	91,8	168,73
45	372	6484,4	237	2001,2	167	795,59	124	362,97	93,8	176,58
46	380	6778,7	243	2099,3	171	831,89	126	379,65	95,9	184,43
47	388	7073	248	2187,6	174	868,19	129	396,32	98,0	193,26
48	397	7377,1	253	2285,7	178	905,46	132	413	100	201,11
49	405	7691	259	2374	182	943,72	135	430,66	102	209,93
50	413	8005	264	2472,1	185	981	137	448,32	104	218,76

G <sub>i</sub> T/4	D <sub>н</sub> х <sub>с</sub> , мм: 273x7		325x8		377x9		426x11		426x7	
	v, м/с	Δp <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	Δp <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	Δp <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	Δp <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	Δp <sub>уд'</sub> Па/м
52	274	2678,1	193	1059,5	143	485,60	113	261,93	108	236,42
54	285	2884,1	200	1147,8	148	522,87	117	282,53	113	255,06
56	296	3109,8	208	1236,1	154	563,09	121	303,13	117	273,7
58	306	3335,4	215	1324,4	159	603,32	126	325,69	121	294,3
60	317	3561	222	1412,6	165	654,5	130	348,26	125	314,9
62	327	3806,3	230	1510,7	170	689,64	134	371,8	129	335,5
64	338	4051,5	237	1608,8	176	734,77	139	396,32	133	358,07
66	348	4316,4	245	1716,8	181	781,86	143	421,83	138	380,63
68	359	4581,3	252	1814,9	187	829,93	147	447,34	142	404,17
70	369	4856	260	1922,8	192	878,98	152	474,8	146	427,72
72	380	5130,6	267	2040,5	198	929,99	156	502,27	150	453,22
74	391	5424,9	274	2148,4	203	981	160	529,74	154	478,73
76	401	5719,2	282	2266,1	209	1039,9	165	559,17	158	504,23
78	412	6023,3	289	2393,6	214	1088,9	169	588,6	163	531,7
80	422	6337,3	297	2511,4	220	1147,8	174	619,99	167	559,17
85	449	7151,5	315	2844,9	233	1294,9	184	699,45	177	631,76
90	475	8024,6	334	3188,3	247	1451,9	195	783,82	188	707,30
95	501	8936,9	352	3651,2	261	1618,7	206	874,07	198	788,72
100	528	9898,3	371	3933,8	275	1795,2	217	968,25	209	874,07
105	554	10919	389	4336	288	1981,6	228	1069,3	219	963,34
110	580	11978	408	4757,9	302	2168	239	1167,4	229	1059,5
115	—	—	426	5199,3	316	2374	249	1285,1	240	1157,6
120	—	—	445	5660,4	330	2580	260	1393	250	1259,7
125	—	—	463	6141,1	343	2805,7	271	1510,7	261	1363,6
130	—	—	481	6641,4	357	3031,3	282	1638,3	271	1481,3
135	—	—	501	7161,3	371	3266,7	293	1765,8	282	1589,2
140	—	—	519	7700,9	385	3512	304	1893,3	292	1716,8
145	—	—	538	8269,8	398	3776,9	314	2030,7	302	1834,5
150	—	—	556	8848,6	412	4041,7	325	2177,8	313	1962
155	—	—	575	9447	426	4306,6	335	2325	323	2099,3

G <sub>i</sub> T/4	D <sub>н</sub> х <sub>с</sub> , мм: 478x7		529x7		630x7		720x8		820x8	
	v, м/с	Δp <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	Δp <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	Δp <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	Δp <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	Δp <sub>уд'</sub> Па/м
52	85,5	127,53	69,4	73,58	48,5	29,43	—	—	—	—
54	88,8	137,34	72,1	79,46	50,4	31,39	—	—	—	—
56	92	148,13	74,7	85,35	52,2	34,34	—	—	—	—
58	95,4	157,94	77,4	91,23	54,1	36,3	—	—	—	—
60	98,7	168,73	80,1	98,1	56	38,26	—	—	—	—
62	102	180,5	82,8	104,97	57,8	41,2	44,3	20,6	34	10,4
64	105	192,28	85,4	111,83	59,7	44,15	45,7	22,56	35	11,28
66	109	205,03	88,1	118,7	61,6	47,09	47,1	23,54	36,1	11,87
68	112	216,8	90,8	125,57	63,4	49,05	48,6	24,52	37,2	12,75
70	115	230,54	93,4	133,42	65,3	51,99	50	26,49	38,3	13,24
72	118	243,29	96,1	141,26	67,2	55,92	51,4	27,47	39,4	13,73
74	121	257,02	98,8	149,11	69	58,86	52,9	28,43	40,5	14,72
76	125	271,74	101	156,96	70,9	61,8	54,3	30,41	41,6	15,79
78	128	285,47	104	165,79	72,8	64,75	55,7	32,37	42,7	16,48
80	132	300,17	108	174,62	74,6	68,67	57,1	34,34	43,8	17,27
85	140	339,43	114	197,18	79,3	77,5	60,7	39,24	46,6	18,64
90	148	380,63	120	220,73	84	86,33	64,3	43,16	49,3	21,58
95	156	423,79	127	246,23	88,7	96,14	67,9	48,07	52,1	23,54
100	164	469,9	133	272,72	93,3	106,93	71,4	52,97	54,8	26,49
105	173	517,97	140	301,17	98,2	117,72	75	58,86	57,5	29,43
110	181	568	147	329,62	103	129,49	78,6	64,75	60,2	32,37
115	189	620,97	153	360,03	107	141,26	82,1	70,63	63,3	35,32
120	197	676,89	160	392,4	112	154,02	85,7	76,52	66,7	38,26
125	206	733,79	167	425,75	117	167,75	89,3	83,39	68,5	42,18
130	214	793,63	174	461,07	121	181,49	92,9	90,25	71,2	45,13
135	222	856,41	180	496,39	126	195,22	96,4	97,12	73,9	49,05
140	230	920,18	187	534,65	131	209,93	100	104,97	76,7	51,99
145	238	990,81	194	572,9	135	225,63	104	111,83	79,4	54,92
150	247	1059,5	200	613,13	140	241,32	107	119,68	82,1	59,84
155	255	1128,2	207	655,31	145	257,02	111	128,51	84,9	63,77

Продолжение прил. 2

$G_p$ т/ч	$D_{\text{хс}}$ , мм: 377х9		426х7		478х7		529х7		630х8	
	$v$ , м/с	$\Delta P_{\text{уд'}}$ Па/м	$v$ , м/с	$\Delta P_{\text{уд'}}$ Па/м	$v$ , м/с	$\Delta P_{\text{уд'}}$ Па/м	$v$ , м/с	$\Delta P_{\text{уд'}}$ Па/м	$v$ , м/с	$\Delta P_{\text{уд'}}$ Па/м
160	439	4591,1	334	2236,7	263	1206,6	214	697,49	150	278,6
165	453	4885,4	344	2383,3	271	1275,3	220	741,64	155	296,26
170	467	5189,5	355	2521,2	280	1353,8	227	787,74	160	314,9
175	481	5493,6	365	2678,1	288	1442,1	234	834,83	164	333,54
180	494	5817,3	375	2835,1	296	1520,6	240	882,90	169	353,16
190	522	6474,6	396	3158,8	312	1697,1	254	981,00	178	393,38
200	549	7180,9	417	3492,4	328	1883,5	267	1088,9	188	435,56
210	577	7916,7	438	3855,3	345	2069,9	280	1206,6	197	480,69
220	604	8681,9	459	4228,1	362	2275,9	294	1314,5	207	526,8
230	632	9496,1	480	4620,5	378	2481,9	307	1442,1	216	575,85
240	659	10340	501	5032,5	395	2707,6	320	1569,6	225	627,84
250	687	11213	521	5464,2	411	2933,2	334	1706,9	235	680,81
260	714	12125	542	5905,6	428	3178,4	347	1844,3	244	736,73
270	742	13077	563	6366,7	444	3423,7	360	1991,4	254	793,63
280	769	14068	584	6847,4	460	3678,8	374	2138,6	263	854,45
290	797	15088	605	7347,7	477	3953,4	387	2295,5	272	916,25
300	824	16147	626	7867,6	493	4228,1	400	2452,5	282	980,02
310	—	—	647	8397,4	510	4512,6	414	2600,3	291	1049,7
320	—	—	667	8946,7	526	4806,9	427	2795,9	300	1118,3
330	—	—	688	9515,7	543	5111	440	2972,4	310	1187
340	—	—	709	10104	559	5434,7	454	3149	319	1255,7
350	—	—	730	10703	575	5758,5	467	3335,4	329	1334,2
360	—	—	751	11321	592	6092	480	3531,6	338	1412,6
370	—	—	772	11958	608	6435,4	494	3727,8	347	1491,1
380	—	—	792	12616	625	6778,7	507	3933,8	357	1569,6

Термодинамические параметры сухого насыщенного пара и горячей воды на линии насыщения

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Давление $p$ , МПа	Температура насыщения $t_{\text{н}}$ , °С	Сухой насыщенный пар		Горячая вода на линии насыщения		Теплота парообразо- вания $q$ , кДж/кг
		плотность $\rho'$ , кг/м <sup>3</sup>	энтальпия $i''$ , кДж/кг	плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	энтальпия $i'$ , кДж/кг	
0,1	99,62	0,5896	2674,9	958	417,47	2257,5
0,11	102,21	0,6444	2678,9	957	428,5	2250
0,12	104,8	0,6992	2683	955	439,34	2243,6
0,13	107,05	0,7537	2686,5	953	448,9	2237,7
0,14	109,31	0,8083	2690,1	952	458,42	2231,7
0,15	111,31	0,8621	2693,2	950	466,91	2226,3
0,16	113,31	0,916	2696,3	949	475,41	2220,8
0,17	115,12	0,969	2698,9	947	483,09	2215,9
0,18	116,93	1,022	2701,8	946	490,68	2211,1
0,19	118,58	1,077	2704,3	944	497,71	2206,5
0,2	120,23	1,129	2706,8	943	504,74	2202
0,22	123,27	1,234	2711	940	517,7	2193,3
0,24	126,09	1,338	2714,9	937	529,9	2185
0,26	128,73	1,443	2718,9	936	541,2	2177,7
0,28	131,2	1,547	2722,3	934	551,7	2170,7
0,3	133,54	1,652	2725,5	932	561,7	2163,9
0,35	136,87	1,808	2732,3	927	584,4	2147,9
0,4	143,62	2,163	2738,7	923	604,6	2134,1
0,45	147,92	2,416	2743,9	919	623	2120,9
0,5	151,84	2,667	2748,8	915	640,1	2108,7
0,6	158,84	3,169	2756,9	908	670,6	2086,3
0,7	164,96	3,666	2763,7	902	697,2	2066,5
0,8	170,41	4,161	2769	897	720,9	2048,1
0,9	175,38	4,653	2773,7	892	742,7	2031
1	179,86	5,143	2777,8	887	762,3	2015,3
1,1	184,05	5,632	2781,2	883	781,3	1999,9

Давление P, МПа	Температура насыщения t <sub>н</sub> , °С	Сухой насыщенный пар		Горячая вода на линии насыщения		Теплота парообразо- вания t, кДж/кг
		плотность ρ', кг/м³	энтальпия i'', кДж/кг	плотность ρ', кг/м³	энтальпия i', кДж/кг	
1,2	187,95	6,125	2784,6	879	798,4	1986,2
1,3	191,6	6,615	2787,4	874	814,6	1972,7
1,4	195,04	7,102	2789,7	870	830,0	1959,7
1,5	198,28	7,592	2791,8	867	844,5	1947,3
2	212,37	10,04	2799,2	850	908,6	1890,7
2,5	223,1	12,53	2801,2	836	958,5	1842,7
3	233,83	15,01	2803,1	822	1008,4	1794,7
3,5	242,54	17,53	2802,8	810	1049,8	1753,0
4	250,33	20,09	2800,6	799	1087,5	1713,2
4,5	257,12	22,72	2797,2	788	1120,8	1676,4
5	263,91	25,36	2793,9	778	1154,2	1639,6
6	275,56	30,84	2784,4	758	1213,9	1570,5

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Таблица для гидравлического расчета конденсаторов при эквивалентной шероховатости труб  
k<sub>э</sub> = 1 мм, температура конденсата t = 100°С, плотности конденсата ρ = 958,4 кг/м³  
и кинематической вязкости конденсата ν = 0,295·10<sup>-6</sup> м²/с

G, т/ч	D <sub>н</sub> хs, мм: 32х2,5		38х2,5		45х2,5		57х3,5		76х3,5	
	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> , Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> , Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> , Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> , Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> , Па/м
0,2	0,1	11,77	—	—	—	—	—	—	—	—
0,22	0,11	14,52	—	—	—	—	—	—	—	—
0,24	0,12	17,27	—	—	—	—	—	—	—	—
0,26	0,13	20,01	—	—	—	—	—	—	—	—
0,28	0,14	23,05	—	—	—	—	—	—	—	—
0,3	0,15	26,49	0,1	8,93	—	—	—	—	—	—
0,32	0,16	29,92	0,11	10,3	—	—	—	—	—	—
0,34	0,17	32,86	0,12	11,48	—	—	—	—	—	—
0,36	0,18	36,79	0,12	13,05	—	—	—	—	—	—
0,38	0,19	41,01	0,13	14,32	—	—	—	—	—	—
0,4	0,2	45,42	0,14	15,6	—	—	—	—	—	—
0,42	0,21	50,13	0,14	17,46	0,092	5,69	—	—	—	—
0,44	0,22	55,03	0,15	18,93	0,097	6,28	—	—	—	—
0,46	0,23	60,14	0,16	20,31	0,10	6,97	—	—	—	—
0,48	0,24	65,43	0,16	22,07	0,11	7,56	—	—	—	—
0,5	0,25	71,02	0,17	23,94	0,11	8,24	—	—	—	—
0,55	0,28	85,94	0,19	28,94	0,12	8,73	—	—	—	—
0,6	0,3	102,02	0,2	34,43	0,13	10,5	—	—	—	—
0,65	0,33	119,68	0,22	40,42	0,14	12,36	—	—	—	—
0,7	0,35	139,3	0,24	46,69	0,15	14,32	—	—	—	—
0,75	0,38	159,9	0,25	53,76	0,16	16,58	—	—	—	—
0,8	0,41	181,49	0,27	61,21	0,17	19,03	0,1	5,2	—	—
					0,18	21,58	0,11	5,98	—	—
							0,12	6,87	—	—



Продолжение прил. 4

G <sub>t</sub> т/ч	D <sub>H</sub> xs, мм: 32x2,5		38x2,5		45x2,5		57x3,5		76x3,5	
	v <sub>г</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>г</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>г</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>г</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>г</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м
0,85	0,43	205,03	0,29	69,06	0,2	24,43	0,13	7,55	—	—
0,9	0,46	230,54	0,31	77,5	0,21	27,37	0,13	8,53	—	—
0,95	0,48	256,04	0,32	86,33	0,22	30,51	0,14	9,52	—	—
1	0,51	284,49	0,34	95,65	0,23	33,75	0,15	10,4	—	—
1,05	—	—	0,36	104,97	0,24	37,28	0,16	11,38	—	—
1,1	—	—	0,37	115,76	0,25	40,91	0,16	12,36	—	—
1,15	—	—	0,39	126,55	0,27	44,73	0,17	13,44	—	—
1,2	—	—	0,41	137,34	0,28	48,66	0,18	14,62	—	—
1,25	—	—	0,42	149,11	0,29	52,78	0,18	15,89	—	—
1,3	—	—	0,44	161,87	0,3	57,09	0,19	17,17	—	—
1,35	—	—	0,46	174,62	0,31	61,61	0,2	18,54	—	—
1,4	—	—	0,47	187,37	0,32	66,22	0,21	19,91	—	—
1,45	—	—	0,49	201,11	0,33	71,02	0,21	21,29	—	—
1,5	—	—	0,51	214,84	0,36	76,03	0,22	22,86	—	4,22
1,55	—	—	0,53	229,55	0,36	81,23	0,23	24,43	—	4,61
1,6	—	—	0,54	245,25	0,37	86,52	0,24	26	—	4,91
1,65	—	—	0,56	259,97	0,38	92,02	0,24	27,66	—	5,1
1,7	—	—	0,58	276,64	0,39	97,71	0,25	29,33	—	5,4
1,75	—	—	0,59	293,32	0,4	103,01	0,26	31,1	—	5,69

Продолжение прил. 4

G <sub>г</sub> т/ч	D <sub>H</sub> xs, мм: 45x2,5		57x3,5		76x3,5		89x3,5		108x4	
	v <sub>г</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>г</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>г</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>г</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>г</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м
1,8	0,42	109,87	0,27	32,86	0,14	6,08	—	—	—	—
1,85	0,43	115,76	0,27	34,73	0,14	6,38	—	—	—	—
1,9	0,44	121,64	0,28	36,59	0,15	6,67	—	—	—	—
1,95	0,45	128,51	0,29	38,55	0,15	7,06	—	—	—	—
2	0,46	135,38	0,3	40,61	0,16	7,36	—	2,94	—	—
2,1	0,48	149,11	0,31	44,73	0,16	7,95	—	3,24	—	—
2,2	0,51	163,83	0,33	49,05	0,17	8,73	—	3,53	—	—
2,3	0,53	178,54	0,34	53,66	0,18	9,52	—	3,83	—	—
2,4	0,55	194,24	0,35	58,47	0,19	10,4	—	4,22	—	—
2,5	0,58	210,92	0,37	63,47	0,19	11,28	—	4,51	—	—
2,6	0,6	228,57	0,38	68,57	0,2	12,16	—	4,91	—	—
2,7	0,62	246,23	0,4	73,97	0,21	13,15	—	5,3	—	—
2,8	0,65	264,87	0,41	79,56	0,22	14,13	—	5,69	—	—
2,9	0,67	284,49	0,43	85,36	0,22	15,11	—	6,08	—	—
3	0,69	304,11	0,44	91,33	0,23	16,19	—	6,47	—	—
3,1	—	—	0,46	97,51	0,24	17,27	—	6,87	—	—
3,2	—	—	0,47	103,99	0,25	18,44	—	7,36	—	—
3,3	—	—	0,49	110,85	0,26	19,62	—	7,75	—	—
3,4	—	—	0,5	117,72	0,26	20,8	—	8,24	—	—
3,5	—	—	0,52	124,59	0,27	22,07	—	8,73	—	—
3,6	—	—	0,53	131,45	0,28	23,35	—	9,22	—	—
3,7	—	—	0,55	139,3	0,29	24,62	—	9,81	—	—
3,8	—	—	0,56	146,17	0,29	26	—	10,3	—	—
3,9	—	—	0,58	154,02	0,3	27,47	—	10,89	—	—

G <sub>т/4</sub>	D <sub>н.хс</sub> , мм: 57x3,5		76x3,5		89x3,5		108x4		133x4,5	
	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м
4	0,6	162,85	0,31	28,74	0,22	11,38	0,15	4,02	0,09	1,28
4,2	0,62	178,54	0,33	31,69	0,23	12,56	0,16	4,41	0,1	1,37
4,4	0,65	196,2	0,34	34,83	0,24	13,83	0,16	4,81	0,1	1,57
4,6	0,68	214,84	0,36	38,06	0,25	15,11	0,17	5,20	0,11	1,67
4,8	0,71	233,48	0,37	41,5	0,26	16,48	0,18	5,69	0,11	1,77
5	0,74	254,08	0,39	44,93	0,27	17,85	0,18	6,18	0,12	1,96
5,2	0,77	274,68	0,41	48,66	0,29	19,33	0,19	6,67	0,12	2,16
5,4	0,8	296,26	0,42	52,48	0,3	20,8	0,2	7,16	0,13	2,26
5,6	—	—	0,43	56,41	0,31	22,37	0,21	7,75	0,13	2,45
5,8	—	—	0,45	60,53	0,32	24,03	0,21	8,34	0,14	2,55
6	—	—	0,47	64,75	0,33	25,6	0,22	8,93	0,14	2,75
6,2	—	—	0,48	69,16	0,34	27,47	0,23	9,52	0,15	2,94
6,4	—	—	0,5	73,67	0,35	29,23	0,24	10,10	0,15	3,14
6,6	—	—	0,51	78,38	0,36	31,1	0,24	10,79	0,16	3,34
6,8	—	—	0,53	83,19	0,37	32,96	0,25	11,48	0,16	3,53
7	—	—	0,54	88,19	0,38	35,02	0,26	12,07	0,17	3,73
7,5	—	—	0,58	101,04	0,41	40,12	0,28	13,93	0,18	4,22
8	—	—	0,62	114,78	0,44	45,71	0,3	15,79	0,19	4,81
8,5	—	—	0,66	129,49	0,47	51,60	0,31	17,85	0,2	5,40
9	—	—	0,7	146,17	0,49	57,78	0,33	20,01	0,21	6,08
9,5	—	—	0,74	161,87	0,52	64,45	0,35	22,27	0,22	6,77
10	—	—	0,78	179,52	0,55	71,42	0,37	24,72	0,24	7,55
10,5	—	—	0,81	199,14	0,58	78,68	0,39	27,27	0,25	8,34
11	—	—	0,85	217,78	0,6	86,33	0,41	29,92	0,26	9,12
11,5	—	—	0,89	238,38	0,63	94,37	0,42	32,67	0,27	9,91

G <sub>т/4</sub>	D <sub>н.хс</sub> , мм: 89x3,5		108x4		133x4,5		159x4,5		219x6	
	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v, м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м
12	0,66	103,01	0,44	35,61	0,28	10,79	0,2	4,12	—	—
12,5	0,69	111,83	0,46	38,65	0,3	11,77	0,21	4,41	—	—
13	0,71	120,66	0,48	41,79	0,31	12,75	0,21	4,81	—	—
13,5	0,74	130,47	0,5	45,03	0,32	13,73	0,22	5,20	—	—
14	0,77	140,28	0,52	48,46	0,33	14,72	0,23	5,59	—	—
14,5	0,8	150,09	0,54	51,99	0,34	15,79	0,24	5,98	—	—
15	0,82	160,88	0,55	55,62	0,36	16,97	0,25	6,38	—	—
16	0,88	182,47	0,59	63,27	0,38	19,23	0,26	7,26	—	—
17	0,93	206,01	0,63	71,42	0,4	21,78	0,28	8,24	—	—
18	0,99	231,52	0,66	80,05	0,43	24,33	0,3	9,22	—	—
19	1,04	258	0,7	89,27	0,45	27,17	0,31	10,3	—	—
20	1,1	285,47	0,74	99,08	0,47	30,12	0,33	11,38	—	—
21	—	—	0,78	108,89	0,5	33,16	0,34	12,56	0,17	2,06
22	—	—	0,81	119,68	0,52	36,4	0,36	13,83	0,18	2,26
23	—	—	0,85	130,47	0,54	39,83	0,38	15,11	0,19	2,45
24	—	—	0,89	142,25	0,57	43,36	0,39	16,38	0,2	2,75
25	—	—	0,92	154,02	0,59	46,99	0,41	17,85	0,21	2,94
26	—	—	0,96	166,77	0,61	50,82	0,43	19,23	0,22	3,24
27	—	—	1	180,5	0,64	54,84	0,44	20,8	0,23	3,53
28	—	—	1,03	194,24	0,66	58,96	0,46	22,37	0,24	4,02
29	—	—	1,07	207,97	0,69	63,27	0,48	23,94	0,25	4,32
30	—	—	1,11	222,69	0,71	67,69	0,49	25,7	0,26	4,61

G <sub>т/4</sub>	D <sub>H</sub> xs, мм: 108x4		133x4,5		159x4,5		219x6		273x7	
	v <sub>r</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>φ</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>φ</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>r</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>r</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м
31	1,15	237,4	0,73	72,3	0,51	27,37	0,27	5	—	—
32	1,18	253,1	0,76	77,01	0,53	29,23	0,28	5,3	—	—
33	1,22	268,79	0,78	81,91	0,54	31	0,28	5,59	—	—
34	1,26	285,47	0,8	86,92	0,56	32,96	0,29	5,98	—	—
35	1,29	303,13	0,83	92,12	0,57	34,92	0,3	6,28	—	—
36	—	—	0,85	97,51	0,59	36,98	0,31	6,67	—	—
37	—	—	0,87	103,01	0,61	39,04	0,32	7,06	—	—
38	—	—	0,9	108,89	0,62	41,2	0,33	7,46	—	—
39	—	—	0,92	114,78	0,64	43,36	0,34	7,85	0,21	2,35
40	—	—	0,95	120,66	0,66	45,62	0,35	8,24	0,22	2,55
41	—	—	0,97	126,55	0,67	47,97	0,35	8,63	0,23	2,65
42	—	—	0,99	132,44	0,69	50,33	0,36	9,12	0,23	2,75
43	—	—	1,02	139,3	0,71	52,68	0,37	9,52	0,24	2,94
44	—	—	1,04	145,19	0,72	55,23	0,38	10,01	0,24	3,04
45	—	—	1,06	152,06	0,74	57,78	0,39	10,4	0,25	3,14
46	—	—	1,09	158,92	0,76	60,33	0,4	10,89	0,25	3,34
47	—	—	1,11	165,79	0,77	62,98	0,41	11,38	0,26	3,43
48	—	—	1,13	173,64	0,79	65,73	0,41	11,87	0,26	3,63
49	—	—	1,16	180,5	0,8	68,47	0,42	12,36	0,27	3,83
50	—	—	1,18	188,35	0,82	71,32	0,43	12,85	0,28	3,92
52	—	—	1,23	203,07	0,85	77,11	0,45	13,93	0,29	4,22
54	—	—	1,28	219,74	0,89	83,09	0,47	15,01	0,3	4,61

G <sub>т/4</sub>	D <sub>H</sub> xs, мм: 133x4,5		159x4,5		219x6		273x7		325x8	
	v <sub>r</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>φ</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>φ</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>r</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м	v <sub>r</sub> м/с	ΔP <sub>уд'</sub> Па/м
56	1,32	235,44	0,92	89,37	0,48	16,19	0,31	4,91	0,22	1,96
58	1,37	253,1	0,95	95,94	0,5	17,36	0,32	5,3	0,22	2,06
60	1,42	270,76	0,98	103,01	0,52	18,54	0,33	5,69	0,23	2,26
62	1,47	289,4	1,02	109,87	0,53	19,82	0,34	6,08	0,24	2,35
64	1,51	308,03	1,05	116,74	0,55	21,09	0,35	6,47	0,25	2,55
66	—	—	1,08	124,59	0,57	22,56	0,36	6,87	0,26	2,65
68	—	—	1,12	131,45	0,59	23,84	0,37	7,26	0,26	2,84
70	—	—	1,15	139,3	0,6	25,31	0,39	7,75	0,27	3,04
72	—	—	1,18	148,13	0,62	26,78	0,4	8,14	0,28	3,24
74	—	—	1,21	155,98	0,64	28,25	0,41	8,63	0,29	3,43
76	—	—	1,25	164,81	0,66	29,82	0,42	9,12	0,29	3,53
78	—	—	1,28	173,64	0,67	31,39	0,43	9,61	0,3	3,73
80	—	—	1,31	182,47	0,69	32,96	0,44	10,1	0,31	3,92
85	—	—	1,4	206,01	0,73	37,28	0,47	11,38	0,33	4,51
90	—	—	1,48	230,54	0,78	41,79	0,5	12,75	0,35	5
95	—	—	1,56	257,02	0,82	46,5	0,52	14,22	0,37	5,59
100	—	—	1,64	285,47	0,86	51,6	0,55	15,70	0,39	6,18
105	—	—	—	—	0,91	56,9	0,58	17,36	0,41	6,87
110	—	—	—	—	0,95	62,39	0,61	19,03	0,43	7,46
115	—	—	—	—	0,99	68,18	0,63	20,8	0,44	8,14
120	—	—	—	—	1,03	74,26	0,66	22,66	0,46	8,93
125	—	—	—	—	1,09	80,54	0,69	24,62	0,48	9,71

G <sub>r</sub> т/ч	D <sub>H</sub> XS, мм: 219x6		273x7		325x8		426x6		480x6	
	V <sub>r</sub> м/с	ΔP <sub>уд</sub> Па/М	V <sub>r</sub> м/с	ΔP <sub>уд</sub> Па/М	V <sub>r</sub> м/с	ΔP <sub>уд</sub> Па/М	V <sub>r</sub> м/с	ΔP <sub>уд</sub> Па/М	V <sub>r</sub> м/с	ΔP <sub>уд</sub> Па/М
130	1,12	87,21	0,72	26,59	0,5	10,5	0,28	2,26	0,22	1,18
135	1,16	93,98	0,74	28,65	0,52	11,28	0,29	2,45	0,23	1,28
140	1,21	101,04	0,77	30,80	0,54	12,16	0,3	2,55	0,24	1,37
145	1,25	108,89	0,8	33,06	0,56	12,95	0,31	2,75	0,25	1,47
150	1,29	115,76	0,83	35,41	0,58	13,83	0,32	2,94	0,26	1,57
155	1,34	123,61	0,85	37,77	0,6	14,81	0,33	3,14	0,26	1,67
160	1,38	132,44	0,88	40,32	0,62	15,89	0,34	3,34	0,27	1,77
165	1,42	140,28	0,91	42,87	0,64	16,97	0,36	3,63	0,28	1,96
170	1,47	149,11	0,94	45,52	0,66	17,85	0,37	3,83	0,29	2,06
175	1,51	157,94	0,96	48,17	0,68	18,93	0,38	4,02	0,3	2,16
180	1,55	166,77	0,99	51,01	0,7	20,01	0,39	4,32	0,31	2,26
185	1,59	175,60	1,01	53,85	0,72	21,16	0,4	4,61	0,32	2,36
190	1,64	186,39	1,05	56,8	0,73	22,56	0,41	4,81	0,32	2,55
200	1,72	206,01	1,1	62,88	0,77	24,72	0,43	5,3	0,34	2,84
210	1,81	227,59	1,16	69,45	0,81	27,27	0,45	5,79	0,36	3,14
220	1,9	249,17	1,21	76,22	0,85	29,92	0,47	6,38	0,37	3,43
230	1,98	272,72	1,27	83,29	0,89	32,77	0,5	6,97	0,39	3,73
240	2,07	297,24	1,32	90,64	0,93	35,61	0,52	7,65	0,41	4,12

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Таблица для гидравлического расчета трубопроводов высокосернистого топочного мазута М-100 при эквивалентной шероховатости труб  $k_s = 0,5$  мм, температуре мазута  $t = 40...135^{\circ}\text{C}$ , плотности мазута  $\rho = 0,925...0,98$  т/м<sup>3</sup> (для расчета скорости движения принята средняя плотность мазута  $\rho = 0,945$  т/м<sup>3</sup>) и кинематической вязкости мазута  $\nu = (10,15 \cdot 10^{-4}) \dots (17,5 \cdot 10^{-4})$  м<sup>2</sup>/с

G <sub>r</sub> т/ч	V <sub>r</sub> м/с	Удельные линейные потери давления ΔP, Па/м, при t, °C, ν, м <sup>2</sup> /с, ρ, т/м <sup>3</sup>											
		t=40, ν=17,5x 10 <sup>-4</sup> , ρ=0,980	t=50, ν=8x 10 <sup>-4</sup> , ρ=0,975	t=60, ν=3,75x 10 <sup>-4</sup> , ρ=0,970	t=70, ν=2x 10 <sup>-4</sup> , ρ=0,965	t=80, ν=0,71x 10 <sup>-4</sup> , ρ=0,952	t=90, ν=0,47x 10 <sup>-4</sup> , ρ=0,945	t=100, ν=0,33x 10 <sup>-4</sup> , ρ=0,935	t=110, ν=0,24x 10 <sup>-4</sup> , ρ=0,930	t=120, ν=0,15x 10 <sup>-4</sup> , ρ=0,925	D <sub>H</sub> XS = 32x2 мм		
0,6	0,286	20049,8	9118,8	4252,5	2256,3	790,2	519,2	360,7	260,9	162,2			
0,8	0,382	26733	12158,5	5670	3008,4	1053,6	692,3	481	347,9	216,3			
1	0,477	33416,3	15198,1	7087,6	3760,5	1317	865,4	601,2	434,9	270,4			
1,2	0,573	40099,5	18237,7	8505,1	4512,7	1580,4	1038,5	721,4	521,9	324,4			
1,4	0,668	46782,8	21277,3	9922,6	5264,8	1833,8	1211,6	841,7	608,9	378,5			
1,6	0,764	53466	24316,9	11340,1	6016,9	2107,2	1384,7	961,9	695,8	432,6			
1,8	0,859	60149,3	27356,5	12757,6	6769	2370,6	1557,7	1082,2	782,8	486,6			
2	0,955	66832,5	30396,1	14175,1	7521,1	2634	1730,8	1202,4	869,8	540,7			
2,2	1,05	73515,8	33435,7	15592,6	8273,2	2897,4	1903,9	1322,6	956,8	594,8			
2,4	1,146	80199	36475,4	17010,1	9025,3	3160,8	2077	1442,9	1043,8	648,8			
2,6	1,241	86882,3	39515	18427,7	9777,4	3424,2	2250,1	1563,1	1130,7	701,2			
2,8	1,337	93565,5	42554,6	19845,2	10529,5	3687,6	2423,2	1683,4	1217,7	760,2			
3	1,432	100248,8	45594,2	21262,7	11281,6	3951	2596,2	1803,6	1304,7	818,4			
3,2	1,528	106932	48633,8	22680,2	12033,7	4214,4	2769,3	1923,8	1391,7	878,9			
3,4	1,623	113615,3	51673,4	24097,7	12785,9	4477,8	2942,4	2044,1	1478,7	938,6			
3,6	1,719	120298,5	54713	25515,2	13538	4741,2	3115,5	2164,3	1565,6	1000,2			
3,8	1,814	126981,8	57752,6	26932,7	14290,1	5004,6	3288,6	2284,6	1652,9	1065,2			
4	1,91	133665	60792,3	28350,2	15042,2	5268	3461,7	2404,8	1740,8	1125,6			
4,2	2,005	140348,3	63831,9	29767,7	15794,3	5531,4	3634,7	2525	1839,8	1190,8			

G, т/4	v, м/с	Удельные линейные потери давления Δр, Па/м, при t, °С, ν, м <sup>2</sup> /с, ρ, т/м <sup>3</sup>									
		t=40, ν = 17,5x 10 <sup>-4</sup> , ρ = 0,980	t=50, ν = 8x 10 <sup>-4</sup>	t=60, ν = 3,75x 10 <sup>-4</sup>	t=70, ν = 2x 10 <sup>-4</sup>	t=90, ν = 0,71x 10 <sup>-4</sup>	t=100, ν = 0,47x 10 <sup>-4</sup>	t=110, ν = 0,33x 10 <sup>-4</sup>	t=120, ν = 0,24x 10 <sup>-4</sup>	t=135, ν = 0,15x 10 <sup>-4</sup>	t=150, ν = 0,1x 10 <sup>-4</sup>

D<sub>H</sub> xs = 38x2,5 мм

0,7	0,241	12123,6	5513,9	2571,4	1364,3	477,8	314	218,1	157,8	98,1
1	0,344	17319,5	7877,1	3673,4	1949,1	682,6	448,5	311,6	225,4	140,1
1,3	0,447	22515,3	10240,2	4775,5	2533,8	887,4	583,1	405,1	293	182,2
1,6	0,550	27711,1	12603,3	5877,5	3118,5	1092,2	717,7	498,6	360,6	224,2
1,9	0,653	32907	14986,4	6979,5	3703,2	1296,9	852,2	592,0	428,3	266,2
2,2	0,756	38102,8	17329,6	8081,6	4288	1501,7	986,8	685,5	495,9	308,3
2,5	0,859	43298,6	19692,7	9183,6	4872,7	1706,5	1121,3	779	563,5	350,3
2,8	0,962	48494,5	22055,8	10285,6	5457,4	1911,3	1255,9	872,5	631,1	414,5
3,1	1,065	53690,3	24418,9	11387,7	6042,1	2116,1	1390,5	966	698,8	476,4
3,4	1,168	58886,1	26782	12489,7	6626,8	2320,8	1525	1059,4	766,4	514,5
3,7	1,272	64082	29145,2	13591,7	7211,6	2525,6	1659,6	1152,9	834	546,4
4	1,375	69277,8	31508,3	14693,8	7796,3	2730,4	1794,2	1246,4	901,6	582,6
4,3	1,478	74473,7	33871,4	15795,8	8381	2935,2	1928,7	1339,9	969,2	624,6
4,6	1,581	79669,5	36234,5	16897,8	8965,7	3140	2063,3	1433,4	1033	664,5
4,9	1,684	84865,3	38597,6	17999,9	9550,4	3344,7	2197,8	1526,8	1103,2	703,8
5,2	1,787	90061,2	40960,8	19101,9	10135,2	3549,5	2332,4	1620,3	1173,8	744,3
5,5	1,89	95257	43323,9	20203,9	10719,9	3754,3	2467	1713,8	1240,4	785,2
5,8	1,993	100452,8	45687	21306	11304,6	3959,1	2601,5	1807,3	1309,1	827,2
6,1	2,096	105648,7	48050,1	22408	11889,3	4163,9	2736,1	1880,6	1377,7	869,8
6,4	2,2	110844,5	50413,2	23510	12474	4368,6	2870,6	1953,1	1446,1	911,8
6,7	2,303	116040,3	52776,4	24612,1	13058,8	4573,4	3005,2	2020,3	1514,3	953,2
7	2,406	121236,2	55139,5	25714,1	13643,5	4778,2	3139,8	2082,8	1571,6	993,9

D<sub>H</sub> xs = 45x2,5 мм

1,2	0,281	9627,9	4378,9	2042,1	1083,5	379,5	249,3	173,2	125,3	77,9
1,6	0,374	12837,2	5838,5	2722,8	1444,7	505,9	332,5	231	167,1	103,9
2	0,468	16046,5	7298,1	3403,4	1805,8	632,4	415,6	288,7	208,8	129,8
2,4	0,561	19255,8	8757,7	4084,1	2167	758,9	498,7	346,4	250,6	155,8
2,8	0,655	22465,1	10217,4	4764,8	2528,1	885,4	581,8	404,2	292,4	181,8
3,2	0,749	25874,4	11677,4	5445,5	2889,3	1011,9	664,9	461,9	334,1	207,7
3,6	0,842	28883,7	13136,6	6126,2	3250,5	1138,4	748	519,7	375,9	237,4
4	0,936	32093	14596,2	6806,9	3611,6	1264,9	831,1	577,4	417,7	272,9
4,4	1,029	35302,3	16055,8	7487,6	3972,8	1391,3	914,3	635,1	459,4	302,2
4,8	1,123	38511,6	17515,5	8168,3	4334	1517,8	997,4	692,9	501,2	328,2
5,2	1,216	41720,9	18975,1	8849	4695,1	1644,3	1080,5	750,6	543	350,3
5,6	1,31	44930,2	20434,7	9529,7	5056,3	1770,8	1163,6	808,4	591,3	371,6
6	1,403	48139,5	21894,3	10210,3	5417,4	1897,3	1246,7	866,1	643,1	394,7
6,4	1,497	51348,8	23354	10891	5778,6	2023,8	1329,8	923,8	691,6	417,1
6,8	1,591	54558,1	24813,6	11571,7	6139,8	2150,3	1412,9	981,6	740,5	439,6
7,2	1,684	57767,4	26273,2	12252,4	6500,9	2276,7	1496,1	1032,3	782,2	462,5
7,6	1,778	60976,7	27732,8	12933,1	6862,1	2403,2	1579,2	1080,5	823,6	485,1
8	1,871	64185,9	29192,4	13613,8	7223,3	2529,1	1662,3	1078,5	866,1	507,6
8,4	1,965	67395,3	30652,1	14294,5	7584,4	2656,2	1745,4	1066,5	908,4	529,7
8,8	2,058	70604,6	32111,7	14975,2	7945,6	2782,7	1828,5	1054,6	950,6	551,2
9,2	2,152	73813,8	33571,3	15655,9	8306,7	2909,2	1911,6	1042,8	991,9	573,2
9,6	2,246	77023,1	35030,9	16336,5	8667,9	3035,7	1994,7	1031,1	1032,3	595,2
10	2,339	80232,4	36490,6	17017,2	9029,1	3162,1	2077,9	1020,3	1071,6	617,6

D<sub>H</sub> xs = 57x3 мм

2,1	0,302	6375,7	2899,7	1352,3	717,5	251,3	165,1	114,7	83,0	51,6
2,8	0,403	8500,9	3866,3	1803	956,7	335	220,2	152,9	110,6	68,8
3,5	0,504	10626,2	4832,0	2253,8	1195,8	418,8	275,2	191,2	138,3	86
4,2	0,604	12751,4	5799,5	2704,6	1435	502,6	330,2	229,4	166	106,8
4,9	0,705	14876,7	6766,1	3155,3	1674,2	586,3	385,3	267,6	193,6	124,6
5,6	0,806	17001,9	7732,6	3606,1	1913,3	670,1	440,3	305,9	221,3	139,8
6,3	0,907	19127,1	8699,2	4056,8	2152,5	753,8	495,4	344,1	248,9	157,8

$G_{T/4}$	$V, \text{ м/с}$	Удельные линейные потери давления $\Delta p, \text{ Па/м}$ , при $t, \text{ } \rho, \text{ } \nu, \text{ } \mu, \text{ } \rho, \text{ } \tau/\text{м}^2$										
		$t=40, \nu=17,5 \times 10^{-4}, \rho=0,980$	$t=50, \nu=8 \times 10^{-4}, \rho=0,975$	$t=60, \nu=3,75 \times 10^{-4}, \rho=0,970$	$t=70, \nu=2 \times 10^{-4}, \rho=0,965$	$t=90, \nu=0,71 \times 10^{-4}, \rho=0,952$	$t=100, \nu=0,47 \times 10^{-4}, \rho=0,945$	$t=110, \nu=0,33 \times 10^{-4}, \rho=0,935$	$t=120, \nu=0,24 \times 10^{-4}, \rho=0,930$	$t=135, \nu=0,15 \times 10^{-4}, \rho=0,925$		
7	1,007	21252,4	9665,8	4507,6	2391,7	837,6	550,4	382,4	516,4	456,7		
7,7	1,108	23377,6	10632,4	4958,4	2630,8	921,4	605,4	420,6	610,1	539,6		
8,4	1,209	25502,8	11599	5409,1	2870	1005,1	660,5	458,8	710,5	628,3		
9,1	1,309	27628,1	12565,5	5859,9	3109,2	1089,9	715,5	497,1	817,3	722,8		
9,8	1,41	29753,3	13532,1	6310,7	3348,3	1172,6	770,5	101,3	930,4	822,8		
10,5	1,511	31878,6	14498,7	6761,4	3587,5	1256,4	825,6	114,3	1049,8	928,4		
11,2	1,612	34003,8	15465,3	7212,2	3826,7	1340,2	880,6	1279,6	1175,4	1039,5		
12,6	1,813	36129	16431,9	7662,9	4065,8	1423,9	935,7	1422,8	1306,9	1155,8		
13,3	1,914	38254,3	17398,4	8113,1	4305	1507,7	990,7	1572,5	1444,4	1277,4		
14	2,014	42504,7	19331,6	8564,5	4544,2	1591,4	1908,6	1728,6	1587,8	1404,2		
14,7	2,115	44630	20298,2	9015,2	4783,3	1675,2	2087,8	1890,9	1736,9	1536		
15,4	2,216	46755,2	21264,8	9466	5022,5	1759	2273,9	2059,5	1891,7	1672,9		
16,1	2,317	48880,4	22231,3	9916,7	5261,7	1842,7	2466,8	2234,1	2052,1	1814,8		
16,8	2,417	51005,7	23197,9	10367,5	5500,8	1926,5	2666,3	2414,9	2218,2	1961,6		
				10818,5	5740	2010,2	2872,5	2601,6	2389,7	2113,3		

 $D_{H, xs} = 76 \times 3 \text{ мм}$ 

3,5	0,267	2994,1	1361,7	635	336,9	118	77,5	53,9	39	24,2
4,8	0,367	4106,2	1867,5	870,9	462,1	161,8	106,3	73,9	53,4	33,2
6,1	0,466	5218,3	2373,3	1106,8	587,2	205,7	135,1	93,9	67,9	79,8
7,4	0,565	6330,4	2879,1	1342,7	712,4	249,5	163,9	113,9	82,4	111,8
8,7	0,664	7442,5	3384,9	1578,5	837,5	293,3	192,7	133,9	96,9	148,4
10	0,764	8554,6	3890,7	1814,4	962,7	337,2	221,5	153,9	111,2	189,4
11,3	0,863	9666,7	4396,5	2050,3	1087,9	381	250,3	173,9	126,3	234,6
12,6	0,962	10778,7	4902,3	2286,2	1213	424,8	279,1	194,4	142,9	283,8

13,9	1,062	11890,8	5408,1	2522	1338,2	468,6	307,9	414,9	381,1	337
15,2	1,161	13002,9	5913,9	2757,9	1463,3	512,5	336,7	445,2	445,7	394,1
16,5	1,26	14115	6419,7	2993,8	1588,5	556,2	365,6	480,1	514,5	455
17,8	1,36	15227,1	6925,5	3229,7	1713,6	600,1	394,4	519,6	587,5	519,6
19,1	1,459	16339,2	7431,2	3465,5	1838,8	644	423,6	558,8	664,7	587,8
20,4	1,558	17451,3	7937	3701,4	1963,9	687,9	452,5	604,1	745,8	659,6
21,7	1,657	18563,4	8442,8	3937,3	2089,1	731,6	481,4	654,9	831	734,9
23	1,757	19675,5	8948,6	4173,2	2214,2	775,5	510,3	704,7	920,1	813,7
24,3	1,856	20787,6	9454,4	4409	2339,4	819,3	539,2	754,6	1013	895,8
25,6	1,955	21899,7	9960,2	4644,9	2464,5	863,1	568,1	804,5	1109,7	981,4
26,9	2,055	23011,8	10466	4880,8	2589,7	906,9	597,0	854,4	1210,2	1070,2
28,2	2,154	24123,9	10971,8	5116,7	2714,8	950,8	626,0	904,3	1314,4	1162,4
29,5	2,253	25236	11477,6	5352,5	2840	1000,7	655,1	954,2	1422,3	1257,8
30,8	2,353	26348	11983,4	5588,4	2965,1	1050,6	684,6	1004,1	1533,7	1366,4

 $D_{H, xs} = 89 \times 3,5 \text{ мм}$ 

5	0,278	2271,5	1033,1	481,8	255,6	89,5	58,8	40,9	29,6	18,4
6,6	0,357	2986,3	1363,7	635,9	337,4	118,2	77,7	53,9	39	24,3
8,2	0,456	3725,2	1694,3	790,1	419,2	146,8	96,5	67	48,5	31,1
9,8	0,545	4452,1	2024,8	944,3	501	175,5	115,3	80,1	57,9	38,2
11,4	0,635	5178,9	2355,4	1098,4	582,8	204,1	134,1	93,2	67,0	45,3
13	0,724	5905,8	2686	1252,6	664,6	232,8	152,9	106,3	76,9	52,4
14,6	0,813	6632,7	3016,6	1406,8	746,4	261,4	171,8	119,3	86,0	60,5
16,2	0,902	7359,5	3347,2	1560,9	828,2	290,1	190,5	132,8	96,0	69,6
17,8	0,991	8086,4	3677,8	1715,1	910	318,7	209,4	152,8	106,9	79,7
19,4	1,08	8813,3	4008,4	1869,3	991,8	347,4	228,2	172,1	117,1	89,8
21	1,169	9540,1	4338,9	2023,5	1073,6	376	247,1	187,0	128,1	100,9
22,6	1,258	10267	4669,5	2177,6	1155,4	404,6	266,0	206,9	139,1	112,0
24,2	1,347	10993,8	5000,1	2331,8	1237,2	433,3	284,9	226,0	150,1	123,1
25,8	1,436	11720,7	5330,7	2486	1319	461,9	303,8	245,0	161,1	134,2
27,4	1,525	12447,6	5661,3	2640,1	1400,8	490,6	322,7	264,0	172,1	145,3
29	1,614	13174,5	5991,9	2794,3	1482,6	519,2	341,6	282,9	183,0	156,4
30,6	1,703	13901,3	6322,5	2948,5	1564,4	547,9	360,5	301,8	193,9	167,5
32,2	1,792	14628,2	6653	3102,6	1646,2	577,0	380,4	321,7	204,8	178,6
33,8	1,881	15355	6983,6	3256,8	1728	606,1	400,3	341,6	215,7	189,7

G, т/ч	V, м/с	Удельные линейные потери давления Δр, Па/м, при t, ОС, ν, м <sup>2</sup> /с, ρ, т/м <sup>3</sup>									
		t=40, ν=17,5x 10 <sup>-4</sup> , ρ=0,980	t=50, ν=8x 10 <sup>-4</sup> , ρ=0,975	t=60, ν=3,75x 10 <sup>-4</sup> , ρ=0,970	t=70, ν=2x 10 <sup>-4</sup> , ρ=0,965	t=90, ν=0,71x 10 <sup>-4</sup> , ρ=0,952	t=100, ν=0,47x 10 <sup>-4</sup> , ρ=0,945	t=110, ν=0,33x 10 <sup>-4</sup> , ρ=0,935	t=120, ν=0,24x 10 <sup>-4</sup> , ρ=0,930	t=135, ν=0,15x 10 <sup>-4</sup> , ρ=0,925	
35,4	1,97	16081,9	7314,2	3411	1809,8	1239	1109,3	1004,7	922,9	816,2	
37	2,059	16808,8	7644,8	3565,1	1891,6	1338,6	1198,6	1085,5	997,1	881,8	
38,6	2,149	17535,6	7975,4	3719,3	1973,4	1441,6	1290,7	1169	1073,8	949,6	

D<sub>H</sub>xs = 108x4 мм

7,5	0,281	1540,5	700,6	326,7	173,4	60,7	39,9	27,7	20,0	12,5
10,1	0,378	2074,5	943,5	440	233,5	81,8	53,7	37,3	27	35,4
12,7	0,475	2608,5	1186,4	553,3	293,6	102,8	67,6	46,9	33,9	52,9
15,3	0,573	3142,5	1429,3	666,5	353,7	123,9	81,4	56,5	82,8	73,3
17,9	0,670	3676,6	1672,1	779,8	413,7	144,9	95,2	66,1	109	96,4
20,5	0,767	4210,6	1915	893,1	473,8	165,9	109	150,5	138,2	122,2
23,1	0,865	4744,6	2157,9	1006,3	533,9	187	122,9	185,5	170,3	150,6
25,7	0,962	5278,7	2400,8	1119,6	594	208	146,8	233,5	205,3	181,6
28,3	1,059	5812,7	2643,7	1232,9	654,1	229,1	164,6	264,6	243	214,9
30,9	1,156	6346,7	2886,5	1346,1	714,2	250,1	181,4	308,6	283,4	250,6
33,5	1,254	6880,7	3129,4	1459,4	774,3	271,2	198,4	355,4	326,5	288,7
36,1	1,351	7414,8	3372,3	1572,7	834,4	292,2	216,3	405,1	372,1	329,1
38,7	1,448	7948,8	3615,2	1685,9	894,5	313,3	234,3	457,5	420,2	371,6
41,3	1,546	8482,8	3858,1	1799,2	954,6	332,2	253,3	512,6	470,9	416,4
43,9	1,643	9016,8	4101	1912,5	1014,7	703,4	279,9	570,5	524	463,4
46,5	1,740	9550,9	4343,8	2025,7	1074,8	778	300,6	630,9	579,5	512,5
49,1	1,838	10084,9	4586,7	2139	1134,9	855,7	326,5	693,9	637,4	563,7
51,7	1,935	10618,9	4829,6	2252,3	1195	936,5	353,3	759,5	697,6	616,9
54,3	2,032	11152,9	5072,5	2365,5	1255,1	1020,5	380,7	827,6	760,2	672,3
56,9	2,130	11687	5315,4	2478,8	1315,2	1107,6	407,6	898,2	825	729,6

D<sub>H</sub>xs = 133x4 мм

59,5	2,227	12221	5558,2	2592,1	1375,3	1197,6	1072,3	971,2	892,1	788,9
62,1	2,324	12755	5801,1	2705,3	1435,4	1290,7	1155,7	1046,7	961,4	850,2
64,7	2,421	13289,1	6044	2818,6	1495,5	1386,8	1241,7	1124,6	1033	913,5
10	0,24	841,3	382,6	178,4	94,7	33,2	21,8	15,1	10,9	6,8
14,2	0,34	1194,6	543,3	253,4	134,4	47,1	30,9	21,5	15,5	22,3
18,4	0,441	1548	704	328,3	174,2	61	40,1	27,9	19,6	35,1
22,6	0,541	1901,3	864,7	403,3	214	74,9	49,2	34,3	24,6	50,2
26,8	0,642	2254,7	1025,5	478,2	253,7	88,9	58,4	41,6	29,7	67,7
31	0,743	2608	1186,2	553,2	293,5	102,8	67,5	49,1	34,8	84,3
35,2	0,843	2961,4	1346,9	628,1	333,3	116,7	76,6	56,6	40,1	101,6
39,4	0,944	3314,7	1507,6	703	373	130,6	85,7	64,6	45,2	128,9
43,6	1,044	3668,1	1668,3	778	412,8	144,6	94,8	73,5	50,4	156,6
47,8	1,145	4021,4	1829	852,9	452,6	158,5	104,0	82,4	55,6	184,3
52	1,246	4374,8	1989,7	927,9	492,3	172,4	113,1	91,3	60,7	212,0
56,2	1,346	4728,1	2150,4	1002,8	532,1	186,3	122,2	100,0	66,0	240,7
60,4	1,447	5081,4	2311,1	1077,8	571,8	200,0	131,3	108,7	71,9	269,4
64,6	1,547	5434,8	2471,8	1152,7	611,6	214,6	140,4	117,6	77,8	298,1
68,8	1,648	5788,1	2632,2	1227,7	651,4	229,1	150,0	127,0	83,7	326,8
73	1,749	6141,5	2793,5	1302,6	691,1	243,6	159,1	135,9	89,6	355,5
77,2	1,849	6494,8	2953,9	1377,5	730,9	258,1	168,2	145,0	95,5	384,2
81,4	1,95	6848,2	3114,6	1452,5	770,7	272,6	177,3	153,9	101,4	412,9
85,6	2,05	7201,5	3275,3	1527,4	810,4	287,1	186,4	162,8	107,3	441,6
89,8	2,151	7554,9	3436	1602,4	850,2	301,6	195,5	171,7	113,2	470,0
94	2,252	7908,2	3596,7	1677,3	890	316,1	204,6	180,6	119,1	498,7
98,2	2,352	8261,5	3757,4	1752,3	929,7	330,6	213,7	189,7	124,0	527,4
102,4	2,453	8614,9	3918,1	1827,2	969,5	345,1	222,8	198,8	129,9	556,1

D<sub>H</sub>xs = 159x4,5 мм

16	0,266	649,1	295,2	137,7	73,1	25,6	16,8	11,7	8,4	10,6
22	0,366	892,6	406,0	189,3	100,4	35,2	23,1	16,1	20,9	18,5
28	0,466	1136	516,7	240,9	127,8	44,8	29,4	34,7	31,9	28,2

G <sub>г</sub> т/ч	V <sub>г</sub> м/с	Удельные линейные потери давления Δр, Па/м, при t, ОС, ν, м <sup>2</sup> /с, ρ, т/м <sup>3</sup>									
		t=40, ν=17,5x 10 <sup>-4</sup> , ρ=0,980	t=50, ν=8x 10 <sup>-4</sup>	t=60, ν=3,75x 10 <sup>-4</sup>	t=70, ν=2x 10 <sup>-4</sup>	t=80, ν=0,71x 10 <sup>-4</sup>	t=90, ν=0,47x 10 <sup>-4</sup>	t=100, ν=0,33x 10 <sup>-4</sup>	t=110, ν=0,24x 10 <sup>-4</sup>	t=120, ν=0,15x 10 <sup>-4</sup>	t=135, ν=0,0925x 10 <sup>-4</sup>
34	0,566	1379,4	627,4	292,6	155,2	54,4	35,7	48,7	44,8	39,6	
40	0,665	1522,9	738,1	344,2	182,6	64	71,5	64,7	59,5	52,6	
46	0,765	1866,3	848,8	395,8	210	73,6	91,3	82,7	76	67,2	
52	0,865	2109,7	959,5	447,5	237,4	83,1	113,1	102,5	94,1	83,2	
58	0,965	2353,2	1070,2	499,1	264,8	92,7	137	124,1	113,9	100,8	
64	1,065	2596,6	1181	550,7	292,2	181,7	162,7	147,4	135,4	119,7	
70	1,164	2840	1291,7	602,4	319,6	212,6	190,3	172,4	158,4	140	
76	1,264	3083,5	1402,4	654	347	245,5	219,8	199,1	182,9	161,7	
82	1,364	3326,9	1513,1	705,6	374,4	280,4	251,1	227,4	208,9	184,7	
88	1,464	3570,3	1623,8	757,3	401,8	317,3	284,1	257,3	236,3	209	
94	1,564	3813,8	1734,5	808,9	429,2	356,1	318,9	288,8	265,3	234,6	
100	1,663	4057,2	1845,3	860,5	456,6	396,8	353,3	321,8	295,6	261,4	
106	1,763	4300,6	1956	912,2	484	439,5	393,5	356,4	327,3	289,5	
112	1,863	4544	2066,7	963,8	511,4	483,9	433,3	392,4	360,4	318,8	
118	1,963	4787,5	2177,4	1015,4	538,8	530,2	474,7	429,9	394,9	349,2	
124	2,063	5030,9	2288,1	1067,1	566,2	578,2	517,7	468,9	430,7	380,9	
130	2,162	5274,3	2398,8	1118,7	593,6	628,1	562,4	509,3	467,9	413,8	
136	2,262	5517,8	2509,5	1170,3	621	679,7	608,6	551,2	506,3	447,7	
142	2,362	5761,2	2620,3	1221,9	648,3	733	656,3	594,5	546	482,9	
148	2,462	6004,6	2731	1273,6	675,7	788,1	705,6	639,1	587	519,2	

D<sub>H,xs</sub> = 219x6 мм

34	0,297	380,4	173	80,7	42,8	15	9,9	6,8	8,8	7,8
45	0,393	503,4	229	106,8	56,7	19,8	13	15,7	14,4	12,7
56	0,489	626,5	284,9	132,9	70,5	24,7	25,4	23	21,1	18,7

67	0,585	749,5	340,9	159	84,3	29,5	34,7	31,4	28,9	25,5
78	0,681	872,6	396,9	185,1	98,2	34,4	45,3	41,0	37,7	33,3
89	0,777	995,6	452,8	211,2	112	63,7	57,1	51,7	47,5	42
100	0,873	1118,7	508,8	237,3	125,9	78,1	70	63,4	58,2	51,5
111	0,970	1241,7	564,8	263,4	139,7	93,8	84	76,1	69,9	61,8
122	1,066	1364,8	620,7	289,5	153,6	110,7	99,1	89,7	82,4	72,9
133	1,162	1487,9	676,7	315,6	167,4	128,7	115,2	104,4	95,9	84,8
144	1,258	1610,9	732,7	341,7	181,3	147,9	132,4	119,9	110,2	97,4
155	1,354	1734	788,6	367,8	195,1	168,2	150,6	136,4	125,3	110,8
166	1,450	1857	844,6	393,9	209	189,7	169,8	153,8	141,3	125
177	1,546	1980,1	900,6	420	222,8	212,2	190	172,1	158,1	139,8
188	1,642	2103,1	956,5	446,1	236,7	235,8	211,2	191,3	175,7	155,4
199	1,738	2226,2	1012,5	472,2	250,5	260,5	233,3	211,3	194,1	171,6
210	1,834	2349,2	1068,5	498,3	264,4	286,2	256,3	232,1	213,2	188,6
221	1,93	2472,3	1124,4	524,4	278,2	313	280,3	253,8	233,1	206,2
232	2,026	2595,4	1180,4	550,5	447,5	340,8	305,1	276,3	253,8	224,5
243	2,122	2718,4	1236,4	576,6	485,3	369,5	330,9	299,7	275,3	243,4
254	2,219	2841,5	1292,3	602,7	524,4	399,3	357,5	323,8	297,4	263
265	2,315	2964,5	1348,3	628,8	564,8	430,1	385,1	348,8	320,3	283,3
276	2,411	3087,6	1404,3	654,9	606,4	461,8	413,5	374,5	344	304,3

D<sub>H,xs</sub> = 273x7 мм

50	0,279	228,2	103,8	48,4	25,7	9	5,9	6,5	6	5,3
68	0,379	310,4	141,2	65,3	34,9	12,2	12,3	11,1	10,2	9
86	0,478	392,5	178,5	83,3	44,2	15,5	18,5	16,8	15,4	13,6
104	0,580	474,7	215,9	100,7	53,4	28,9	25,8	23,4	21,5	19
122	0,681	556,9	253,3	118,1	62,7	38,2	34,2	30,9	28,4	25,1
140	0,781	639	290,6	135,5	71,9	48,6	43,5	39,4	36,2	32
158	0,882	721,2	328	153	81,2	60	53,7	48,7	44,7	39,5
176	0,982	803,3	365,4	170,4	90,4	72,5	64,9	58,8	54	47,7
194	1,082	885,5	402,7	187,8	99,7	85,9	76,9	69,7	64	56,6
212	1,183	967,7	440,1	205,2	108,9	100,4	89,9	81,4	74,8	66,1
230	1,283	1049,8	477,5	222,7	118,1	115,8	103,7	93,9	86,2	76,3
248	1,384	1132	514,8	240,1	127,4	132,1	118,3	107,1	98,4	87
266	1,484	1214,2	552,2	257,5	136,6	149,3	133,7	121,1	111,2	98,4



G, т/4	V, м/с	Удельные линейные потери давления Δр, Па/м, при t, ОС, ν, м <sup>2</sup> /с, ρ, т/м <sup>3</sup>									
		t=40, ν = 17,5x 10 <sup>-4</sup> , ρ = 0,980	t=50, ν = 8x 10 <sup>-4</sup> , ρ = 0,975	t=60, ν = 3,75x 10 <sup>-4</sup> , ρ = 0,970	t=70, ν = 2x 10 <sup>-4</sup> , ρ = 0,965	t=90, ν = 0,71x 10 <sup>-4</sup> , ρ = 0,952	t=100, ν = 0,47x 10 <sup>-4</sup> , ρ = 0,945	t=110, ν = 0,33x 10 <sup>-4</sup> , ρ = 0,935	t=120, ν = 0,24x 10 <sup>-4</sup> , ρ = 0,930	t = 135, ν = 0,15x 10 <sup>-4</sup> , ρ = 0,925	110,3
284	1,585	1296,3	589,6	274,9	219,9	167,4	149,9	135,8	124,7	110,3	
302	1,685	1378,5	626,9	292,4	244,8	186,4	166,9	151,2	138,9	122,8	
320	1,785	1460,6	664,3	309,8	270,9	206,3	184,7	167,3	153,7	135,9	
338	1,886	1542,8	701,7	327,2	298,2	227,1	203,3	184,1	169,1	149,6	
356	1,986	1625	739	344,7	326,5	248,6	222,6	201,6	185,2	163,8	
374	2,087	1707,1	776,4	362,1	356	271,1	242,7	219,8	201,9	178,6	
392	2,187	1789,3	813,8	379,5	386,5	294,3	263,5	238,7	219,2	193,9	
410	2,287	1871,4	851,1	396,9	418,1	318,4	285	258,2	237,1	209,7	
428	2,388	1953,6	888,5	414,4	450,7	343,2	307,3	278,3	255,7	226,1	
446	2,488	2035,8	925,9	431,8	484,4	368,9	330,3	299,1	274,8	243	
464	2,589	2117,9	963,3	449,2	519,1	395,3	354	320,6	294,5	260,4	

D<sub>HXS</sub> = 325x8 MM

75	0,294	169	76,9	35,8	19	6,7	4,4	5,7	5,2	4,6	
100	0,392	225,3	102,5	47,8	25,4	8,9	10,4	9,4	8,7	7,7	
125	0,490	281,6	128,1	59,7	31,7	17,2	15,4	14	12,8	11,3	
150	0,588	337,9	153,7	71,7	38	23,7	21,2	19,2	17,6	15,6	
175	0,686	394,3	179,3	83,6	44,4	31	27,8	25,2	23,1	20,4	
200	0,784	450,6	204,9	95,6	50,7	39,2	35,1	31,8	29,2	25,8	
225	0,882	506,9	230,6	107,5	57	48,2	43,1	39,1	35,9	31,7	
250	0,98	563,2	256,2	119,5	63,4	57,9	51,9	47	43,1	38,2	
275	1,078	619,6	281,8	131,4	69,7	68,4	61,3	55,5	51	45,1	
300	1,176	675,9	307,4	143,4	76,1	79,7	71,3	64,6	59,4	52,5	
325	1,274	732,2	333	155,3	82,4	91,7	82,1	74,3	68,3	60,4	
350	1,372	788,5	358,6	167,2	137,0	104,4	93,4	84,6	77,7	68,7	
375	1,470	844,9	384,3	179,2	154,6	117,8	105,4	95,5	87,7	77,6	

400	1,568	901,2	409,9	191,1	173,1	131,8	118	106,9	98,2	86,8	
425	1,666	957,5	435,5	203,1	192,5	146,6	131,2	118,9	109,2	96,6	
450	1,764	1013,8	461,1	215	212,7	162	145,1	131,4	120,7	106,7	
475	1,862	1070,2	486,7	227	233,9	178,1	159,5	144,4	132,7	117,3	
500	1,960	1126,5	512,3	238,9	255,8	194,8	174,4	158	145,1	128,3	
525	2,058	1182,8	538	250,9	278,6	212,2	190	172,1	158	139,8	
550	2,156	1239,1	563,6	262,8	302,3	230,2	206,1	186,7	171,4	151,6	
575	2,254	1295,5	589,2	274,8	326,7	248,8	222,8	201,8	185,3	163,9	
600	2,352	1351,8	614,8	286,7	352	268	240	217,4	199,6	176,6	

D<sub>HXS</sub> = 377x9 MM

100	0,290	123,7	56,2	26,2	13,9	4,9	5,1	4,6	4,3	3,8	
138	0,401	170,6	77,6	36,2	19,2	6,7	9	8,1	7,5	6,6	
176	0,511	217,6	99	46,2	24,5	15,4	13,8	12,5	11,4	10,1	
214	0,621	264,6	120,4	56,1	29,8	21,6	19,4	17,5	16,1	14,3	
252	0,732	311,6	141,7	66,1	35,1	28,8	25,8	23,4	21,5	19,0	
290	0,842	358,6	163,1	76,1	40,4	36,8	33	29,9	27,4	24,3	
328	0,952	405,6	184,5	86	45,6	45,7	40,9	37	34	30,1	
366	1,063	452,6	205,8	96	50,9	55,3	49,6	44,9	41,2	36,5	
404	1,173	499,6	227,2	106	86,4	65,8	58,9	53,4	49	43,3	
442	1,284	546,6	248,6	115,9	116,8	89	68,9	62,4	57,4	50,7	
480	1,394	593,5	270	135,9	133,5	101,6	79,7	72,1	66,3	58,6	
518	1,504	640,5	291,3	151,1	151,1	115,1	91	82,4	75,7	67	
556	1,615	687,5	312,7	165,8	169,6	129,2	103	93,3	85,7	75,8	
594	1,725	734,5	334,1	185,8	189,1	144	115,7	104,7	96,2	85,1	
632	1,835	781,5	355,4	209,4	209,4	159,5	128,9	116,8	107,2	94,8	
670	1,946	828,5	376,8	230,6	230,6	175,6	142,8	130,8	118,8	105	
708	2,056	875,5	398,2	252,7	252,7	192,4	157,2	142,4	130,8	118,8	
746	2,166	922,5	419,5	297,3	297,3	228,1	172,3	156,1	143,3	126,8	
784	2,277	969,5	440,9	324,3	324,3	252,8	188	170,2	156,4	138,3	
822	2,387	1016,4	462,3	352,3	352,3	278,1	204,2	184,9	169,9	150,2	
860	2,497	1063,4	483,7	381,3	381,3	304,1	221	200,2	183,9	162,6	
898	2,608	1110,4	505	411,2	411,2	329,6	238,4	215,9	198,3	175,4	
936	2,718	1157,4	526,4	442,2	442,2	359,9	256,3	232,1	213,2	188,6	

G, т/ч	V, м/с	Удельные линейные потери давления $\Delta p$ , Па/м, при $t$ , °С, $\nu$ , м <sup>2</sup> /с, $\rho$ , т/м <sup>3</sup>									
		t=40, $\nu=17,5 \times 10^{-4}$ $\rho=0,980$	t=50, $\nu=8 \times 10^{-4}$ $\rho=0,975$	t=60, $\nu=3,75 \times 10^{-4}$ $\rho=0,970$	t=70, $\nu=2 \times 10^{-4}$ $\rho=0,965$	t=90, $\nu=0,71 \times 10^{-4}$ $\rho=0,952$	t=100, $\nu=0,47 \times 10^{-4}$ $\rho=0,945$	t=110, $\nu=0,33 \times 10^{-4}$ $\rho=0,935$	t=120, $\nu=0,24 \times 10^{-4}$ $\rho=0,930$	t=135, $\nu=0,15 \times 10^{-4}$ $\rho=0,925$	

D<sub>H, xs</sub> = 426x10 мм

130	0,295	98,3	44,7	20,8	11,1	3,9	4,5	4,1	3,8	3,3
173	0,393	130,8	59,8	27,7	14,7	8,3	7,4	6,7	6,2	5,5
216	0,49	163,3	74,3	34,6	18,4	12,3	11	9,9	9,1	8,1
259	0,588	195,8	89,0	41,5	22	16,8	15,1	13,7	12,5	11,1
302	0,686	228,3	103,8	48,4	25,7	22	19,7	17,9	16,4	14,5
345	0,783	260,8	118,6	55,3	29,3	27,8	24,9	22,6	20,7	18,3
388	0,881	293,3	133,4	62,2	33	34,2	30,6	27,7	25,5	22,5
431	0,979	325,8	148,2	69,1	36,7	41,1	36,8	33,3	30,6	27,1
474	1,076	358,3	163	76	63,7	48,5	43,4	39,3	36,1	32
517	1,174	390,8	177,7	82,9	74,2	56,5	50,6	45,8	42,1	37,2
560	1,271	423,3	192,5	89,8	85,3	64,9	58,2	52,7	48,4	42,8
603	1,369	455,8	207,3	96,7	97,1	73,9	66,2	59,9	55,1	48,7
646	1,467	488,3	222,1	103,6	109,5	83,4	74,7	67,6	62,1	54,9
689	1,564	520,8	236,9	110,5	122,6	93,3	83,6	75,7	69,5	61,5
732	1,662	553,3	251,7	117,4	136,3	103,8	92,9	84,2	77,3	68,4
775	1,760	585,9	266,5	124,3	150,6	114,7	102,7	93	85,4	75,5
818	1,857	618,4	281,2	131,2	165,5	126	112,9	102,2	93,9	83
861	1,955	650,9	296	213	181,1	137,9	123,4	111,8	102,7	90,8
904	2,053	683,4	310,8	231,9	197,2	150,1	134,4	121,8	111,8	98,9
947	2,150	715,9	325,6	251,6	213,9	162,9	145,8	132,1	121,3	107,3
990	2,248	748,4	340,4	271,9	231,2	176	157,6	142,7	131,1	116

D<sub>H, xs</sub> = 480x12 мм

185	0,333	87,9	40	18,6	9,9	5,4	4,8	4,4	4	3,5
238	0,428	113,1	51,4	24	12,7	8,4	7,5	6,8	6,2	5,5
291	0,524	138,2	62,9	29,3	15,6	11,9	10,7	9,6	8,9	7,8
344	0,619	163,4	74,3	34,7	18,4	15,9	14,3	12,9	11,9	10,5
397	0,715	188,6	85,8	40	21,2	20,5	18,3	16,6	15,3	13,5
450	0,810	213,8	97,2	45,3	24,1	25,5	22,8	20,7	19	16,8
503	0,905	238,9	108,7	50,7	40,7	31	27,8	25,1	23,1	20,4
556	1,001	264,1	120,1	56,0	48,5	36,9	33,1	30	27,5	24,3
609	1,096	289,3	131,6	61,4	56,9	43,3	38,8	35,1	32,3	28,5
662	1,192	314,5	143	66,7	65,8	50,1	44,9	40,7	37,3	33
715	1,287	339,7	154,5	72	75,3	57,4	51,4	46,5	42,7	37,8
768	1,382	364,8	165,9	77,4	85,4	65	58,2	52,7	48,4	42,8
821	1,478	390	177,4	82,7	96	73,1	65,4	59,3	54,4	48,1
874	1,573	415,2	188,8	88,1	107,1	81,5	73	66,1	60,7	53,7
927	1,668	440,4	200,3	93,4	118,7	90,4	80,9	73,3	67,3	59,5
980	1,764	465,5	211,7	153,9	130,8	99,6	89,2	80,8	74,2	65,6
1033	1,859	490,7	223,2	168,7	143,4	109,2	97,8	88,6	81,4	71,9
1086	1,955	515,9	234,6	184,1	156,6	119,2	106,7	96,7	88,8	78,5
1139	2,05	541,1	246,1	200,2	170,2	129,6	116	105,1	96,5	85,4
1192	2,145	566,2	257,5	216,7	184,3	140,3	125,6	113,8	104,5	92,4
1245	2,241	591,4	269	233,9	198,8	151,4	135,6	122,8	112,8	99,7
1298	2,336	616,6	280,4	251,6	213,9	162,9	145,8	132,1	121,3	107,3
1351	2,432	641,8	291,9	269,8	229,4	174,7	156,4	141,7	130,1	115,1

D<sub>H, xs</sub> = 530x12 мм

200	0,292	62,7	28,5	13,3	7,1	3,8	3,4	3,1	2,8	2,5
267	0,39	83,7	38	17,7	9,4	6,2	5,6	5,1	4,7	4,1
334	0,488	104,6	47,6	22,2	11,8	9,2	8,3	7,5	6,9	6,1
401	0,586	125,6	57,1	26,6	14,1	12,7	11,4	10,3	9,5	8,4
468	0,684	146,6	66,7	31,1	16,5	16,7	14,9	13,5	12,4	11
535	0,782	167,6	76,2	35,6	18,9	21,1	18,9	17,1	15,7	13,9
602	0,88	188,6	85,8	40	34	25,9	23,2	21,0	19,3	17,1

$G_p$ т/ч	$V_p$ м/с	Удельные линейные потери давления $\Delta p$ , Па/м, при $t$ , ОС, $\nu$ , м <sup>2</sup> /с, $\rho$ , т/м <sup>3</sup>											
		$t=40$ , $\nu=17,5 \times 10^{-4}$ , $\rho=0,980$	$t=50$ , $\nu=8 \times 10^{-4}$ , $\rho=0,975$	$t=60$ , $\nu=3,75 \times 10^{-4}$ , $\rho=0,970$	$t=70$ , $\nu=2 \times 10^{-4}$ , $\rho=0,965$	$t=90$ , $\nu=0,71 \times 10^{-4}$ , $\rho=0,952$	$t=100$ , $\nu=0,47 \times 10^{-4}$ , $\rho=0,945$	$t=110$ , $\nu=0,33 \times 10^{-4}$ , $\rho=0,935$	$t=120$ , $\nu=0,24 \times 10^{-4}$ , $\rho=0,930$	$t=135$ , $\nu=0,15 \times 10^{-4}$ , $\rho=0,925$			
669	0,978	209,6	95,3	44,5	40,9	31,2	27,9	25,3	23,2	20,5			
736	1,076	230,6	104,9	48,9	48,3	36,8	33	29,9	27,4	24,3			
803	1,174	251,6	114,4	53,4	56,3	42,9	38,4	34,8	31,9	28,2			
870	1,272	272,6	124	57,8	64,8	49,3	44,2	40	36,7	32,5			
937	1,37	293,6	133,5	62,3	73,8	56,2	50,3	45,6	41,8	37			
1004	1,468	314,6	143,1	66,7	83,2	63,4	56,8	51,4	47,2	41,8			
1071	1,566	335,6	152,6	109,6	93,2	71	63,6	57,6	52,9	46,8			
1138	1,663	356,6	162,2	121,9	103,7	78,9	70,7	64	58,8	52			
1205	1,761	377,6	171,7	134,8	114,6	87,2	78,1	70,7	65	57,5			
1272	1,859	398,5	181,3	148,1	125,9	95,9	85,9	77,8	71,4	63,2			
1339	1,957	419,5	190,8	162,1	137,8	104,9	93,9	85,1	78,2	69,1			

Примечание. При каждом размере трубопровода над линией приведены значения удельных потерь давления при ламинарном движении мазута, под линией — при турбулентном движении, а между линиями — при переходном режиме движения мазута в трубопроводах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Водяные тепловые сети / И.В. Беляйкина, В.П. Витальев, Н.К. Громов и др.: Под ред. Н.К. Громова и Е.П. Шубина. — М.: Энергоатомиздат, 1988.

Гидравлический расчет мазутопроводов (справочное пособие). — Рига, Латгипропром, 1985.

Костов К.Д. Архитектура инженерных сооружений и промышленного интерьера. — М.: Стройиздат, 1983.

Проектирование тепловых сетей / И.П. Александров, И.В. Беляйкина, А.М. Далин и др.: Под ред. А.А. Николаева. — М.: Стройиздат, 1965.

Скворцов А.А., Заверткин И.А. Повышение надежности конструкций подземных тепловых сетей. — М.: Энергоатомиздат, 1986.

Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. — М.: Стройиздат, 1984.

Ширакс З.Э. Теплоснабжение. — М.: Энергия, 1979.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	
Введение . . . . .	
<i>Глава 1. Инженерные трубопроводные сети и их прокладка . . . . .</i>	
<i>Глава 2. Проектирование совмещенной прокладки инженерных сетей . . . . .</i>	
<i>Глава 3. Проектирование элементов совмещенно прокладываемых трубопроводных сетей . . . . .</i>	
<i>Глава 4. Опираение сетей . . . . .</i>	
<i>Глава 5. Проектирование строительных конструкций . . . . .</i>	
Заключение. . . . .	
<i>Приложения . . . . .</i>	
Список литературы . . . . .	

**Производственно-практическое издание**

**Ширакс** Зигфрид Эдуардович

### **СОВМЕЩЕННАЯ ПРОКЛАДКА ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ**

Технический редактор *И.В. Берина*  
Корректор *Н.С. Сафронова, В.И. Галюзова*  
Оператор *Л.В. Марина*  
**ИБ № 4434**

---

Подписано в печать 15.08.91 Формат 84 x 108<sup>1</sup>/32  
Бумага офсетная Печать офсетная Усл. печ. л. 12,6  
Усл.-кр. отт. 13,02 Уч.-изд. л. 16,02 Тираж 16 000 экз.  
Изд. № АУ1-1891 Заказ № 623 Цена 2 р. 90 к.

---

Стройиздат. 101442, Москва, Каляевская, 23а

Тульская типография Союзполиграфпрома  
при Государственном комитете СССР по печати  
300600, ГСП, г. Тула, пр. Ленина, 109