Г. М. ЗЮЛИКОВ

ЗАКРЫТЫЕ ОРОСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Г. М. ЗЮЛИКОВ

ЗАКРЫТЫЕ ОРОСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «КОЛОС»
Москва — 1966

УДК 626.81

ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

В книге рассмотрены различные виды закрытых оросительных систем — с самотечно-напорной полностью закрытой или комбинированной сетью и с механической подачей воды в закрытую сеть.

Большое внимание уделено оросительным системам с полиэтиленовыми трубопроводами.

Даны основы водохозяйственных и гидравлических расчетов, а также практические рекомендации по применению закрытых систем. Освещены вопросы проектирования, строительства и эксплуатации таких систем.

Книга рассчитана на гидротехников и мелиораторов, работающих в области проектирования, строительства и эксплуатации оросительных систем.

Отзывы о книге и пожелания просим направлять по адресу: Москва, К-31, ул. Дзержинского, 1/19, издательство «Колос».

4—3—5
153—66

ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С НАПОРНЫМИ ТРУБОПРОВОДАМИ

Применение закрытой оросительной сети в нашей стране исторически развивалось двумя путями. Первый путь связан с развитием дождевания, второй определился технической реконструкцией существующих оросительных систем и освоением новых земель, на которых строить открытую сеть экономически невыгодно или просто невозможно.

С индустриализацией страны, ростом городов развивалось овощеводство. Интенсивное развитие этой отрасли в большинстве случаев возможно лишь при дождевании. Воду от источника орошения к дождевальным устройствам подводили вначале с помощью переносных трубопроводов, а затем с помощью стационарных и переносных трубопроводов. Так создавалась закрытая надземная, а затем и подземная оросительная сеть при дождевании. В закрытой сети был использован опыт применения трубопроводов в других областях техники, в частности в водоснабжении.

Первая закрытая оросительная система в России была построена Г. И. Аристовым в 1875 г. Напор в трубопроводах создавался за счет естественного уклона. К чугунным трубопроводам присоединялся переносный гибкий шланг длиной 250 *м*, с примитивными приспособлениями (типа брандспойта) для полива. Этим ограничилось развитие закрытых систем в России.

В СССР все виды мелиорации стали бурно развиваться, особенно после индустриализации страны и коллективизации сельского хозяйства. Начали применяться и закрытые оросительные системы.

В довоенный период эти системы строили в основном вблизи городов для полива овощных культур с помощью дождевальных установок КДУ-39 и КДУ-41.

Из закрытых систем орошали небольшие участки —20—40 *га*. Расход воды в них составлял не более 30—40 *л/сек*. Протяженность трубопроводов была небольшая, так как такие системы устраивали в непосредственной близости от источников орошения. Воду из источника орошения подавали насосом в закрытый трубопровод, к которому посредством гидрантов (водовыпусков) присоединяли поливные крылья из тонкостенных металлических труб, снабженных короткоструйными разбрызгивателями. После полива поливное крыло переносили на следующую позицию вручную.

В послевоенный период были созданы более мощные и совершенные дождевальные установки и машины (ДДП-30С, ДМ-80, ДМ-200, КДУ-55), работающие от закрытой сети. Расход их увеличился до 200 *л/сек*. Под орошение стали осваивать участки, удаленные от источника орошения. Это требовало увеличения размеров и совершенствования конструкции закрытой сети. Применяемые ранее чугунные фасонные части и арматура, предназначенные для водоснабжения, перестали удовлетворять технико-экономическим требованиям данного способа орошения. В связи с этим начали разрабатываться новые экономически целесообразные схемы закрытых оросительных систем и сооружений на них. С этого времени начали применять закрытые стационарные, полустационарные и передвижные системы, конструкции которых разрабатывались во Всесоюзном научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации (ВНИИГиМ) с участием различных проектных организаций. Такие системы позволяли уже орошать площади размером 800 *га*.

В районах засушливой или степной зоны, где орошение составляет основу земледелия или играет решающую роль в борьбе с засухой, оросительные системы, как правило, крупные и имеют полностью открытую сеть. Многолетний опыт эксплуатации таких систем позволил установить общие их недостатки, а именно: значительные потери воды из каналов на испарение и фильтрацию, что иногда приводит к повышению уровня грунтовых вод, засолению и заболачиванию; необходимость приспосабливать каналы к микрорельефу; неизбежность устройства специальных сооружений по трассе каналов для гашения излишней энергии потока; по-

тери площади под каналы и полосы отчуждения. Кроме того, открытые каналы создают значительные препятствия для работы механизмов на полях.

Наиболее крупные недостатки систем с открытыми каналами — потери воды на фильтрацию и испарение, которые нередко достигают 40—70% общего количества забираемой воды. Это приводит к увеличению размеров каналов и сооружений на них и, следовательно, к значительному их удорожанию. Излишние количества подаваемой воды, а вместе с ней и наносов увеличивают объем работ по эксплуатации сети. Убытки от этого ежегодно составляют значительную часть от общих расходов.

Площадь, занятую оросительными каналами и резервами, не только нельзя использовать для возделывания сельскохозяйственных культур, но к тому же она является очагом развития сорной растительности. Наконец, при сильно пересеченном рельефе местности открытую сеть строить очень трудно, а в некоторых случаях и невозможно.

Для борьбы с потерями воды, с заболачиванием и засолением земель академик В. Р. Вильямс в 1936 г. рекомендовал заменить открытые оросительные каналы закрытыми трубопроводами. С этого периода разработкой закрытых оросительных систем начали заниматься научно-исследовательские и проектные учреждения.

В 1940 г. профессор Ф. И. Пикалов (ВНИИГиМ) предложил заменить каналы внутрихозяйственной оросительной сети подземными трубопроводами с гидрантами для выпуска воды [22]. В своей второй работе по этому вопросу [23] он дал основные технические показатели оросительных систем с внутрихозяйственной закрытой напорной сетью.

Этими, а также аналогичными работами других научно-исследовательских и проектных институтов (ВНИИГиМ, МГМИ, Росгипроводхоз, Гипроводхоз, АрмНИИГиМ, ГрузНИИГиМ и др.) был подготовлен переход к проектированию закрытых систем на больших площадях. Разрабатывались новые варианты схем оросительных систем с применением напорных трубопроводов.

В последние годы закрытые оросительные системы построены и сооружаются на площадях в несколько

тысяч гектаров, например Апшеронская в Азербайджане, Салгирская в Крыму, Верхне-Самгорская в Грузии и др. Эти системы предназначены для полива овощных и кормовых культур, садов, виноградников, ягодников и цитрусовых.

В Средней Азии идет строительство закрытых оросительных систем для полива хлопчатника. Такие системы уже построены и эксплуатируются в Голодной степи в совхозе «Фархад» Узбекской ССР — площадь орошения 7000 *га*, в совхозах Таджикской ССР — «Ленинабад», совхоз № 1 и «40 лет Таджикистана» — общая площадь около 19 тыс. *га* (1965 г.) и в ряде других хозяйств.

В настоящее время в Советском Союзе из закрытых оросительных систем орошается более 200 тыс. *га* земли.

В США закрытые системы распространены широко. Такие системы имеются в штатах Оригон, Вашингтон, Калифорния, в низовьях долины Рио-Гранде, в Техасе и на Атлантическом побережье.

Орошаемые площади, как правило, невелики — не более 30—60 *га*. Это объясняется условиями ведения хозяйства. Каждый фермер старается иметь свою оросительную сеть. Однако в последнее время закрытые системы начали применять и на больших площадях — до 4000 *га*. Такие системы более рентабельны.

В США закрытые системы строят стационарными, полустационарными и передвижными.

Стационарные системы применяются в основном для орошения садов, цитрусовых и питомников. Поливают из таких систем дождеванием и самотеком. Существуют стационарные установки с неподвижными насадками, с главными подземными и боковыми трубопроводами и со стационарными насосными установками. Стоимость оборудования таких систем высокая, но эксплуатационные расходы небольшие. В штатах Калифорния, Оригон, Вашингтон, Аризона, Нью-Мексико и в некоторых штатах горных районов больше распространены в стационарных системах бетонные трубопроводы. В западных штатах, по данным проф. О. У. Израильсена [14], проложены под землей тысячи километров оросительных бетонных труб. Вода из подземных трубопроводов поднимается по вертикальным патрубкам и, пройдя через задвижки, поступает в выводные борозды, из которых

через трубочки и сифоны поступает в чеки, полосы или поливные борозды.

Иногда к бетонным трубопроводам вместо выводной борозды присоединяют переносные надземные поливные трубы с отверстиями для выпуска воды в борозды.

Полустационарные системы применяются с 1930 г. для полива садов, пастбищ и других культур при определенных границах орошаемого участка. Такие системы состоят из подземного главного трубопровода, переносных дождевальных или поливных устройств и стационарной насосной установки.

Передвижные системы используют при выборочных поливах — поливах одной из культур, входящей в севооборот. При этом другие культуры орошают иными способами или не поливают совсем. Полив из таких систем проводят дождеванием. В передвижную систему входят переносные боковые трубопроводы с насадками и передвижная насосная установка.

В последнее время больше применяют полустационарные и стационарные системы.

Подземные трубопроводы изготовляют из железобетонных и металлических труб. Для переносных линий используют как стальные трубы, так и алюминиевые. Последние применяют чаще.

Наиболее рентабельной системой в США считают полустационарную с вращающимися насадками на трубопроводе. Затраты труда на поливе из закрытых систем дождеванием, по данным Американского информационного бюро, соизмеримы с затратами труда при поверхностных способах полива, хотя в отдельных случаях они различны. Воды при этом расходуется на 25—50% меньше, чем при поверхностном способе полива из открытой сети, а экономия орошаемой площади нетто составляет 1—5%. Другие положительные качества закрытой сети в США — экономное использование средств, лучшие условия для работы механизмов на полях и ликвидация очагов сорной растительности — каналов.

В Алжире в верхнем течении р. Шелиор имеются значительные площади, орошаемые при помощи закрытых оросительных систем. Питаются они из водохранилища, образованного плотиной «Гриб». На правом берегу реки орошают только из закрытой сети, на левом — из полностью закрытых и комбинированных систем (соче-

тание закрытых трубопроводов и открытых каналов). Трубопроводы закрытых систем смонтированы из предварительно напряженных железобетонных труб диаметром от 200 до 1250 *мм*. Площадь орошения закрытыми и комбинированными системами на этом массиве составляет 8000 *га*. Поливают из закрытых систем самотеком.

Другой большой массив, где применяются закрытые оросительные системы,— район Орлеанвиля. Оросительная вода подается из водохранилища на р. Фодда по железобетонному трубопроводу протяженностью 13 370 *м*, диаметром от 2300 до 2600 *мм* и на расход 7 $м^3/сек$.

Распределительные и оросительные водоводы систем, питающихся из водохранилища на р. Фодда, состоят из закрытых железобетонных трубопроводов и открытых железобетонных лотков на опорах. Протяженность трубопроводов диаметром от 2600 до 1000 *мм* составляет 64 *км*. Длина закрытых трубопроводов меньших диаметров и железобетонных лотков составляет 300 *км*. Полив проводят самотеком.

Закрытые и комбинированные оросительные системы позволяют максимально экономить воду, существенно улучшить методы ее регулирования и упростить эксплуатацию оросительных систем. Эти системы в Алжире применяются в основном для орошения ценных культур: олив, цитрусовых, виноградников и овощей.

В Австралии распространены автоматически действующие закрытые оросительные системы, разработанные инж. П. Н. Ньютоном. Воду в этих системах подают по подземным трубам в шланги из пластмассы, откуда она поступает в дождевальные аппараты с вращающимися насадками. Дождевальные аппараты имеют специальные релейные устройства, соединенные с пористыми элементами, которые расположены в почве. При уменьшении влажности почвы ниже нормы релейные устройства включают дождевальные аппараты. Автоматически действующий клапан выключает аппараты через определенное время или после пропуска заданного количества воды. Обслуживающий персонал таких систем небольшой.

Закрытые оросительные системы применяются также в Индии, Италии, Франции и других странах.

ТИПЫ, КОНСТРУКЦИИ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАКРЫТЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Оросительные системы с напорными трубопроводами в зависимости от способа подачи воды в оросительную сеть различают двух типов: с самотечно-напорной полностью закрытой или комбинированной сетью; с механической подачей воды в закрытую сеть.

При поливе из закрытых оросительных систем применяются три способа подачи и распределения воды.

Первый способ — поверхностное орошение. Оросительная вода распределяется по бороздам или полосам и из них поступает в почву.

Второй способ — дождевание. Вода в виде дождя распыляется над орошаемой площадью, увлажняется не только почва, но и наземные части растений.

Третий способ — подпочвенное орошение. Вода подводится снизу по заложенным в земле перфорированным трубам. Вода через отверстие в трубах поступает в почву и увлажняет ее.

Каждый способ орошения отличается по характеру создаваемого водного режима в почве, по глубине промачивания и характеру увлажнения поверхностных слоев почвы.

В первых двух способах орошения почва и растения обеспечиваются водой за счет периодических поливов.

При поверхностном способе орошения глубина промачивания почвы больше, чем при других способах. При орошении дождеванием поливы проводят более часто, но при меньшей поливной норме.

Подпочвенное орошение позволяет получать только капиллярное увлажнение верхних слоев почвы и поддерживать определенную глубину увлажнения ее. Оно обеспечивает непрерывное водоснабжение растений.

В производстве при поливе из закрытой сети распространены дождевание и поверхностный способ орошения, основанные на принципе периодической подачи воды и аккумуляции ее в почве. Сроки и нормы поливов в каждом конкретном случае должны быть такими, чтобы поддерживался необходимый водный и связанные с ним воздушный, питательный и тепловой режимы в почве и чтобы поливы проводились с наиболее высоким коэффициентом использования воды.

ОРОСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С САМОТЕЧНО-НАПОРНОЙ ПОЛНОСТЬЮ ЗАКРЫТОЙ ИЛИ КОМБИНИРОВАННОЙ СЕТЬЮ

Оросительные системы с самотечно-напорной полностью закрытой или комбинированной сетью характеризуются тем, что оросительная вода в трубопроводах транспортируется за счет напора, создаваемого естественным уклоном местности.

В полностью закрытой самотечно-напорной оросительной сети водоводы устраивают только из трубопроводов. Такая оросительная сеть встречается еще редко, хотя в предгорных районах ее почти всегда можно построить. Например, на Салгирской оросительной системе в Крыму, где оросительная вода из источника орошения поступает сразу в межхозяйственный магистральный трубопровод, можно построить полностью закрытую сеть от водозабора до поливных или дождевальных установок.

Оросительные системы с напорными трубопроводами чаще всего имеют комбинированную сеть, состоящую из открытых каналов и закрытых (подземных) трубопроводов. Воду из источника орошения в большинстве случаев забирают открытым каналом и транспортируют ее до орошаемого массива, где она поступает в сеть самотечно-напорных трубопроводов. В тех случаях, когда орошаемая площадь расположена выше источника орошения, воду из него подают с помощью насосной станции по трубопроводу на командную точку, откуда открытым каналом транспортируют на орошаемый массив. Из канала воду забирают сетью закрытых, самотечно-напорных трубопроводов, которые располагают поперек горизонталей.

При проектировании самотечно-напорных трубопроводов необходимо учитывать, что это не простая замена каналов трубопроводами. Самотечно-напорную сеть можно строить лишь на участках, уклон поверхности которых превышает 0,003. Это необходимо для движения воды по трубам и вывода ее на поверхность.

Если оросительная вода несет с собой взвешенные наносы, то минимально допустимые скорости в трубопроводах зависят от крупности частиц и количества наносов. Нельзя допускать отложения наносов в трубах. При максимальной скорости должен происходить размыв и вынос наносов, выпавших на дно трубопроводов в стоячей воде после прекращения полива или при опорожнении трубопровода.

Следовательно, самотечно-напорную сеть можно применять на участках, уклон поверхности которых обеспечивает незаиляемость трубопроводов.

Трубопроводы оросительной системы по своему назначению делятся на ряд категорий. Однако единой терминологии по классификации трубопроводов нет. В дальнейшем изложении для водопроводов внутрихозяйственной сети приняты обозначения: хозяйственные — ХТ, распределительные — РТ и полевые — ПТ.

Хозяйственный водовод выполняется в виде трубопровода или канала. Длина его определяется в зависимости от конфигурации орошаемого участка и принятой конструкции сети. Если площадь орошаемого участка достаточно большая и ее нельзя освоить при одном только хозяйственном водоводе, то устраивают еще участковые распределители, которые разбивают орошаемую площадь на ряд участков.

Из распределительных трубопроводов вода поступает в полевые трубопроводы или временные открытые каналы.

Полевые трубопроводы оборудуют гидрантами, к ним подключают дождевальные или поливные машины.

Комбинированную сеть можно выполнять по трем основным схемам:

хозяйственный канал или трубопровод с минимальным уклоном проходит по местности почти вдоль горизонталей (рис. 1).

Перпендикулярно или под углом к нему отходят распределительные трубопроводы, а от них — полевые

трубопроводы, которые идут вдоль горизонталей или под небольшим углом к ним [16];

от хозяйственного канала или трубопровода нормально к горизонталям или под небольшим углом отходят распределительные подземные трубопроводы, а от них в направлении горизонталей с необходимым уклоном идут открытые оросители [31] (рис. 2);

от хозяйственного или распределительного канала отходят закрытые оросители — полевые трубопроводы

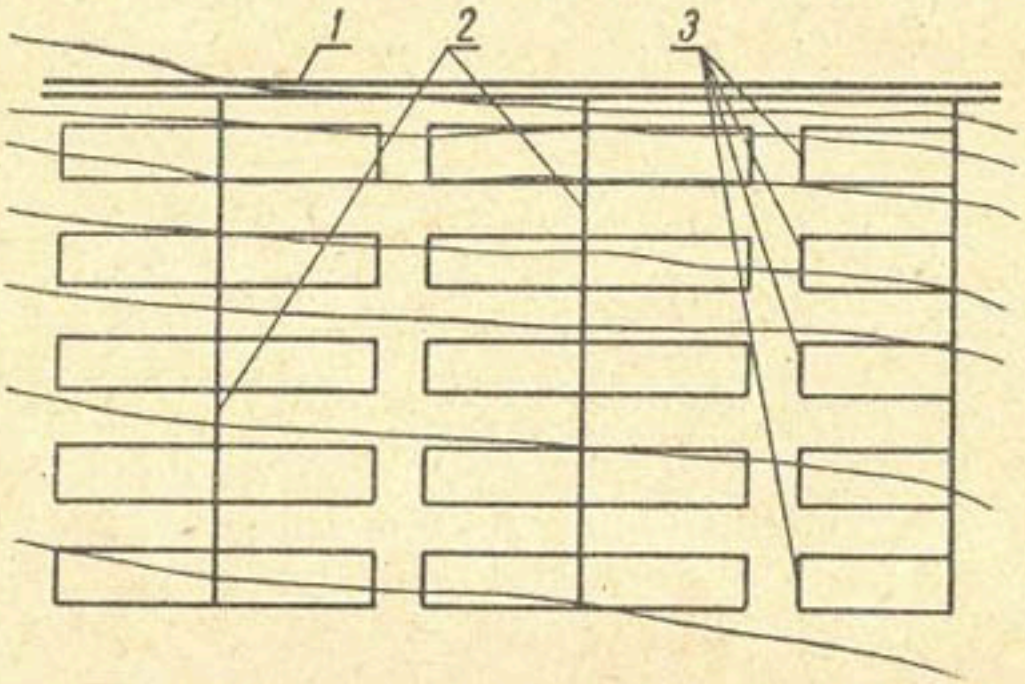


Рис. 1. Схема закрытой оросительной сети:
1 — хозяйственный трубопровод ХТ или канал; *2* — распределительные трубопроводы РТ; *3* — полевые трубопроводы ПТ.

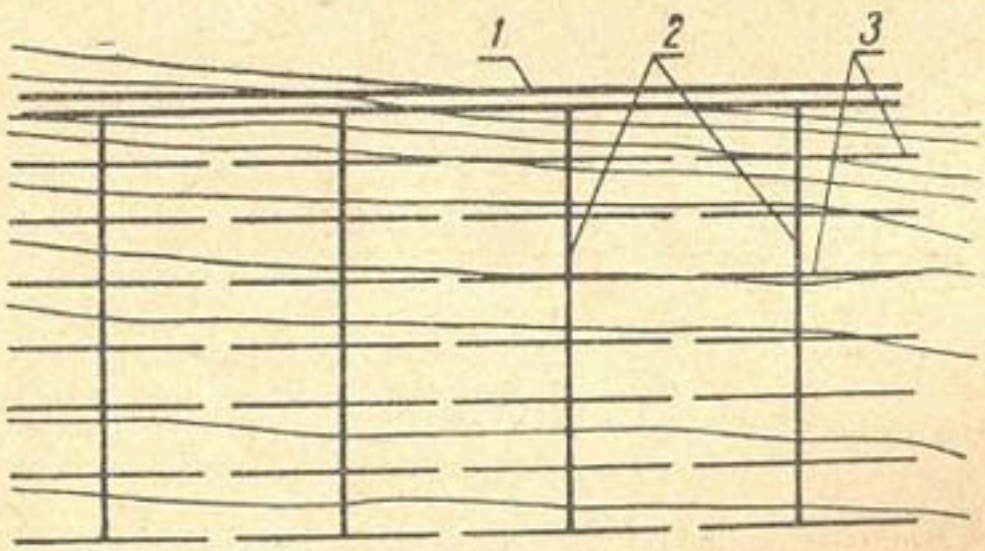


Рис. 2. Схема комбинированной оросительной сети:
1 — хозяйственный канал; *2* — распределительные трубопроводы; *3* — открытые оросители.

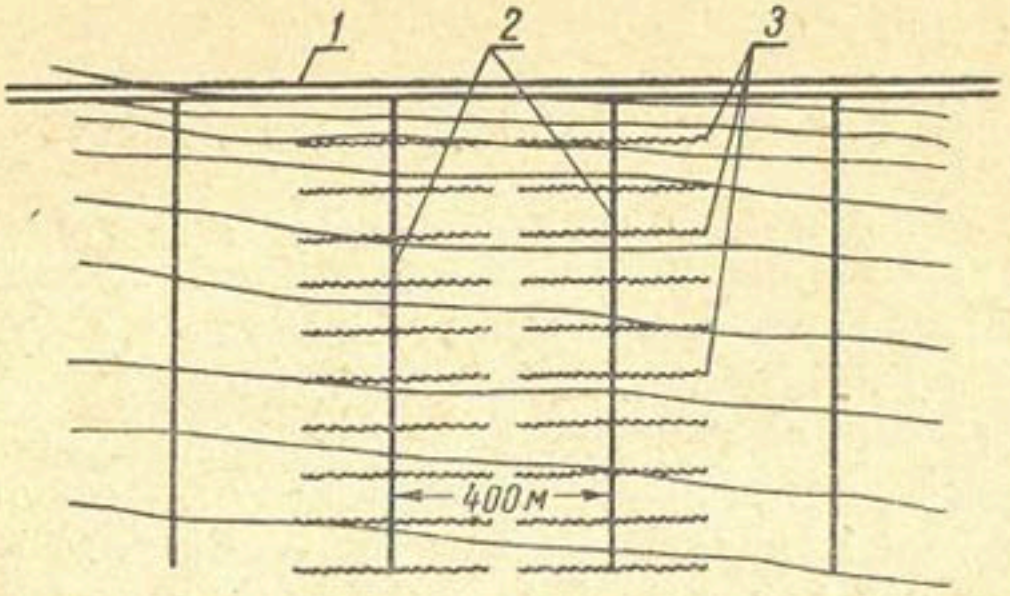


Рис. 3. Схема оросительной сети с закрытыми оросителями (полевыми трубопроводами):

1 — хозяйственный канал; *2* — закрытые оросители (полевые трубопроводы); *3* — гибкие поливные трубопроводы или борозды.

(рис. 3). Из полевых трубопроводов вода подается в гибкие поливные шланги или выводные борозды [22, 23].

Выбор конструкции сети зависит от размера и рельефа участка, а также от техники полива.

ОРОСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С МЕХАНИЧЕСКОЙ ПОДАЧЕЙ ВОДЫ В ЗАКРЫТУЮ СЕТЬ

В системах такого типа оросительная вода насосными агрегатами подается под напором в сеть трубопроводов, из которых она забирается дождевальными машинами или другими поливными устройствами (гибкими или жесткими поливными трубопроводами, дождевальными трубопроводами, поливными машинами и т. д.). В таких системах обычно нет открытых каналов, однако воду от источника орошения к насосным станциям можно подводить и по открытому каналу.

Оросительные системы с механической подачей воды применяются в тех случаях, когда уровень воды в источнике орошения ниже поверхности орошаемого участка или напор, создаваемый естественным уклоном местности, оказывается недостаточным. Первый случай встречается чаще. При этом весь требуемый напор в системе

создается насосной станцией. Во втором случае полностью используется напор, получаемый за счет естественного уклона местности, а недостающий обеспечивается насосной станцией.

Оросительная система представляет собой комплекс сооружений и поливных устройств. Сюда входит источник орошения, которым может быть река, водохранилище, озеро или грунтовые воды. Вода от источника орошения до орошаемого массива или поливного участка подается насосной станцией по трубопроводам. При механической подаче воды в закрытую сеть с помощью трубопроводов и насосной станции воду можно подать в любую точку орошаемого массива. При подборе участка под орошение следует стремиться к тому, чтобы он был расположен ближе к источнику орошения, так как увеличение транзитной части трубопровода повышает строительную и эксплуатационную стоимость системы. Насосную станцию устраивают стационарной, полустационарной или передвижной. От правильного выбора типа и параметров ее зависит не только своевременное и высококачественное проведение поливов, но и экономические показатели.

Основным элементом системы является сеть трубопроводов. От того, насколько правильно выбрана схема сети, зависит успешное решение всей задачи орошения.

Закрытые оросительные системы в зависимости от конструкции сети делятся на стационарные, полустационарные и передвижные.

В стационарных системах воду транспортируют под напором по трубопроводам, заложенным в земле. На подземных трубопроводах устанавливают постоянные гидранты, через которые вода подается в дождевальные машины или другие поливные устройства.

В полустационарных системах оросительная сеть состоит из постоянных подземных и передвижных поверхностных (временных) трубопроводов. Гидранты устанавливают на постоянных трубопроводах.

В передвижных трубчатых системах оросительной сетью служат разнообразные трубопроводы, расположенные на поверхности земли; всю сеть можно легко разбирать и перемещать на другой участок.

По напору закрытая сеть делится на низконапорные (для короткоструйных дождевальных машин), средне-

напорные (для среднеструйных) и высоконапорные (для дальнеструйных).

Оросительные системы с механической подачей воды в стационарную закрытую сеть. Тип оросительной системы, как и конструкцию сети с стационарными трубопроводами, укладываемыми в землю, определяют в зависимости от конкретных условий орошаемого участка и типа дождевальных машин или установок.

Схема закрытой оросительной сети должна быть оптимальной, такой, которая для данного конкретного случая обладает наивыгоднейшими технико-экономическими показателями, позволяющими получать максимальный урожай. Она должна удовлетворять следующим основным условиям: иметь наивыгоднейшие размеры трубопроводов, отвечать требованиям данной техники полива и организации возделывания сельскохозяйственных культур.

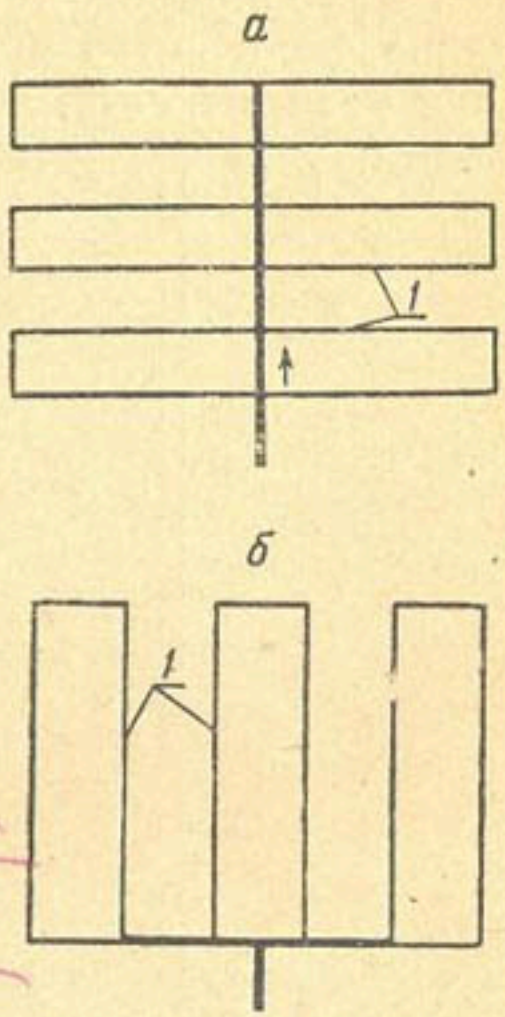


Рис. 4. Основные схемы закрытой оросительной сети с механической подачей воды:
а — Т-образная; *б* — Ш-образная; *1* — полевые трубопроводы.

Из различных схем закрытых оросительных сетей с механической подачей воды в них [17] наиболее типичны Т-образная и Ш-образная (рис. 4).

Полевые трубопроводы, подающие воду в дождевальные машины или устройства, располагают прямолинейно и параллельно друг другу. Эти трубопроводы составляют в среднем 70—90% всей протяженности оросительной сети, поэтому нужно стремиться к уменьшению их диаметра. Уменьшить диаметр (при заданной длине трубопровода) можно двумя способами: увеличением скорости движения воды в трубопроводах и кольцеванием сети.

Однако увеличивать скорость движения воды можно в определенных пределах. При машинной подаче воды за расчетную принимают такую скорость, при которой

диаметр трубопровода получается экономически наиболее выгодным.

Кольцевание сети уменьшает диаметр трубопроводов и обеспечивает бесперебойную подачу воды при авариях. В то же время при сплошном кольцевании полевых трубопроводов значительно возрастает общая их длина, количество арматуры и усложняются гидравлические расчеты сети.

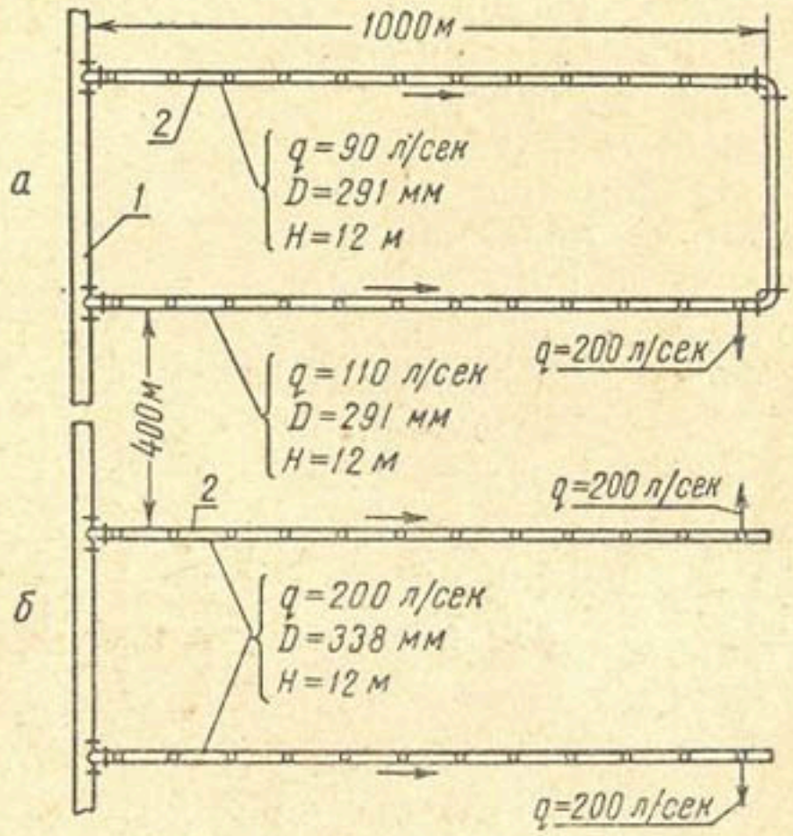


Рис. 5. Сравнение двух вариантов расположения полевых трубопроводов:

а — парное кольцевание; *б* — тупиковое расположение; *1* — магистральный трубопровод (распределительный); *2* — полевые трубопроводы.

Исследования показали, что если кольцевать полевые трубопроводы попарно, то можно существенно сократить затраты материалов. Однако следует иметь в виду, что такое кольцевание не всегда дает наиболее выгодную конструкцию сети по технико-экономическим показателям. При длине полевых трубопроводов до 400—500 *м* и расстоянии между ними до 400 *м* более экономична сеть с тупиковыми полевыми трубопроводами, а при длине более 400—500 *м* — сети с попарно закольцованными трубопроводами при том же расстоянии между ними.

Так, при расстоянии между трубопроводами 400 *м* (наиболее характерный случай), длине их 1000 *м*, расчетном расходе $Q=200$ *л/сек* и $H=12$ *м* (рис. 5) для схемы с тупиковым расположением полевых трубопроводов имеем $D=388$ *мм*, а при парном кольцевании полевых трубопроводов — $D=291$ *мм*. Уменьшение диаметра трубопровода снижает стоимость труб на 1 *га* орошаемой площади на 11,3%.

Расстояние между полевыми трубопроводами определяют в зависимости от типа дождевальных машин и установок. Однако следует стремиться проектировать полевые трубопроводы так, чтобы можно было применять любые дождевальные машины и установки, выпускаемые в настоящее время.

Оптимальное расстояние между полевыми трубопроводами, как показали исследования, равно 400 *м*. Оно обеспечивает эффективное применение дождевальных машин ДМ-200, дальнеструйных дождевателей (с вспомогательным трубопроводом), дождевальных установок типа СДУ и КДУ и гибких поливных трубопроводов. Кроме того, при этом можно обрабатывать поля в двух направлениях (продольном и поперечном).

Если используются не предусмотренные проектом машины, можно проложить быстросборные передвижные трубопроводы или построить дополнительные гидранты.

Гидранты следует располагать один от другого на таком расстоянии, при котором обеспечивается бесперебойная работа проектируемых дождевальных машин и установок.

Длину полевых трубопроводов целесообразно назначать из расчета максимального использования их во времени. Для этого нужно площадь, на которую вода подается по трубопроводу, принимать кратной площади, обслуживаемой дождевальным агрегатом за сезон.

Расход материалов и экономичность сравниваемых вариантов закрытых оросительных сетей можно оценивать по общей длине труб условного прохода на 1 *га* орошаемой площади. Чтобы получить длину труб условного прохода, нужно истинную их длину умножить на соответствующий коэффициент (табл. 1).

Окончательный вариант схемы закрытой оросительной сети определяется путем сравнения нескольких схем, из которых выбирается оптимальная.

Таблица 1

Переводные коэффициенты для пересчета количества асбестоцементных водопроводных труб и асбестоцементных соединительных муфт к ним в условные метры (ГОСТ 539—59)

Марка и диаметр труб, *мм*		Переводные коэффициенты для			
условный проход, *мм*	внутренний диаметр, *мм*	одного *пог. м* трубы	одной трубы номинальной длины согласно ГОСТ	одной муфты к данной трубе	одного комплекта (труба+муфта)
ВТ-3					
50	50	0,2272	0,6702	0,0763	0,7465
75	75	0,2808	0,8284	0,0956	0,9240
100	100	0,3260	0,9617	0,1157	1,0774
125	119	0,3718	1,0968	0,1303	1,2271
150	141	0,4634	1,3670	0,1543	1,5213
200	189	0,5770	2,2792	0,1709	2,4501
250	235	0,7655	3,0237	0,2100	3,2337
300	279	0,9226	3,6443	0,2468	3,8911
350	322	1,1409	4,5066	0,3461	4,8527
400	368	1,4113	5,5746	0,4229	5,9975
500	456	1,9992	7,8968	0,6459	8,5427
600	576	2,8084	11,0932	0,8526	11,9458
700	672	3,7803	14,9322	1,0618	15,9940
800	768	4,9051	19,3751	1,6487	21,0238
900	864	6,0967	24,0820	1,9824	26,0644
1000	960	7,4699	29,5061	2,3878	31,8939
ВТ-6					
50	50	0,2459	0,7254	0,0848	0,8102
75	75	0,3079	0,9083	0,1066	1,0149
100	100	0,3604	1,0632	0,1347	1,1979
125	119	0,4568	1,3476	0,1610	1,5086
150	141	0,5725	1,6889	0,2002	1,8891
200	189	0,8160	3,2232	0,2352	3,4584
250	235	1,0216	4,0853	0,2740	4,3093
300	279	1,3276	5,2440	0,3201	5,5641
350	322	1,6386	6,4725	0,4709	6,9434
400	368	2,1157	8,3570	0,5846	8,9416
500	456	2,9618	11,6991	0,8852	12,5843
600	576	4,2544	16,8049	1,1932	17,9981
700	672	5,5334	21,8569	1,5115	23,3684
800	768	7,0651	27,9071	2,3663	30,2734
900	864	8,7442	34,5396	2,8523	37,3919
1000	960	10,7069	42,2923	3,3861	45,6784
ВТ-9					
50	50	0,2874	0,8478		
75	75	0,3664	1,0809	Согласно ГОСТ применяются чугунные соединительные муфты	
100	100	0,5291	1,5608		
125	119	0,6358	1,8756		
150	141	0,8461	2,4960		

Продолжение

Марка и диаметр труб, *мм*		Переводные коэффициенты для			
условный проход, *мм*	внутренний диаметр, *мм*	одного *пог. м* трубы	одной трубы номинальной длины согласно ГОСТ	одной муфты к данной трубе	одного комплекта (труба+муфта)
200	189	1,1701	4,6219		
250	235	1,5437	6,0976		
300	279	2,0041	7,9162		
350	322	2,5204	9,9556		
400	368	3,2812	12,7237		
500	456	4,6431	18,3402		
ВТ-12					
150	135	1,1474	3,3848		
200	181	1,5626	6,1723		
250	228	1,9874	7,8502	Согласно ГОСТ применяются чугунные соединительные муфты	
300	270	2,6512	10,4722		
350	312	3,3452	13,2139		
400	356	4,3047	17,0036		
500	441	6,2463	24,6729		

Примечания: 1. Трубы условного диаметра до 150 *мм* включительно изготавливают на 3-метровых трубоформовочных машинах; условного прохода свыше 150 *мм* на 4-метровых трубоформовочных машинах. Первые должны иметь длину 295 *см*, вторые — 395 *см*. Коэффициенты в графе 2 соответствуют этой длине труб. В случаях выработки труб большей или меньшей длины (ГОСТ предусматривает допуски в обе стороны) общий метраж труб определяют по их фактической длине. Длину труб измеряют с точностью до сантиметра.

2. Переводные коэффициенты применяются для напорных труб, вырабатываемых согласно ГОСТ.

В качестве эталонной принята формуемая на 4-метровой трубоформовочной машине труба с внутренним диаметром 200 *мм* и толщиной стенок обточенных концов 16 *мм*. Труба рассчитана на давление в 8 *ат*.

Передвижные трубчатые оросительные системы с механизацией полива. Передвижные трубчатые оросительные системы применяются главным образом в зоне неустойчивого увлажнения — в средней полосе страны.

Система состоит из передвижной насосной станции, разборных трубопроводов диаметрами 250, 180 и 125 *мм*, дождевальных машин и установок. При использовании дождевальной машины ДДА-100М, а в некоторых случаях и ДДН-45, кроме того, строятся открытые оросители. Орошаемый участок должен быть расположен вблизи водоисточника.

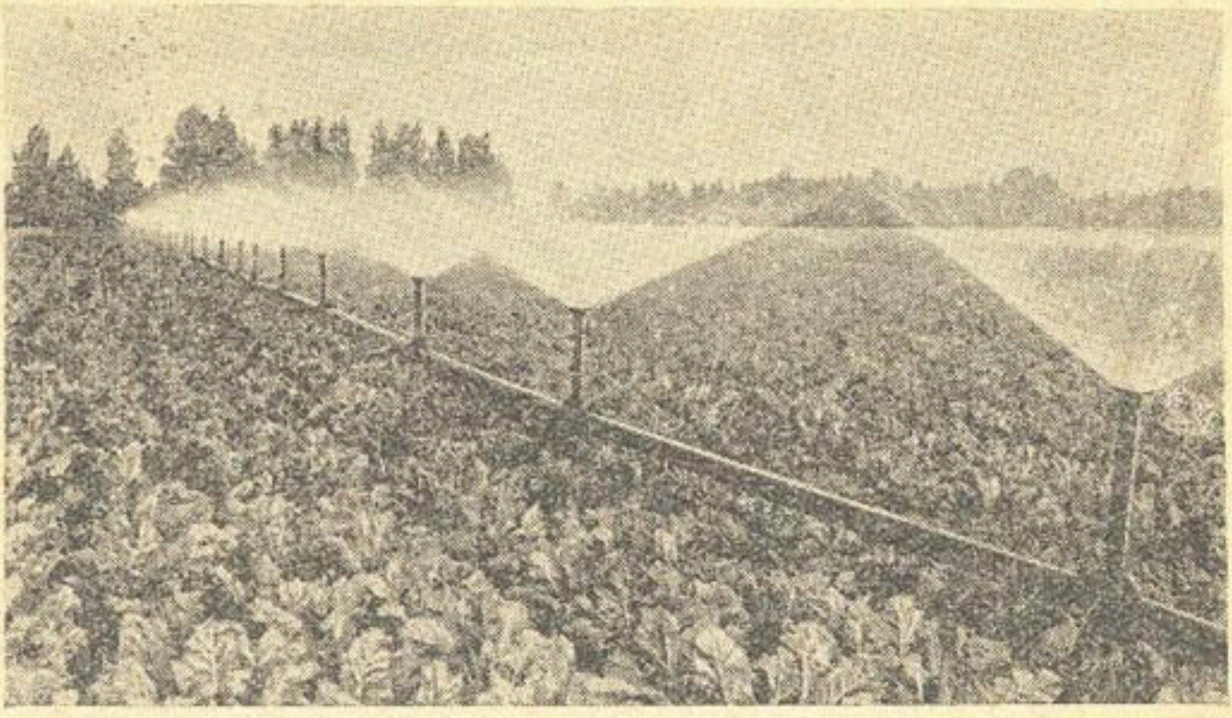


Рис. 6. Короткоструйная дождевальная установка КДУ-55М.

С помощью передвижных закрытых оросительных систем можно поливать разные участки в зависимости от целесообразности орошения той или иной сельскохозяйственной культуры.

Системы такого типа строят вблизи городов и промышленных центров для орошения овощей, картофеля, кормовых культур, сахарной свеклы и садов.

Преимущества передвижных закрытых оросительных систем заключаются в следующем. Можно быстро освоить под орошение участок площадью 25—150 *га*, при этом монтировать передвижные оросительные системы можно силами самих хозяйств.

Росгипроводхоз, ВНИИГиМ и другие организации разработали для всех схем передвижных оросительных систем комплекты разборного поливного оборудования, которое будет поставляться по заявкам хозяйств отделениями «Сельхозтехники». В настоящее время освоен выпуск стандартного оборудования к комплектам № 1 и 4.

При описании комплектов стандартного оборудования и схем оросительных систем сохранены обозначения, принятые этими организациями [21, 28].

Оросительная система с установками КДУ-55М применяется для полива небольших участков: при одной дождевальной установке орошаемая площадь составляет до 30 *га*, при двух — 50—60 *га*.

В состав оросительной системы входит передвижная насосная станция марок СНП-25/60, СНП-50/80 или СНП-50/45, стальные разборные поверхностные трубопроводы диаметром 180 и 250 *мм* и установка КДУ-55М.

Установка КДУ-55М (рис. 6) состоит из подводящего — вспомогательного — трубопровода длиной 55 *м* и двух дождевальных крыльев длиной по 150 *м*. Как вспомогательный трубопровод, так и трубопроводы дождевальных крыльев собирают из 5-метровых звеньев, которые соединяют между собой быстроразъемными муфтами. Трубы наружным диаметром 110 *мм* и муфты изготовляют из алюминиевого сплава. На дождевальных крыльях через 10 *м* располагают дефлекторные насадки, которые разбивают струю воды в дождь.

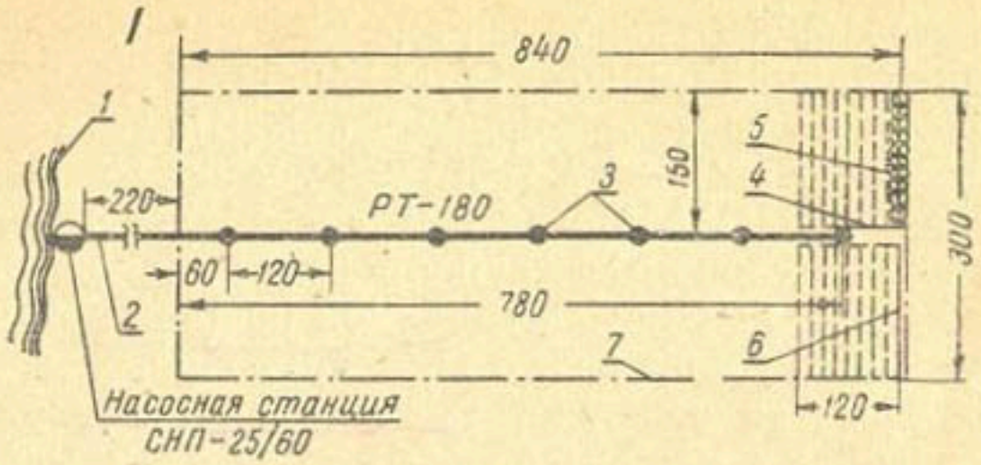
К разборному стальному трубопроводу подсоединяют вспомогательный алюминиевый трубопровод, а к нему — дождевальные крылья. Дождевание осуществляют позиционно; дождевальные крылья работают поочередно: одно крыло работает, второе переносят на соседнюю позицию через 10 *м*. Продолжительность работы установки на одной позиции и зависимости от поливных норм приведена в таблице 9.

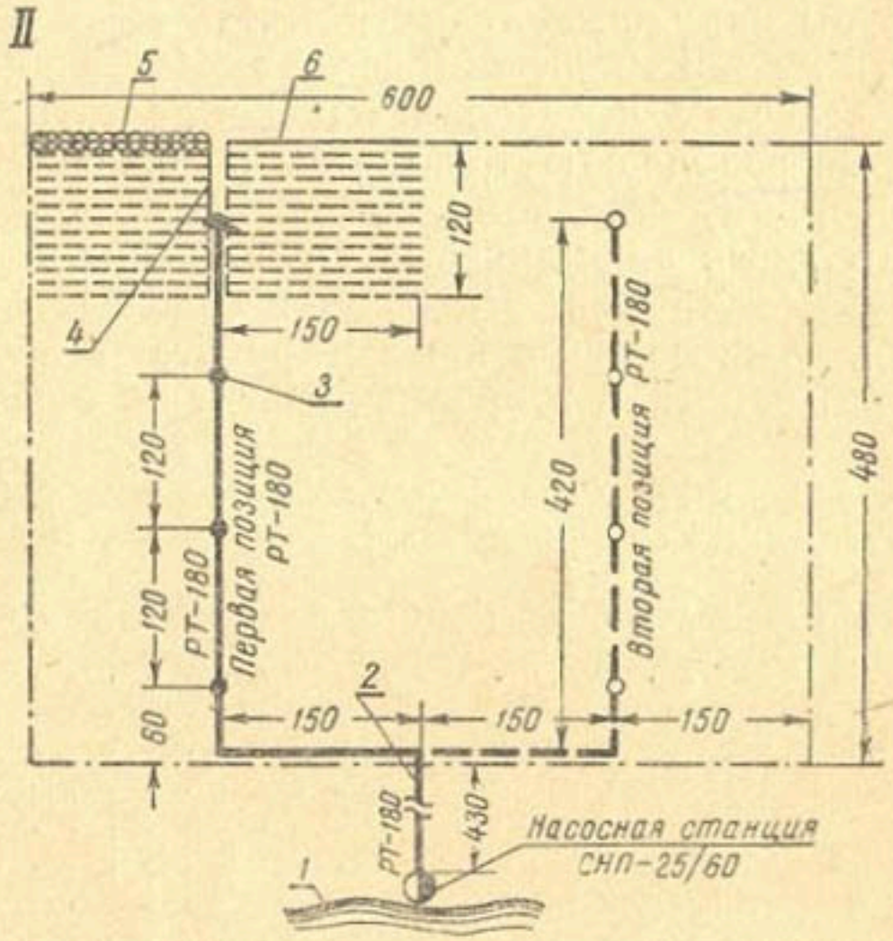
Техническая характеристика дождевальной установки КДУ-55М

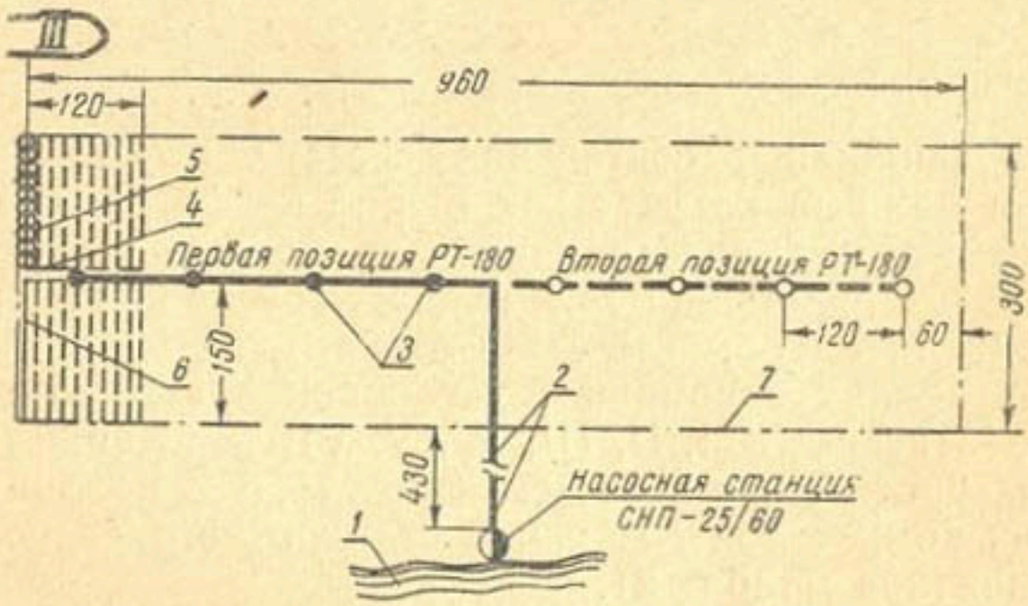
Расход воды, *л/сек*	25
Напор на гидранте, *м вод. ст.*	25
Рабочий захват одного крыла, *м*	150×10
Расстояние между гидрантами, *м*	120
Сезонная нагрузка на установку, *га*	25—30
Интенсивность дождя, *мм/мин*	0,75
Длина дождевального крыла, *м*	150
Длина вспомогательного трубопровода, *м*	55
Вес одного звена труб, *кг*	16
Производительность при поливной норме 300 $м^3$/*га*, *га/час*	0,25
Обслуживающий персонал—рабочие, чел.	2

Передвижная оросительная система с установками КДУ применима на участках любой конфигурации и со сложным рельефом. На участках с большими уклонами дождевальные крылья следует располагать вдоль горизонталей, чтобы избежать стока.

Для полива с помощью установок КДУ-55М разработано [21] 6 схем (I, II, III, IV, V, VI) передвижных закрытых оросительных систем (рис. 7). Их можно собирать из комплектов № 1; 2; 3 стандартного разборного оборудования (табл. 2).


I
840
1
220
РТ-180
3
150
5
4
300
60
120
780
2
7
6
120
Насосная станция
СНП-25/60


II
5
6
600
120
4
150
3
120
120
120
РТ-180
Первая позиция
РТ-180
420
Вторая позиция РТ-180
480
2
60
150
150
150
РТ-180
430
Насосная станция
СНП-25/60
1


III
960
120
5
4
Первая позиция РТ-180
Вторая позиция РТ-180
300
120
60
6
150
3
2
7
430
Насосная станция
СНП-25/60
1

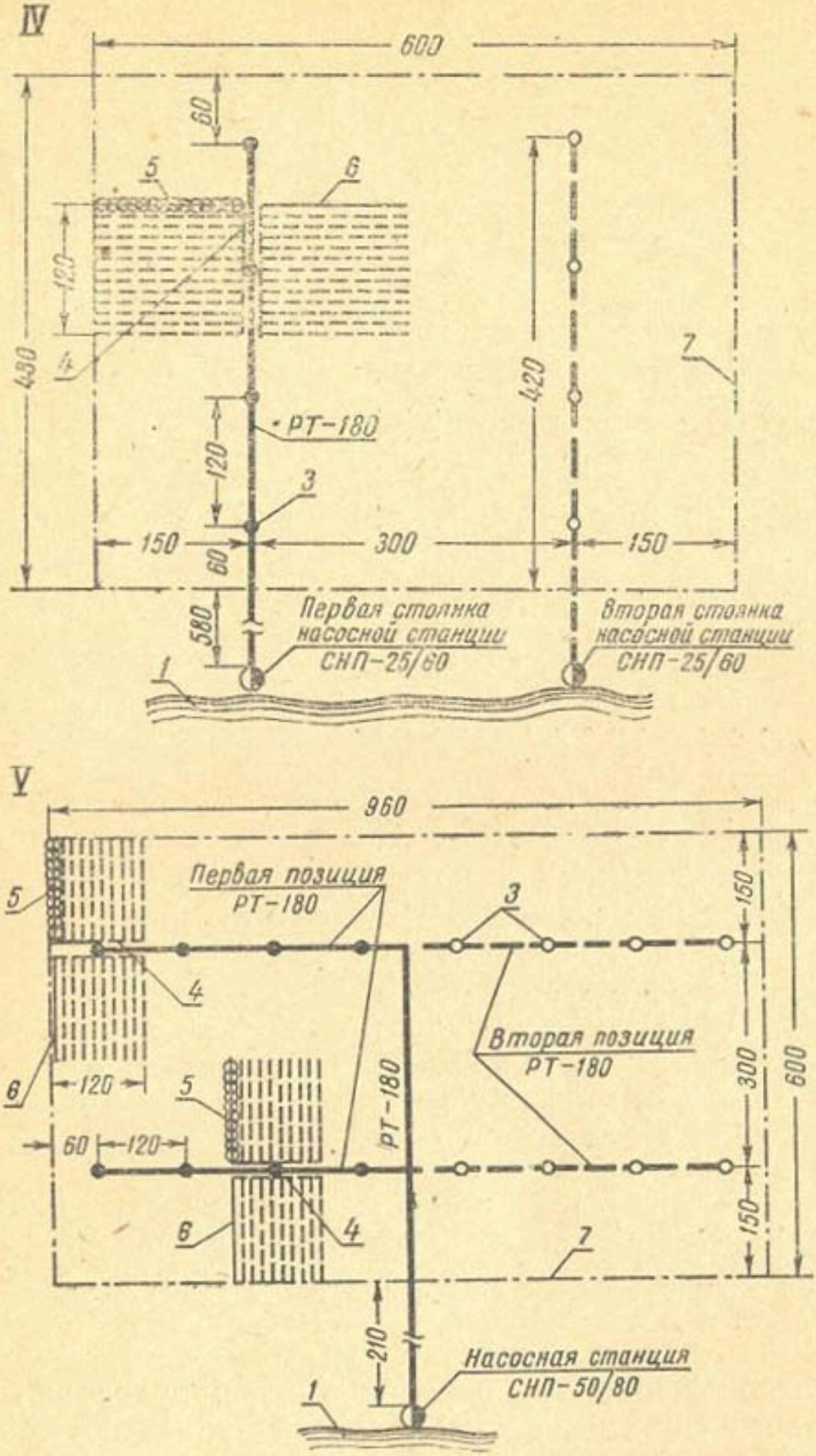


Рис. 7. Схемы орошения участков с помощью установок КДУ-55М:
I — площадь орошения за сезон 25,2 *га*; *II—IV* — 28,8 *га*; *V* — 57,6 *га*; *1* — водоисточник; *2* — подводящая часть трубопровода; *3* — труба-гидрант РТ-180×125; *4* — вспомогательный трубопровод; *5* — первое крыло; *6* — второе крыло; *7* — граница орошаемой площади.

Таблица 2

Спецификация комплектов № 1—3 к оросительным системам с установками КДУ-55М

Наименование	Единица измерения	Комплект № 1. Схемы I, II, III, IV	Комплект № 2. Схема V	Комплект № 3. Схема VI
Дождевальная установка КДУ-55М	шт.	1	2	2
Насосная станция СНП-25/60	»	1	—	—
Насосная станция СНП-50/80	»	—	1	—
Насосная станция СНП-50/45	»	—	—	1
Шарнирное соединение насосной станции СНП-50/45 с РТ-250	комплект	—	—	1
Шарнирное соединение насосной станции СНП-50/80 с РТ-180	»	—	1	—
Шарнирное соединение насосной станции СНП-25/60 с РТ-180	»	1	—	—
Трубопровод разборный стальной РТ-180	*пог. м*	1000	1500	1140
Трубопровод разборный стальной РТ-250	» »	—	—	380
Труба-гидрант РТ-180×125	шт.	8	8	8
Труба-тройник РТ-180×180	»	1	—	—
Труба-крестовина РТ-180×180	»	1	2	2
Колонка-переход 125×110	»	2	3	3
Заглушка-патрубок РТ-180	»	4	5	5
Труба-гидрант, нерегулируемый РТ-250×180	»	—	—	1
Труба-колено РТ-180	»	—	—	1
Заглушка-потрубок РТ-250	»	—	—	1
Манжеты резиновые РТ-180 (резерв)	»	25	35	30
Манжеты резиновые РТ-250 (резерв)	»	—	—	10
Манометры до 10 *ат*	»	1	1	—
Манометры до 6 *ат*	»	—	—	1

Примечание. Комплекты рассчитаны на подъем воды: № 1 на высоту 30 *м*; № 2 — 25 *м*; № 3 — 10 *м*. При изменении длины подводящей части трубопровода допустимая геодезическая высота подъема воды изменяется на каждые 100 *м* длины соответственно на 0,85; 3,3 и 2 *м*.

Расположение трубопроводов и оборудования оросительной системы, по схеме VI не приведено, так как она аналогична схеме V. Разница заключается в том, что вместо насосной станции СНП-50/80 применена СНП-50/45, подводящий трубопровод от насосной станции до перпендикулярно расположенного к нему РТ-180

монтируется из труб РТ-250. В зависимости от потребного напора и расхода подбирают насосную станцию (табл. 10), затем схему V или VI.

Оросительная система с дождевальными машинами ДДН-45 применяется для полива участков до 80 *га*: при одной машине орошаемая площадь составляет 35—40 *га*, при двух — 70—80 *га*.

Оросительная система состоит из насосной станции марки СНП-50/80; СНП-25/60; СНП-50/45 или ПНС-6НДв; стальных разборных поверхностных трубопроводов диаметрами 180 и 250 *мм*; арматуры и фасонных частей, к ним и дождевальной навесной машины ДДН-45. В некоторых схемах (XV—XX) применяются открытые оросители.

Дождевальная машина ДДН-45 состоит из насоса, дальнеструйного аппарата с механизмом вращения, основного и червячного редукторов и подкормщика. Все это смонтировано на специальной раме, навешиваемой на трактор ДТ-54. От вала отбора мощности трактора приводится в движение специальный редуктор, который через передачу соединен с дополнительным редуктором; последний приводит во вращение дождевальный аппарат, имеющий ствол с двумя насадками. Дождевальный аппарат может вращаться по сектору или кругу. Площадь полива с одной позиции с учетом перекрытия при скорости ветра до 1,5 *м/сек* составляет 7200 $м^2$.

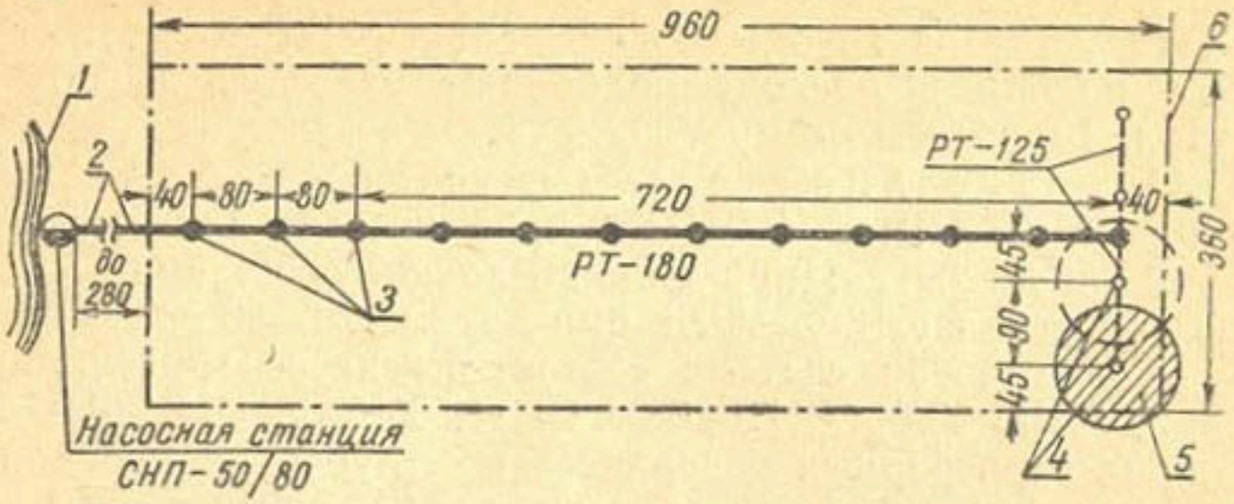
При проведении полива поочередно к каждому гидранту, расположенному через 80 *м* на стальных разборных трубопроводах РТ-180 или РТ-250, присоединяют алюминиевый трубопровод диаметром 125 *мм* и длиной 135 *м* с двумя гидрантами. Всасывающая линия насоса дождевальной машины забирает воду из гидранта.

Машина ДДН-45 работает позиционно, продолжительность работы на одной позиции при поливе дана в таблице 9.

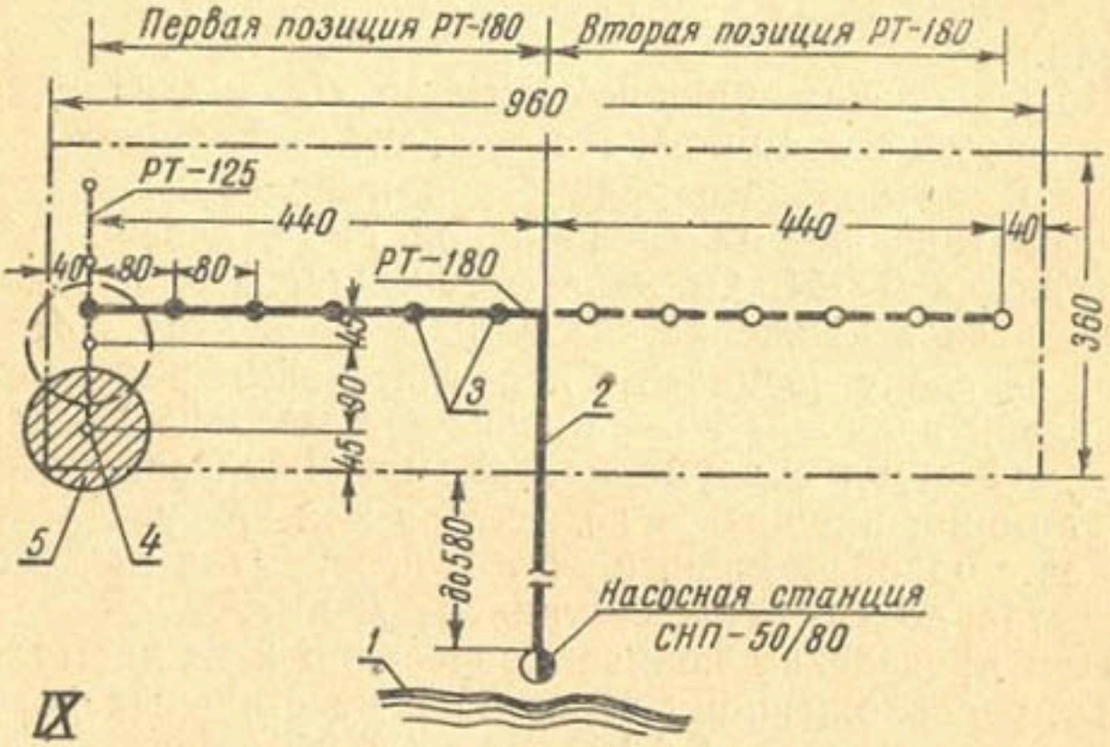
Техническая характеристика дождевальной машины ДДН-45

Расход воды, *л/сек*	33,4
Напор на насосе, *м вод. ст.*	55
Производительность при поливной норме 300 $м^3/га$, *га/час*	0,36
Потребная мощность, *л. с.*	50
Площадь полива с одной позиции с учетом перекрытия, *га*	0,72
Трактор	ДТ-54
Обслуживающий персонал-тракторист	1

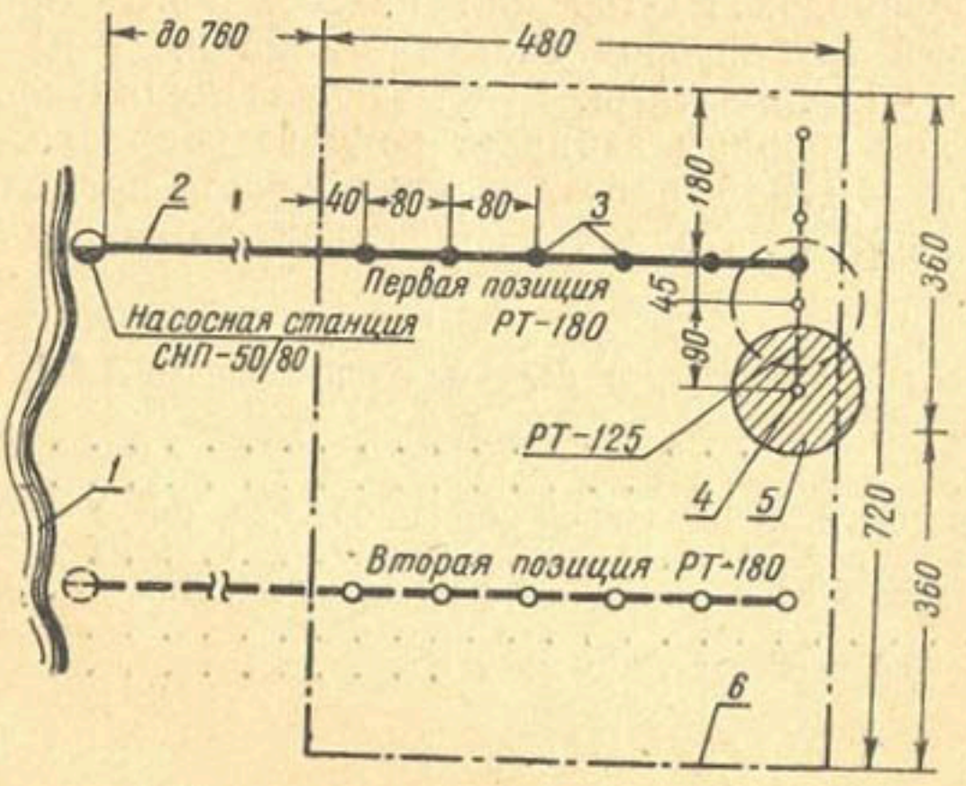
VII

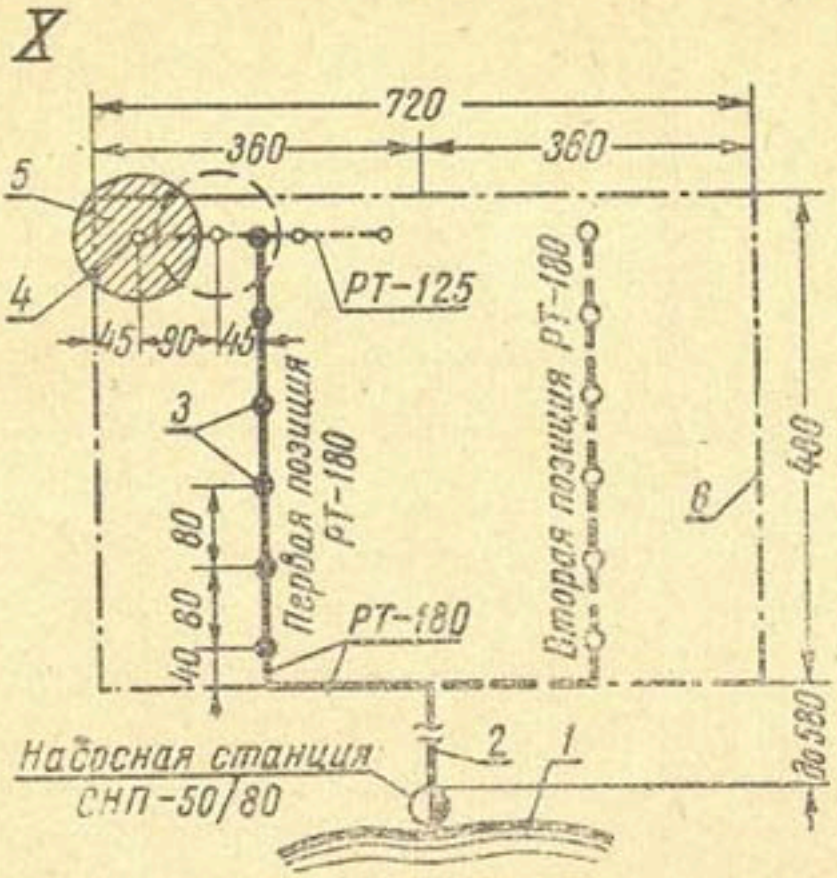

960
6
1
2
40
80
80
720
40
РТ-125
РТ-180
до 280
3
45
90
45
360
Насосная станция СНП-50/80
4
5

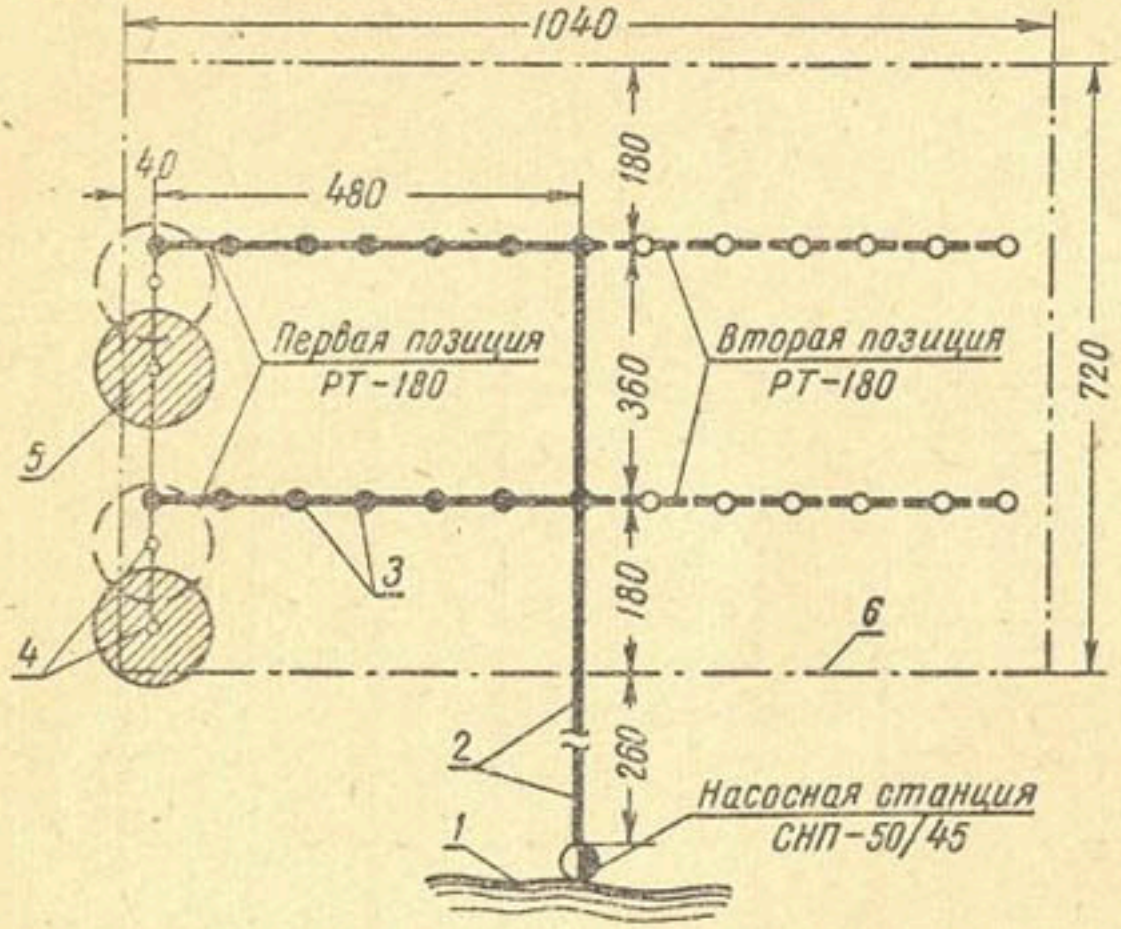
VIII


Первая позиция РТ-180
Вторая позиция РТ-180
960
РТ-125
440
440
40
40
80
80
РТ-180
45
90
45
3
2
360
5
4
до 580
Насосная станция СНП-50/80
1

IX


до 760
480
2
1
40
80
80
3
180
45
90
Первая позиция РТ-180
Насосная станция СНП-50/80
РТ-125
4
5
360
720
360
1
Вторая позиция РТ-180
6



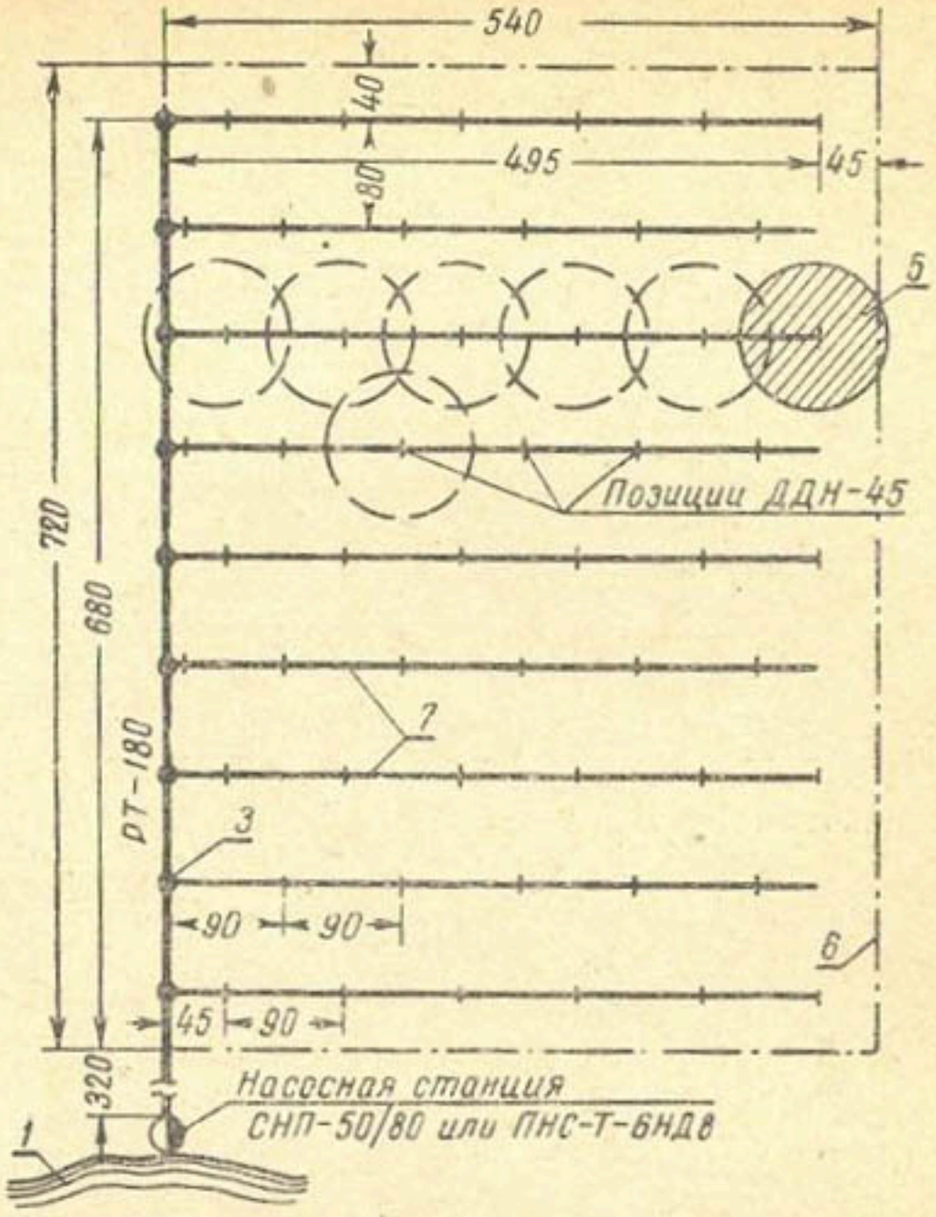


XIV

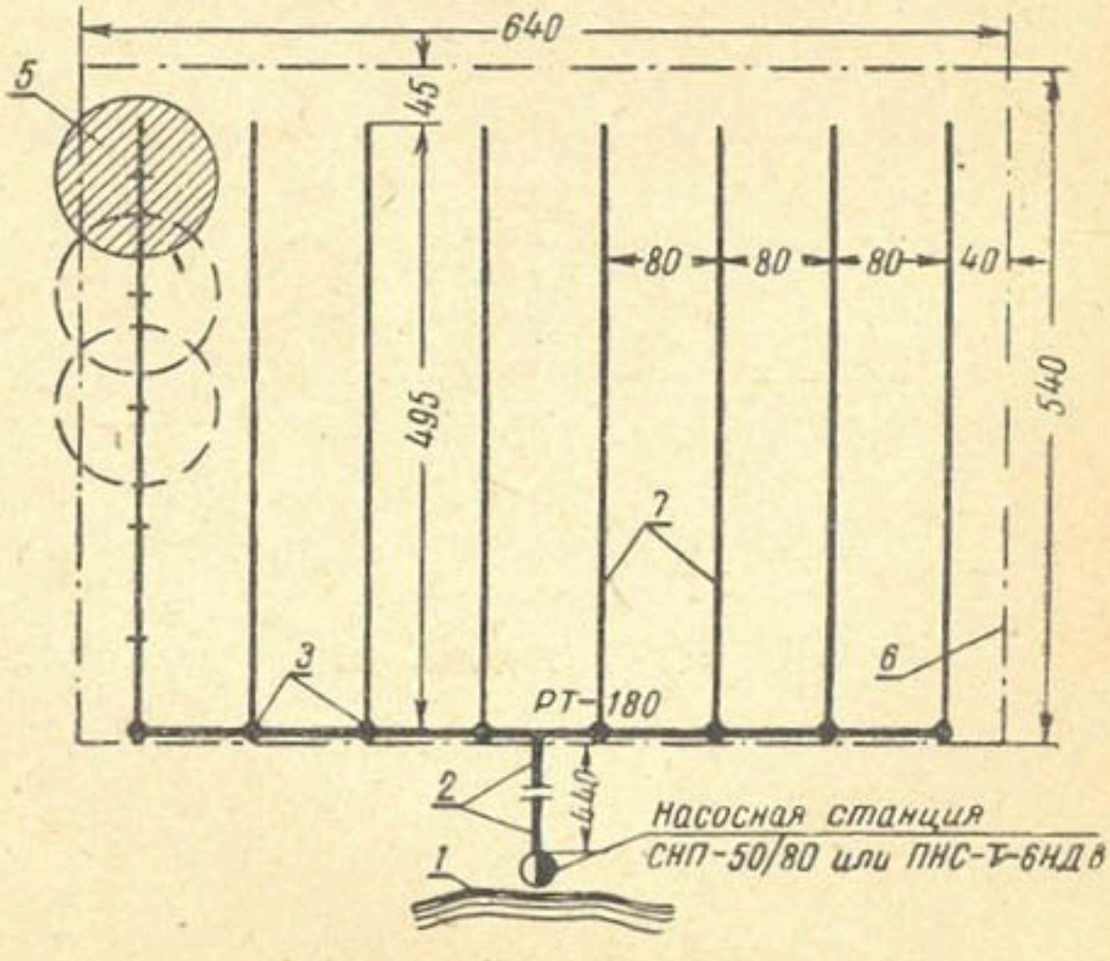
Рис. 9. Схемы орошения участков с помощью дождевальной машины ДДН-45:

VII—X — площадь орошения за сезон 34,6 *га*; *XIV* — 74,8 *га*; *XV* — 38,9 *га*; *XVI—XVII* — 34,5 *га*.

XV


540
40
495
45
80
5
Позиции ДДН-45
720
680
РТ-180
7
3
90
90
6
45
90
320
Насосная станция
СНП-50/80 или ПНС-Т-6НДв
1

XVII


640
5
45
80
80
80
40
495
540
7
3
6
РТ-180
2
440
Насосная станция
СНП-50/80 или ПНС-Т-6НДв
1

XVI

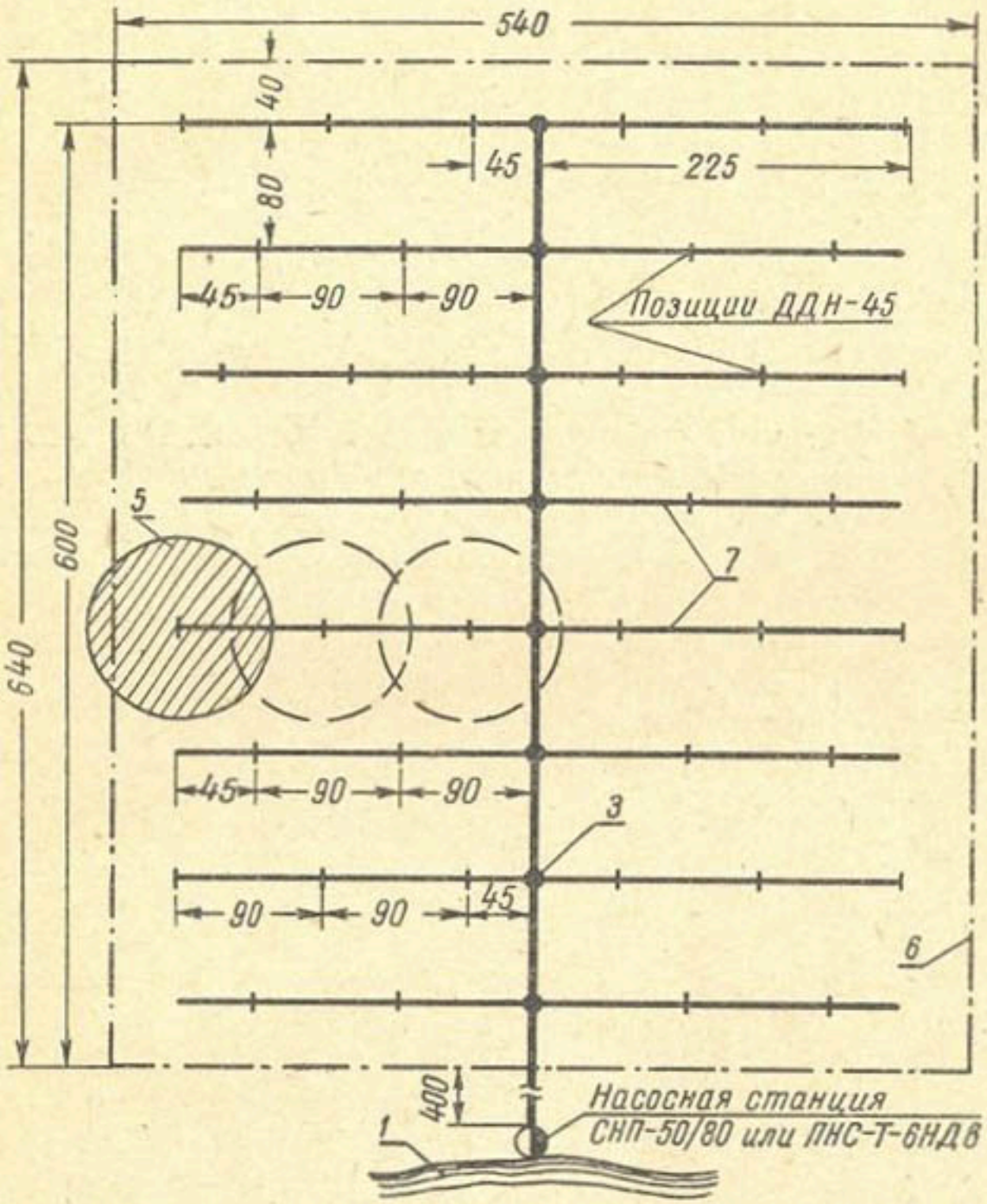


Рис. 9. Продолжение:

1 — водоисточник; *2* — подводящая часть трубопровода; *3* — труба-гидрант РТ-180×125; *4* — муфта-гидрант РТ-125×125; *5* — площадь полива с одной позиции; *6* — граница орошаемой площади; *7* — открытые оросители.

Трубопровод РТ-125 с одной позиции на другую перемещают при помощи специально оборудованного трактора. На пропашной трактор устанавливают кронштейны, а на них укладывают звенья труб (рис. 8).

Недостаток этой машины — ее нельзя применять на участках, пересеченных линиями электропередачи, так как в этом случае может произойти разряд через водную струю.

Для полива с помощью дождевальных машин ДДН-45 разработано [21] 14 схем (VII—XX) передвижных закрытых оросительных систем (рис. 9). Эти оросительные системы можно собирать из комплектов (№ 4, 5, 6, 7, 8) стандартного поливного оборудования (табл. 3).

На рисунках не показаны схемы XI, XII, XIII, XVIII, XIX, XX. Схемы XI, XII и XIII аналогичны схемам VIII, IX, X; разница выражается в том, что вместо насосной станции СНП-50/80 принята СНП-25/60.

Схема XVIII по конструкции аналогична схеме XV и отличается от нее тем, что площадь поливного участка равна 80,8 *га*, длина 1120 *м* и ширина 720 *м*. Стальной разборный трубопровод монтируется из труб РТ-250 длиной 640 *м* и РТ-180 длиной 480 *м*, подводящая часть трубопровода — из РТ-250. Насосная станция принята марки СНП-50/45 или ПНС-Т-60НДв.

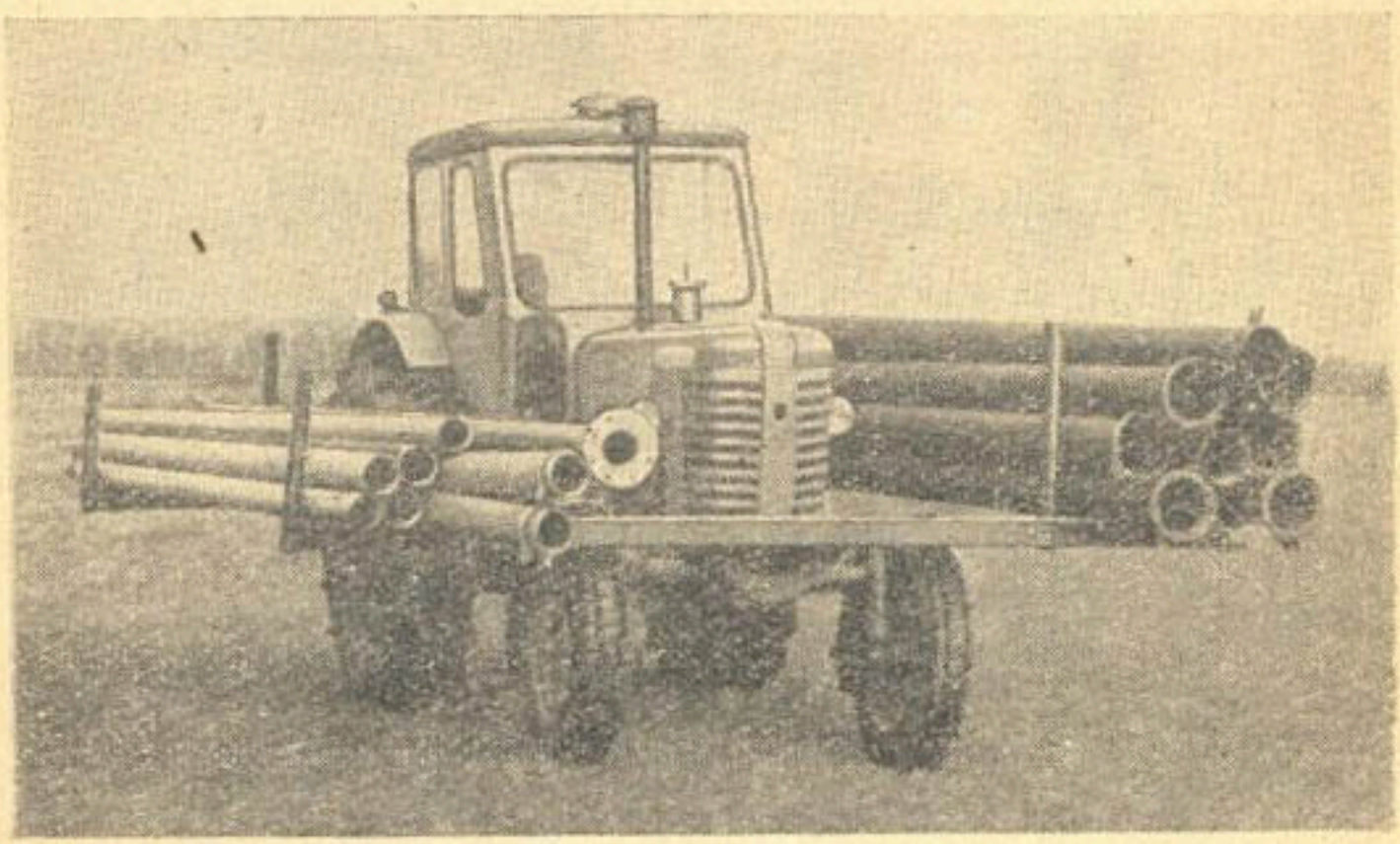


Рис. 8. Пропашной трактор, оборудованный для перевозки труб.

Таблица 3

Спецификация комплектов № 4—8 к оросительным системам с дождевальными машинами ДДН-45

Наименование	Единица измерения	Комплект № 4. Схемы VII, VIII, IX, X	Комплект № 5. Схемы XI, XII, XIII	Комплект № 6. Схема XIV	Комплект № 7. Схемы XV, XVI, XVII	Комплект № 8. Схемы XVIII, XIX, XX
Дождевальная машина ДДН-45	шт.	1	1	2	1	2
Насосная станция СНП-50/80	»	1	—	—	—	—
Насосная станция СНП-25/60	»	—	1	—	—	—
Насосная станция СНП-50/45	шт.	—	—	1	—	—
Насосная станция 50/80 или ПНС-Т-6НДв	»	—	—	—	1	—
Насосная станция СНП-50/45 или ПНС-Т-6НДв	»	—	—	—	—	1
Шарнирное соединение насосной станции с РТ-180	комплект	1	1	—	1	—
Шарнирное соединение насосной станции с РТ-250	То же	—	—	1	—	1
Шарнирное соединение РТ-125 с ДДН-45	шт.	2	2	2	—	—
Трубопровод стальной разборный РТ-180	*пог. м*	1200	700	890	1000	800
Трубопровод стальной разборный РТ-250	» »	—	—	800	—	800
Трубопровод разборный алюминиевый РТ-125 . .	» »	280	280	560	—	—
Труба-гидрант РТ-180×125	шт.	12	6	14	9	11
Труба-гидрант РТ-250×125	»	—	—	—	—	8
Труба-гидрант нерегулируемый РТ-250×180 . . .	»	—	—	2	—	3
Муфта-гидрант РТ 125×125	»	6	6	10	—	—
Труба-тройник РТ-180×180	»	2	1	—	—	—
Труба-крестовина РТ-180××180	»	1	1	—	1	—
Труба-колено РТ-180 . . .	»	—	—	2	—	3
Колонка Д-125	»	3	3	3	2	3
Заглушка-патрубок РТ-180	»	4	4	2	3	2
Заглушка-патрубок РТ-250	»	—	—	1	—	1
Заглушка-патрубок РТ-125	»	3	3	4	—	—
Колено-гаситель Д-125 . .	»	—	—	—	2	3
Манжеты резиновые РТ-180	»	30	20	25	25	20
Манжеты резиновые РТ-125	»	10	10	20	—	—
Манжеты резиновые РТ-250	»	—	—	20	—	20

Продолжение

Наименование	Единица измерения	Комплект № 4. Схемы VII, VIII, IX, X	Комплект № 5. Схемы XI, XII, XIII	Комплект № 6. Схема XIV	Комплект № 7. Схемы XV, XVI, XVII	Комплект № 8. Схемы XVIII, XIX, XX
Перемычки водоподпорные	шт.	—	—	—	3	4
Манометры до 10 *ат* . . .	»	1	—	—	1	—
Манометры до 6 *ат* . . .	»	—	1	1	—	1

Примечание. Комплекты рассчитаны на подъем воды: № 4 на высоту 45 *м*; № 5 — 9 *м*; № 6 — 13 *м*; № 7 с СНП-50/80 — на 21 *м* и с ПНС-Т-6НДв — до 12 *м*; № 8 с СНП-50/45 — на 20 *м* и с ПНС-Т-6НДв до 8 *м*.

При изменении длины подводящей части трубопровода допустимая геодезическая высота подъема воды изменяется на каждые 100 *м* длины соответственно на 1,5; 1,5; 1,0; 2,0 и 1,3 *м*.

Схема XIX по конструкции аналогична схеме XVII и отличается от нее следующим. Площадь поливного участка составляет 79,2 *га*, по линии стальных разборных трубопроводов — 880 *м*, по линии открытых оросителей — 900 *м*. Подводящая часть трубопровода монтируется из труб РТ-250. Насосная станция принята СНП-50/45 или ПНС-Т-6НДв.

Схема XX по конструкции аналогична схеме XVI. Отличие заключается в следующем. Площадь поливного участка равна 80,6 *га*, по линии стального разборного трубопровода — 560 *м*, по линии открытых оросителей — 1440 *м*. Длина открытых оросителей 675 *м*. Подводящая часть трубопровода и стальной трубопровод монтируются на расстоянии 270 *м* из труб РТ-250 и РТ-180—250 *м*. Насосная станция принята СНП-50/45 или ПНС-Т-6НДв.

Оросительная система с двухконсольным дождевальным агрегатом ДДА-100М применяется для полива участка площадью до 100 *га*, имеющих относительно ровную поверхность. Такая система обслуживается одним дождевальным агрегатом.

Оросительная система состоит из передвижной насосной станции СНП-50/80 или ПНС-Т-6НДв, стальных разборных поверхностных трубопроводов диаметрами 250 и 180 *мм*, открытых оросителей и двухконсольного дождевального агрегата ДДА-100М. Водоисточник должен обеспечивать оросительную систему водой в количестве 120 *л/сек* в течение всего оросительного периода.

Двухконсольный дождевальный агрегат ДДА-100М представляет собой ферму с консолями длиной 55 *м*. На нижних поясах фермы расположены короткоструйные разбрызгивающие насадки. Вода из открытого оросителя в ферму подается при помощи центробежного насоса. Ферма и насос смонтированы на тракторе ДТ-54А. Для уменьшения скорости движения трактор снабжен ходоуменьшителем (редуктором).

Техническая характеристика ДДА-100М

Расход воды, *л/сек*	100
Напор на насосе, *м вод. ст.*	25
Ширина захвата, *м*	120
Производительность агрегата при поливной норме 300 *м³/га*, *га/час*	0,85
Скорость движения агрегата при поливе, *км/час*:	
вперед	0,411*
назад	0,37
Транспортная скорость, *км/час*	4,3
Габариты, *м*:	
длина	110,8
ширина	4,8
высота	4,56
Вес навесной машины, *кг*	4090
Обслуживающий персонал, чел.:	
тракторист	1
поливальщик (подсобный рабочий)	1

* С 1965 г. рабочая скорость ДДА-100М увеличена до 0,465 *км/час*.

Агрегат поливает, двигаясь вперед и назад вдоль оросителей, которые нарезают на поливном участке через 120 *м*. Во время передвижения с участка на участок ферму агрегата переводят в транспортное положение, поворачивая ее на 90°.

За один проход агрегат выливает воду слоем 7,5 *мм*, что соответствует 75 *м³/га*. Поэтому поливная норма должна быть кратной слою за один проход.

Отрицательной стороной агрегата является то, что он требует открытых оросителей, которые много теряют воды на фильтрацию и препятствуют механизированной обработке почвы.

Трассы перед нарезкой оросителей планируют скреперами, грейдерами по заданному уклону, который не должен превышать 0,003. Оросители нарезают канавокопателями КОР-500, КМ-800, КМ-1400 и др.

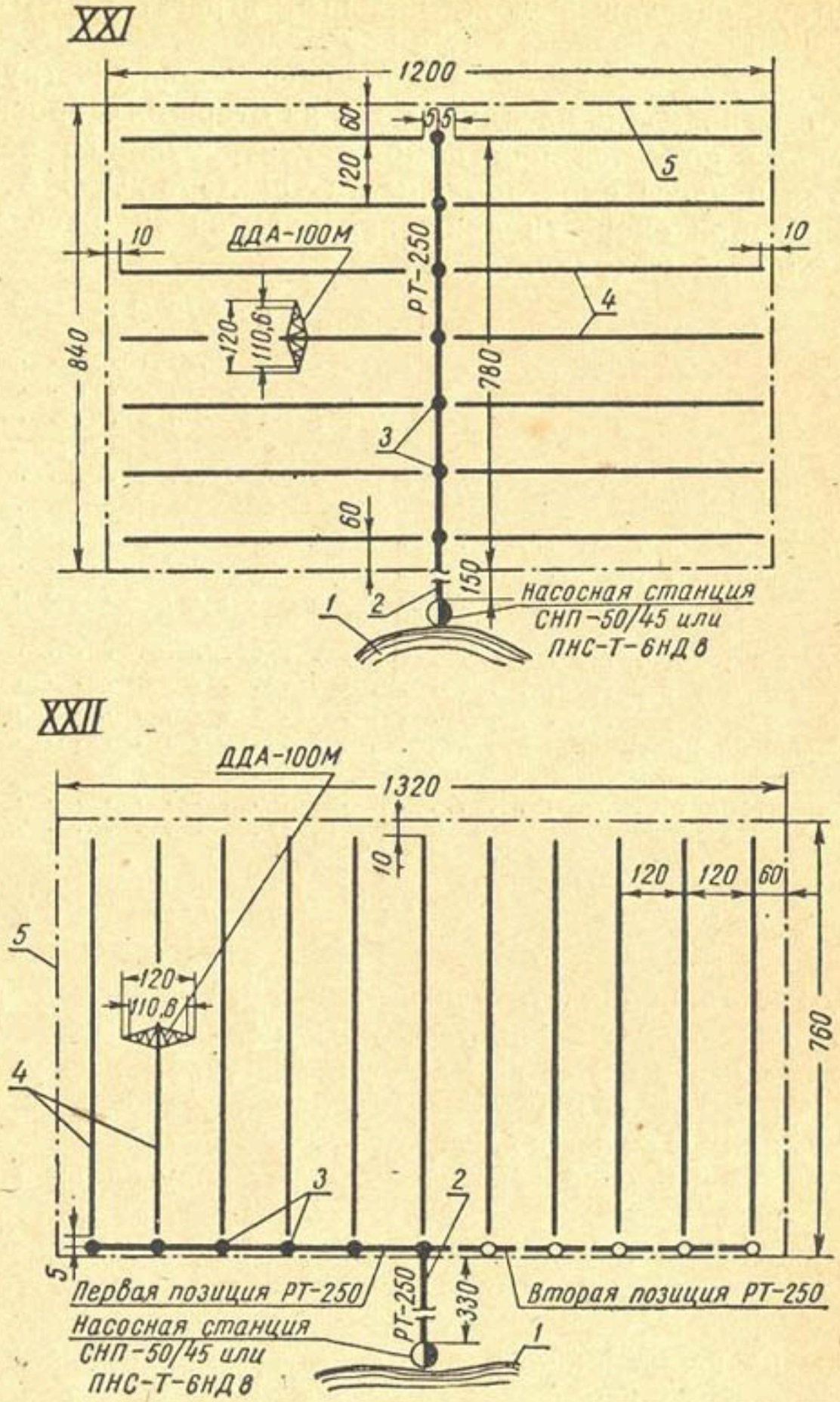


Рис. 10. Схемы орошения участков с помощью дождевального агрегата ДДА-100М:

XXI—XXII — площадь орошения за сезон 100 *га*; *1* — водоисточник; *2* — подводящая часть трубопровода; *3* — труба-гидрант 250×180; *4* — открытые оросители; *5* — граница орошаемой площади.

Трубопровод РТ-250 укладывают перпендикулярно оросителям (рис. 10) в 5 *м* от их начала, чтобы агрегат при переходе с карты на карту мог бы проезжать между оросителем и трубопроводом. При поливе вода из разборного трубопровода РТ-250 подается в оросительный канал через трубу-гидрант, укладываемую при монтаже разборного трубопровода у каждого оросителя. На гидрант устанавливают колонку диаметром 180 *мм*, при помощи которой регулируют подачу воды в ороситель. К колонке присоединяют по одному звену стальной трубы РТ-180, на конце ее ставят колено-гаситель. Колено-гаситель состоит из сварного колена и тарельчатого гасителя, который опускают на дно канала.

На участках, сильно пересеченных электрическими и телефонными линиями, агрегат нельзя применять из-за большой длины консолей фермы.

Разработано две схемы передвижных оросительных систем с двухконсольным дождевальным агрегатом ДДА-100М (рис. 10, XXI и XXII). Такая оросительная система может быть смонтирована из комплекта № 9 (табл. 4) стандартного поливного оборудования.

Таблица 4

Спецификация комплекта № 9 к оросительным системам с дождевальным агрегатом ДДА-100М

Наименование	Единица измерения	Комплект № 9
Дождевальный агрегат ДДА-100М	шт.	1
Насосная станция СНП-50/80 или ПНС-Т-6НДв	»	1
Шарнирное соединение насосной станции с трубопроводом РТ-250	комплект	1
Трубопровод разборный стальной РТ-250 .	*пог. м*	900
Трубопровод разборный стальной РТ-180 .	» »	35
Труба-гидрант РТ-250×180	шт.	7
Колонка *Д*=180	»	7
Колено-гаситель *Д*=180	»	7
Заглушка-патрубок РТ-250	»	2
Труба-тройник РТ 250×250	»	1
Манометр до 6 *ат*	»	1
Манжеты резиновые РТ-250 (резерв) . . .	»	25

Примечание. Комплект № 9 с насосной станцией СНП-50/80 рассчитан на подъем воды на высоту до 10 *м;* с ПНС-Т-6НДв — до 7 *м*. При изменении длины подводящей части трубопровода допустимая геодезическая высота подъема воды изменяется на 2 *м* на каждые 100 *м* длины.

Оросительная система со среднеструйной дождевальной установкой СДУ-40 применяется для полива участков площадью до 40 *га*. Такую систему можно применять и на участках со сложным рельефом, но при уклоне поверхности не более 0,03.

Оросительная система состоит из передвижной насосной станции СНП-50/80 или ННС-50/100, стальных разборных поверхностных трубопроводов диаметром 180 *мм* или 250 и 180 *мм* и среднеструйной дождевальной установки СДУ-40. Водоисточник должен обеспечивать передвижную оросительную систему водой в количестве 40 *л/сек*.

Установка СДУ-40 состоит из двух дождевальных крыльев длиной по 190 *м* и двух вспомогательных крыльев по 30 *м*. Крылья собирают из разборных трубопроводов установки КДУ-55М, на которых вместо дефлекторных короткоструйных насадок устанавливают среднеструйные аппараты СДА-2. На каждом крыле через 15 *м* ставят 13 аппаратов. Оросительную систему оборудуют одной дождевальной установкой. Расстояние между позициями дождевальных крыльев 20 *м*.

Крылья установки СДУ-40 работают одновременно, интенсивность значительно меньше, чем у КДУ-55М, и составляет 0,3 *мм/мин*. Поэтому продолжительность работы крыла на позиции больше (табл. 9), число перестановок крыльев за смену сокращается по сравнению с КДУ-55М, что уменьшает потребность ручного труда. Установка эта более совершенна, и поэтому внедрение ее при поливе участков в средней полосе страны несомненно должно дать хороший экономический эффект.

Техническая характеристика среднеструйной дождевальной установки СДУ-40

Расход установки при одновременной работе двух крыльев, *л/сек*	40
Напор на гидранте, *м вод. ст.*	32
Рабочий захват крыла, *м*	200×20
Расстояние между аппаратами СДА-2, *м* . . .	15
Количество одновременно работающих аппаратов, шт.	26

Два дождевальных крыла диаметром 110 *мм* звеньями по 5 *м* из алюминиевого сплава, *пог. м*	380
Два вспомогательных трубопровода диаметром 125 *мм* звеньями по 5 *м* из алюминиевого сплава, *пог. м*	60
Производительность за сезон, *га*	40
Количество обслуживающего персонала, чел.	2

Разработано [21] пять схем (XXIII—XXVII) передвижных закрытых оросительных систем с коротконструйными дождевальными установками СДУ-40 (рис. 11). Оросительную систему можно собирать из комплекта № 10 или 11 стандартного поливного оборудования (табл. 5).

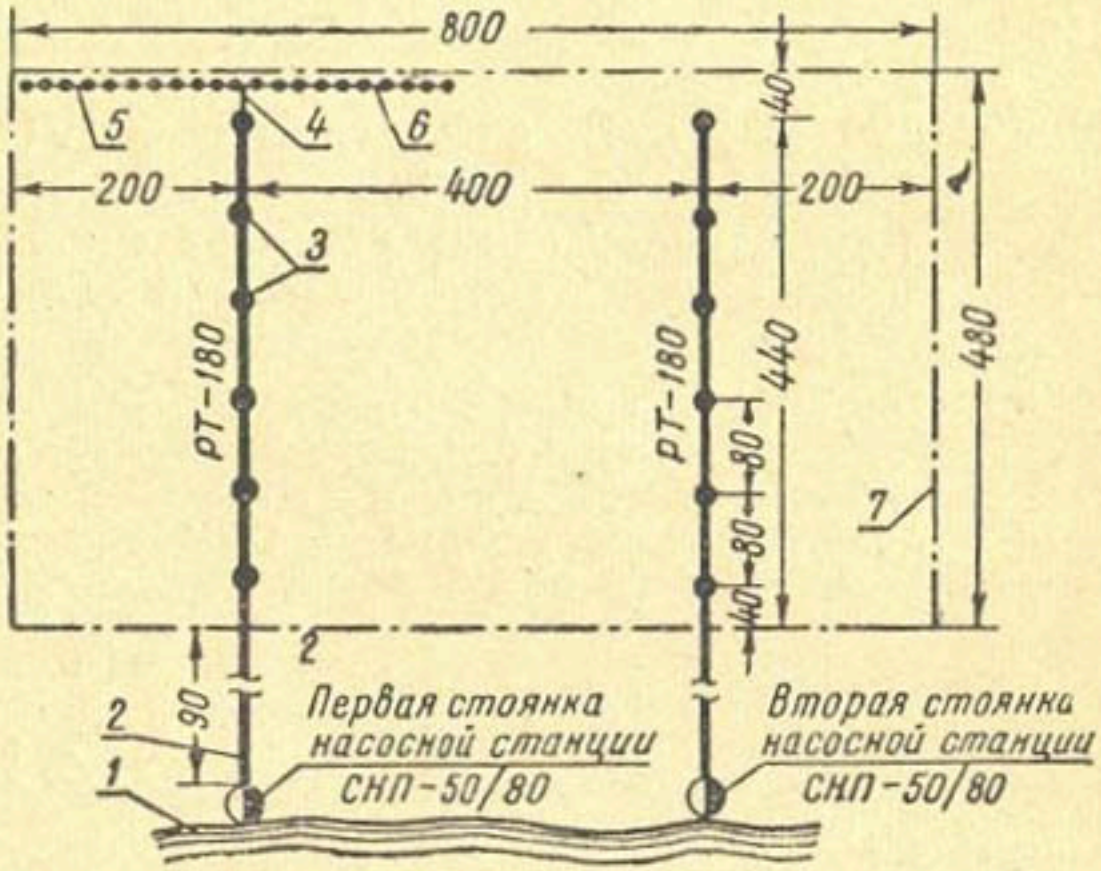
Таблица 5

Спецификация комплектов № 10 и 11 к оросительным системам с дождевальными установками СДУ-40

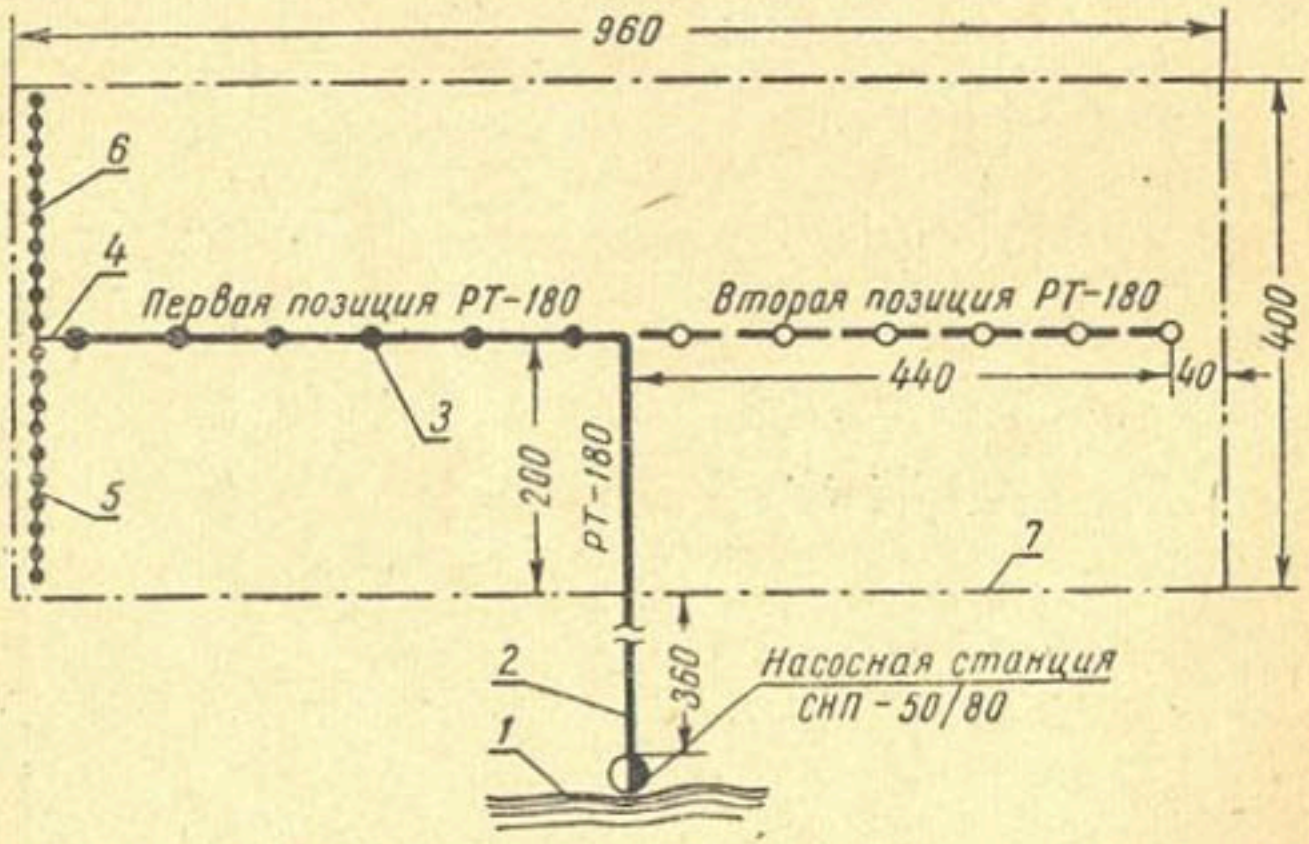
Наименование	Единица измерения	Комплект № 10. Схемы XXIII, XXIV, XXV	Комплект № 11. Схемы XXVI, XXVII
Дождевальная установка СДУ-40	комплект	1	1
Насосная станция СНП-50/80	шт.	1	—
Насосная станция ННС-50/100	»	—	1
Шарнирное соединение насосной станции СНП-50/80 с РТ-180	комплект	1	—
Шарнирное соединение насосной станции ННС-50/100 с РТ-250	»	—	1
Трубопровод разборный стальной РТ-180	*пог. м*	1000	440
Трубопровод разборный стальной РТ-250	» »	—	560
Труба-гидрант РТ-180×125	шт.	12	6
Труба-крестовина РТ-180×180	»	1	1
Труба-тройник РТ-180×180	»	1	1
Колонка *Д*=125	»	2	2
Заглушка-патрубок РТ-180	»	5	3
Труба-гидрант нерегулируемый РТ-250×180	»	—	1
Труба-колено РТ-180	»	—	1
Заглушка-патрубок РТ-250	»	—	2
Манжеты резиновые РТ-180 (резерв)	»	25	10
Манжеты резиновые РТ-250 (резерв)	»	—	15
Манометр до 10 *ат*	»	1	1

Примечание. Комплекты рассчитаны на подъем воды: № 10 — на высоту 26 *м*; № 11 — 10 *м*. При изменении длины подводящей части трубопровода допустимая высота геодезического подъема воды изменяется на каждые 100 *м* соответственно на 2 и 0,4 *м*.

XXIII.


800
5
4
6
200
400
200
40
3
480
РТ-180
РТ-180
440
80
80
40
7
2
90
2
1
Первая стоянка
насосной станции
СНП-50/80
Вторая стоянка
насосной станции
СНП-50/80

XXIV


960
6
4
Первая позиция РТ-180
Вторая позиция РТ-180
400
440
40
3
200
РТ-180
5
7
2
360
Насосная станция
СНП-50/80
1

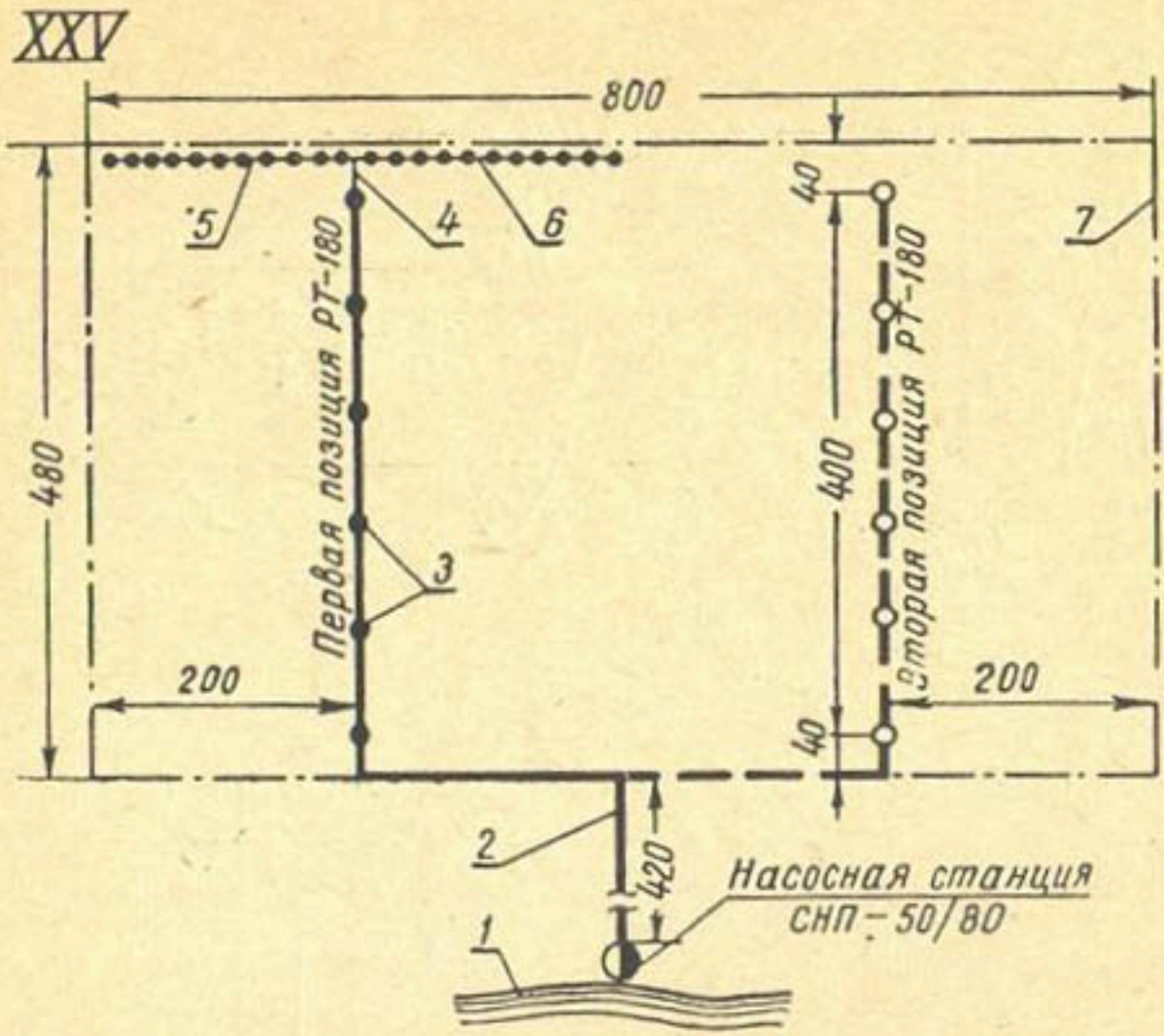


Рис. 11. Схемы орошения участков с помощью дождевальной установки СДУ-40:
XXIII—XXV — площадь орошения за сезон 38,4 *га*; *1* — водоисточник; *2* — подводящая часть трубопровода; *3* — труба-гидрант РТ-180×125; *4* — вспомогательный трубопровод; *5* — первое крыло; *6* — второе крыло; *7* — граница орошаемой площади.

На рисунках не показаны схемы XXVI и XXVII. Эти схемы отличаются соответственно от схем XXIII и XXIV тем, что вместо насосной станции СНП-50/80 применяется ННС-50/100.

Оросительная система с дальнеструйной установкой ДДУ-45 применяется для полива защищенных от ветра участков площадью 40—50 *га*.

Оросительная система состоит из передвижной насосной станции СНП-50/80, разборных стальных поверхностных трубопроводов РТ-180 и дальнеструйной дождевальной установки ДДУ-45.

Установка ДДУ-45 (рис. 12) состоит из одного алюминиевого дождевального крыла диаметром 125 *мм* длиной 175 *м*. На крыле устанавливают четыре дальнеструйных аппарата типа ВНИИГиМ-70. Дождевальное крыло присоединяется к гидранту разборного стального трубо-

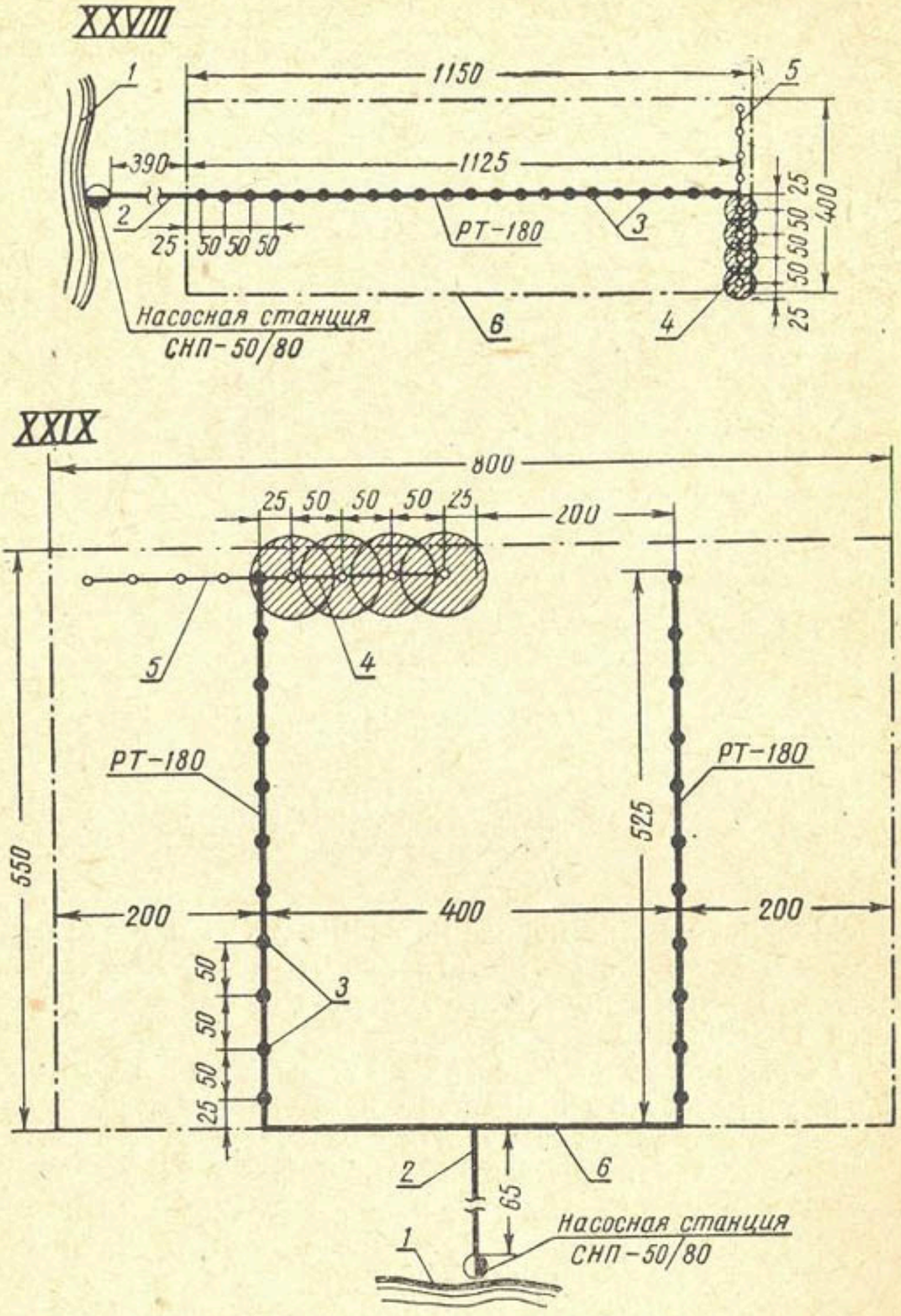


Рис. 12. Схемы орошения участков с помощью дождевальной установки ДДУ-45:

XXVIII — площадь орошения за сезон 46 *га*; XXIX — 44 *га*; *1* — водоисточник; *2* — подводящая часть трубопровода; *3* — труба-гидрант РТ-180×125; *4* — первая позиция; *5* — вторая позиция; *6* — граница орошаемой площади.

провода РТ-180. После полива крыло переносят на следующую позицию. Трубу переносят два человека. Время работы установки на одной позиции при различных нормах полива приведено в таблице 9.

Техническая характеристика дальнеструйной дождевальной установки ДДУ-45

Расход установки, *л/сек*	45
Напор на гидранте, *м вод. ст.*	5
Ширина захвата крыла, *м*	200
Длина захвата, *м*	50
Площадь захвата крыла, *га*	1
Расстояние между аппаратами, *м*	50
Количество дождевальных аппаратов ВНИИГиМ-70, шт	4
Расстояние между гидрантами, *м*	50
Общая длина установки, *м*	175
Длина одного звена трубопровода, *м*	5
Общее количество труб, шт.	35
Внутренний диаметр труб, *мм*	119
Наружный диаметр труб, *мм*	125
Вес дождевального аппарата, *кг*	17
Расчетный вес одного звена трубопровода, *кг*	23
Расчетный вес дождевальной установки, *кг*	900
Интенсивность дождя, *мм/мин*	0,15
Коэффициент использования рабочего времени	0,4
Производительность установки при норме 300 $м^3/га$ за 7-часовую рабочую смену, *га*	2—3
Обслуживающий персонал, чел.	2

Разработано [21] две схемы (XXVIII—XXIX) передвижных закрытых оросительных систем с дальнеструйной дождевальной установкой ДДУ-45. Оросительную систему можно собирать из комплекта № 12 стандартного поливного оборудования (табл. 6).

Таблица 6

Спецификация комплекта № 12 к оросительным системам с установками ДДУ-45

Наименование	Единица измерения	Количество
Дождевальная установка ДДУ-45	комплект	2
Насосная станция СНП-50/80	шт.	1
Шарнирное соединение насосной станции с РТ-180	комплект	1
Трубопровод разборный стальной РТ-180	*пог. м*	1400
Труба-гидрант РТ-180×125	шт.	23
Труба-тройник РТ-180×180	»	2
Труба-крестовина РТ-180×180	»	1
Колонка *Д*=125	»	2
Заглушка-патрубок РТ-180	»	4
Манжеты резиновые РТ-180	»	35
Манжеты резиновые РТ-125	»	10
Манометр до 10 *ат*	»	1

Примечание. Комплект № 12 рассчитан на подъем воды на высоту 10 *м*. При изменении длины подводящей части трубопровода допустимая геодезическая высота подъема воды изменяется на 1,6 *м* на каждые 100 *м* длины:

Схему передвижной оросительной системы и номер комплекта стандартного поливного оборудования выбирают в зависимости от размера и формы орошаемого участка, удаленности его от водоисточника, высоты подъема воды, рельефа местности и почв.

Геодезическую высоту подъема воды определяют по топографическим планам. Если планов нет, то нужно пронивелировать трассу от насосной станции до орошаемого участка и по линиям основных трубопроводов.

Для орошения участков при помощи передвижных оросительных систем по 29 описанным выше схемам разработано 12 комплектов поливного оборудования. Выбрать схему оросительной системы и поливное оборудование для данного участка орошения можно, пользуясь таблицей 7; стоимость комплектов и полива дана в таблице 8.

Площади орошения приняты по опыту работы дождевальных машин и установок в условиях средней полосы европейской части РСФСР преимущественно на участках с овощными культурами при поливных нормах 300 $м^3/га$ и двухсменной работе. В иных условиях площади эти могут быть изменены.

Комплекты № 1—6 и 10—12 используют только при орошении с помощью разборных трубопроводов и дождевальных машин или установок. Все разборные трубопроводы укладывают на поверхности земли. В местах пересечения с дорогами над трубопроводами устраивают переезды.

Комплектами № 7, 8 и 9 можно подавать воду из разборных трубопроводов в открытые каналы, из которых ее забирают на полив дождевальными установками.

В полустационарных системах можно использовать любой комплект стандартного оборудования. В этом случае на поле укладывают постоянные подземные трубопроводы, к гидрантам которых поочередно подключают комплекты поливного оборудования. Номер комплекта и схему передвижной оросительной сети подбирают в зависимости от размеров орошаемого участка и принятой техники полива. В таких системах насосная станция заменяется гидрантом стационарного трубопровода.

Полустационарная оросительная система подробно не рассматривается, так как она состоит из постоянной (стационарной) и передвижной сетей, которые описаны выше.

Передвижные насосные станции. Существует довольно много конструкций передвижных насосных станций, установленных на ползунках или на рамах с колесами. Они различны по производительности, высоте подъема воды, системе передачи вращения от двигателя к насосу и т. д. Основные показатели насосных станций, применяемых для подачи воды в передвижную оросительную сеть, приведены в таблице 10.

Посредством всасывающей трубы насосную станцию соединяют с водоисточником. На конце всасывающего трубопровода монтируют приемный клапан с сеткой. Передвижные насосные станции чаще всего ставят у уреза воды без каких-либо подготовительных работ по устройству площадки. В отдельных случаях площадку выравнивают и устраивают спуск к ней.

Насосную станцию снабжают манометром. На каждом насосе устанавливают задвижку, которая служит для регулирования подачи воды и пуска насоса в работу.

Сводная таблица к выбору схемы оросительной

Типовые схемы оросительных систем	Площадь обслуживания, *га*	Номер стандартного комплекта	Агрегат или установка		Разборный трубопровод (РТ)	
			марка	количество	диаметр, *мм*	длина, *м*
I, II, III и IV	25—30	1	КДУ-55М	1	180	1000
V	50—60	2	КДУ-55М	2	180	1500
VI	50—60	3	КДУ-55М	2	250	360
					180	1140
VII, VIII, IX и X	35—40	4	ДДН-45 из закрытой сети	1	180	1200
					125	280
XI, XII, XIII	35—40	5	То же	1	180	700
					125	280
XIV	70—80	6	» »	2	250	800
					180	890
					125	560
XV, XVI и XVII	35—40	7	ДДН-45 из открытых каналов	1	180	1000
XVIII, XIX и XX	70—80	8	То же	2	250	800
					180	800
XXI, XXII	100—150	9	ДДА-100М	1	250	900
XXIII, XXIV и XXV	40—50	10	СДУ-40	1	180	1000
XXVI и XXVII	40—50	11	СДУ-40	1	250	560
					180	440
XXVIII и XXIX	40—50	15	ДДУ-45	1	180	1400

* Во избежание образования поверхностного стока воды на таблице, орошение всеми комплектами, кроме № 9, возможно с ву. Производительность комплекта в этом случае будет ниже ра

Таблица 7

системы и комплектов оборудования

Марка насосной станции	Расчетный расход воды, *л/сек*	Расчетная геодезическая высота подъема воды, *м*	Почвы по механическому составу	Уклон по поверхности участка*	Рекомендуемые культуры
СНП-25/60	25	30	Супеси и легкие суглинки . . .	До 0,02	Все низкостебельные культуры и сады
СНП-50/80	50	25	Средние суглинки	» 0,01	
СНП-50/45	50	10	Тяжелые суглинки и глинистые почвы	» 0,005	
СНП-50/80	33	45	Супесь, легкие и средние суглинки	» 0,02	Все культуры
СНП-25/60	33	9	Тяжелые суглинки и глинистые почвы	» 0,008	
СНП-50/45	66	13	Легкие и средние суглинки	» 0,002	Все культуры
СНП-50/80 или	37	21	Тяжелые суглинки и глинистые почвы	» 0,008	
ПНС-Т-6НДв	37	12			
СНП-50/45 или	75	20	Легкие, средние и тяжелые суглинки и глинистые почвы	» 0,005	Все низко- и среднестебельные
ПНС-Т-6НДв	75	8			
СНП-50/80 или	100	10	Супеси и легкие суглинки . . .	» 0,03	То же
ПНС-Т-6НДв	90	7			
СНП-50/80	40	26	Средние суглинки	» 0,02	
ННС-50/100	40	10	Тяжелые суглинки и глинистые почвы	» 0,01	
СНП-50/80	35	10	Супеси, легкие и средние суглинки	» 0,02	Все культуры

участках с уклонами поверхности, превышающими указанные в перерывами в поливе, необходимыми для впитывания воды в почсчетной.

Таблица 8

Ориентировочные данные стоимости комплектов передвижного оборудования и полива

№ комплекта	Агрегат или установка: марка	Агрегат или установка: количество	Марка насосной станции	Стоимость: комплекта, тыс. руб.	Стоимость: на 1 га, руб.	Амортизационные отчисления (на восстановление и капремонт) на гектаро-полив, руб.	Себестоимость гектаро-полива (включая амортизационные отчисления) при поливной норме: 300 м³/час	Себестоимость гектаро-полива (включая амортизационные отчисления) при поливной норме: 600 м³/час	Стоимость 1 м³ воды, поданной для полива при норме: 300 м³/га	Стоимость 1 м³ воды, поданной для полива при норме: 600 м³/га	Примечание
1	КДУ-55М	1	СНП-25/60	6,5	264	7,92	16,29	24,68	5,4	4,1	Закрытая сеть
2	КДУ-55М	2	СНП-50/80	12,6	252	7,57	14,07	20,59	4,7	3,4	То же
3	КДУ-55М	2	СНП-50/45	11,2	224	6,70	13,20	19,72	4,4	3,3	» »
4	ДДН-45	1	СНП-50/80	12,0	325	8,80	17,20	25,50	5,7	4,2	» »
5	ДДН-45	1	СНП-25/60	5,3	152	3,89	10,25	16,46	3,4	2,7	» »
6	ДДН-45	2	СНП-50/45	10,7	153	3,91	10,25	16,46	3,4	2,7	» »
7	ДДН-45	1	СНП-50/80	7,8	223	8,47*	14,81*	18,09*	4,9*	3,0*	Из открытых каналов
8	ДДН-45	2	СНП-50/45	9,4	134	5,62*	11,96*	15,18*	4,0*	2,5*	То же
9	ДДА-100М	1	СНП-50/80	11,2	112	5,96*	8,85*	11,59*	3,0	1,9*	» »
10	СДУ-40	1	СНП-50/80	10,3	258	5,44	11,02	16,61	3,7	2,8	Закрытая сеть
11	СДУ-40	1	НИС-50/100	7,0***	175***	5,00**	10,58**	16,17**	3,5**	2,7**	То же
12	ДДУ-45	1	СНП-50/80	10,0	222	4,67	10,25	15,74	3,4	2,6	» »

* С учетом стоимости открытых каналов.
** С учетом стоимости работы трактора Т-74.
*** Стоимость комплекта № 11 дана без учета стоимости трактора Т-74.

Таблица 9

Время стоянки дождевальных машин на одной позиции в зависимости от поливной нормы (*мин*)

Дождевальная установка или машина	Поливная норма, *м³/га*							Интенсивность дождя, *мм/мин*
	150	225	300	375	450	525	600	
КДУ-55М	15	22,5	30	37,5	45	52,5	60	1,00
СДУ-40	50	71,0	100	125,0	150	175,0	200	0,30
ДДУ-45	56	84,0	111	139,0	166	198,0	222	0,27
ДДН-45	54	87,0	108	135,0	162	189,0	216	0,27

Таблица 10

Основные показатели передвижных насосных станций

Марка насосной станции	Тип и мощность двигателя	Марка насоса	Диаметр рабочего колеса насоса, *мм*	Геодезическая высота всасывания, *м*	Число оборотов вала насоса в минуту, *об/мин*	Напор *H*, *м*	Расход, *л/сек*	Вес насосной станции, *кг*
СНП-25/60	Д-37М, 38 *л. с.*	4К-6	272	6,3	2500	71—46	17—36	2600
СНП-50/45	Д-54, 54 *л. с.*	6НДв	405	6,3	1300	45	50	2600
СНП-50/80	СМД-14А, 75 *л. с.*	8М-9×2	324	4,5	1700	85—25	30—110	2200
ПНС-Т-6НДв	Трактор ДТ-54	6НДв	405	1,5	1080	33—25	40—90	800

ОРОСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С ПОЛИЭТИЛЕНОВЫМИ ТРУБОПРОВОДАМИ

В нашей стране закрытые оросительные системы с полиэтиленовыми трубопроводами только начинают внедрять в практику орошаемого земледелия. Опыт строительства закрытой оросительной сети с полиэтиленовыми трубопроводами в Таджикской части Голодной степи (в зоне командования канала ТМ-2) показывает, что полиэтиленовые трубы можно с успехом применять вместо асбестоцементных, железобетонных и других труб. При этом полиэтиленовые трубы имеют ряд преимуществ перед асбестоцементными: они легче в 5 раз; хорошо обрабатываются плотничным и слесарным инструментом; не боятся ударов, что очень важно, так как потери асбестоцементных труб из-за ударов при транспортировке и монтаже составляют 5% и более. Полиэтиленовые трубы обладают высокой сопротивляемостью к химическому воздействию, сохраняют гибкость даже при низких температурах, поэтому не разрушаются при замерзании в них воды.

Отечественная промышленность выпускает напорные трубы из полиэтилена диаметром до 300 *мм*, в ближайшее время такие трубы будут изготавливаться диаметрами 350 и 400 *мм*. Сортамент и стоимость напорных труб из полиэтилена высокой плотности (ПВП) приведены в таблице 11.

СПОСОБЫ СОЕДИНЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ

Надежность работы полиэтиленового трубопровода в большей степени определяется конструкцией соединения труб между собой и с арматурой.

Таблица 11

Сортамент и стоимость труб из полиэтилена высокой плотности

Условный проход, $D_у$, *мм*	Наружный диаметр $D_н$, *мм*	Легкий тип — условное давление $P_у = 2{,}5$ *кгс/см²*			Средний тип — условное давление $P_у = 6$ *кгс/см²*			Тяжелый тип — условное давление $P_у = 10$ *кгс/см²*			Длина труб, *мм*
		толщина стенки, *мм*	вес 1 *пог. м*, *кг*	стоимость 1 *пог. м*, руб. и коп.	толщина стенки, *мм*	вес 1 *пог. м*, *кг*	стоимость 1 *пог. м*, руб. и коп.	толщина стенки, *мм*	вес 1 пог. *м*, *кг*	стоимость 1 *пог. м*, руб. и коп.	
50	63	1,8	0,38	0—48	3,6	0,71	0—75	5,8	1,08	1—15	В прямых отрезках 6, 8, 10, 12 *м* с допуском ±50 *мм*
70	75	2,0	0,49	0—52	4,3	1,06	1—05	6,9	1,53	1—52	
80	90	2,1	0,62	0—67	5,1	1,54	1—48	8,2	2,18	2—25	
100	110	2,7	0,97	1—00	6,3	2,14	2—21	10,0	3,24	3—91	
125	140	3,5	1,58	1—94	8,0	3,44	3—50	12,8	5,26	5—38	
150	160	4,0	2,06	2—10	9,1	4,47	4—57	14,6	6,86	7—00	
200	225	5,5	3,94	4—03	12,8	8,80	8—58	—	—	—	
250	280	6,9	6,15	6—13	—	—	—	—	—	—	
300	315	7,7	7,75	7—68	—	—	—	—	—	—	

Условия обозначения труб: последовательно указываются величина условного давления и условного прохода, марка материала, номер рецептуры и номер МРТУ.

Пример обозначения трубы с условным давлением $P_у = 10$ *кгс/см²*, условным проходом $D_у = 50$ *мм*, изготовленной из полиэтилена высокой плотности. Труба 10—50 ПВП-1МРТУ 6 № 05-917-63. Стоимость взята из прейскуранта № 05-03 оптовых цен на трубы из пластических масс, вводимого в действие с 1 января 1965 г.

В практике строительства водопроводно-канализационных систем разработано много типов соединений полиэтиленовых труб малых диаметров — от 25 до 100—150 *мм*, а в закрытых оросительных системах применяются трубопроводы в основном диаметрами 200—400 *мм*.

Соединения полиэтиленовых труб делятся на разъемные и неразъемные. Неразъемные соединения можно получить путем сварки и склеивания, разъемные — путем разбуртовки труб и применения фланцев.

Из перечисленных способов соединения труб основным является сварка — соединение полиэтиленовых труб под действием нагревания и давления. В идеальном случае в месте сварки образуется однородный материал и прочность сварного шва приближается к прочности основного материала. Следует отметить, что при сварке высокая прочность соединения достигается за минимальное время, так как процесс сварки не связан с испарением растворителя или предварительной обработкой материала, как это наблюдается при склеивании.

Распространена прутковая сварка горячим газом, так как она относительно проста (в общих чертах напоминает кислородно-ацетиленовую сварку металлов). Газ-теплоноситель в сварочных аппаратах нагревают электроэнергией и газом. Температура струи газа (горячий воздух, но лучше азот, так как происходит менее интенсивное окисление разогретого слоя) при выходе из наконечника должна быть 210—315° при расходе газа от 0,01 до 0,05 *м*^{3}/*мин*, давление подаваемого газа — 0,15—0,75 *ат*. Расстояние между наконечником сварочного аппарата и швом колеблется от 3,2 до 8,0 *мм*. Скорость сварки при этом в зависимости от толщины сварного материала составляет 12—20 *см/мин*.

Однако беспрутковой сваркой в ряде случаев невозможно соединить трубы большого диаметра, так как они имеют значительную овальность, разную толщину стенок и расхождения в диаметрах.

При беспрутковой сварке материал труб разогревают нагретым инструментом.

Вид нагревателя зависит от типа соединения: в стык или в раструб.

При сварке в стык нагревательный элемент можно нагревать до необходимой температуры — 160—215° пламенем паяльной лампы и электричеством. В зависимости

от изменения температуры нагревательного элемента время контакта его с материалом трубы изменяется от 150—180 до 40 *сек*. Как только соединяемые поверхности материала достаточно размягчатся, нагревательный элемент убирают, а разогретый материал быстро соединяют под небольшим давлением (0,3—1,0 *кг/см*^{2}) и фиксируют в этом положении до его охлаждения.

При сварке в раструб стыкуемые детали подогревают не с торца, а с внутренней поверхности раструба и с наружной поверхности трубы.

Полиэтиленовые трубы соединяют также с помощью полиэтиленовой ленты: концы труб обматывают лентой, которая при нагреве специальным нагревательным устройством приваривается к ним. Однако при соединении труб больших диаметров нужно накладывать много слоев ленты, что снижает качество шва.

За последнее время разработан новый способ сварки — нагревательное приспособление в виде проволоки, которая оставляется в соединении и становится частью конструкции. Для того чтобы провести сварку, в фитинг с электронагревательным элементом вставляют концы труб. Подводящие провода внутреннего сопротивления в фитинге подсоединяют к внешнему источнику тока и пропускают ток. Материал разогревается, и оплавляется как внутренняя поверхность фитинга, так и наружная поверхность трубы. Появление расплавленного материала из зазора между трубой и фитингом означает, что сварка произведена.

Преимущества этого метода заключаются в том, что трубы можно соединять в труднодоступных местах, не требуется открытое пламя и в случае течи можно подключить нагревательный элемент к источнику тока и произвести сварку повторно. Однако изготовить фитинги больших диаметров трудно и дорого.

Полиэтиленовые трубы можно и склеивать при помощи сополимеров этилена, венилацетата, эпоксидных и других клеев.

Так как поверхность полиэтиленовых труб обладает низкими адгезионными свойствами, когда материал трубы находится в естественном состоянии, то перед нанесением клея концы или подвергают термической обработке, или обрабатывают высокоагрессивными химикатами.

Соединения на клею делают, как правило, в раструб, что обеспечивает высокую прочность стыка. Однако такие соединения применяют еще мало из-за трудоемкости и вредности для рабочих при производстве работ.

Анализ существующих методов соединения труб, конструкций соединений, а также условий строительства трубопроводов закрытых оросительных систем показал, что наиболее целесообразным типом соединения полиэтиленовых труб большого диаметра является стыковой способ.

Способ соединения в стык очень прост, технологичен: не требует сварщиков высокой квалификации; режим сварки легко контролировать; время сварки, исключая подготовительные операции, составляет 2—3 *мин.*

Для сварки труб в стык требуются следующие установки и устройства: установка для сварки полиэтиленовых труб в стык, установка для резки труб, фреза для торцовых полиэтиленовых труб, установка для формовки буртика на концах труб, электропечь для разогрева технического глицерина. Такие установки разработаны и испытаны во ВНИИГиМ.

УСТАНОВКИ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ

Установка для сварки полиэтиленовых труб в стык. Подготовленные торцы труб нагревают до определенной температуры и затем под небольшим давлением (до 1 *кг/см*^{2} на площадь торцов труб) соединяют между собой при помощи установки для сварки полиэтиленовых труб (рис. 13). При этом, как показали наши исследования, получается прочное герметическое соединение.

Установка для сварки полиэтиленовых труб (рис. 14) представляет собой раму *1* с двумя подвижными платформами *2* и *3*, одна из которых *2* перемещается при помощи штурвала редуктора, а другая *3* — при помощи рычага. На обеих платформах установлены хомуты *4*, которыми крепят трубы при сварке.

Оси зажимных хомутов обеих платформ независимо от срока эксплуатации установки должны быть соосны. Для этого подвижная платформа соединена с рамой при

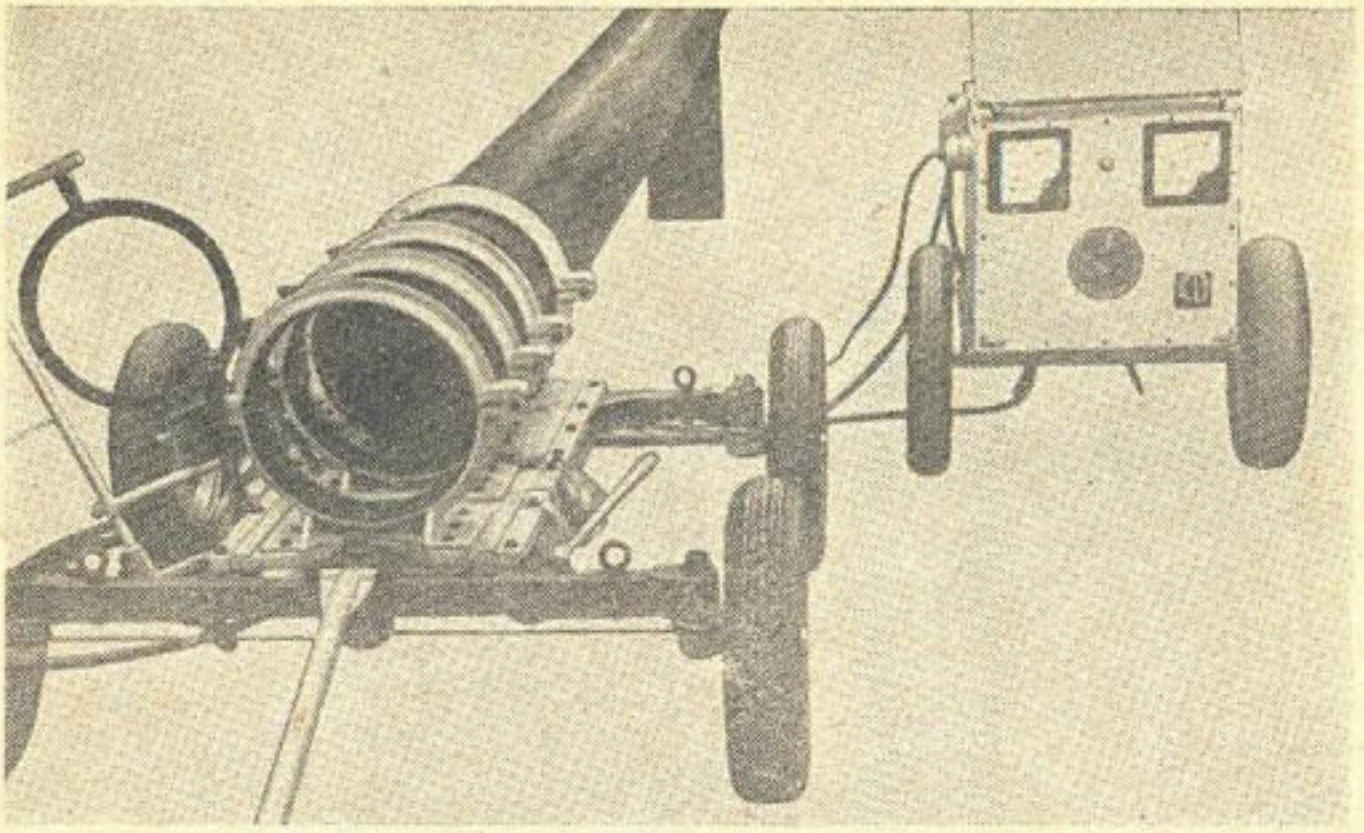


Рис. 13. Установка для сварки полиэтиленовых труб в стык.

помощи параллели *9* и линейного подшипника качания *10*. Прокладкой из войлока подшипники защищены от пыли.

Одну свариваемую трубу крепят двумя хомутами платформы *2*, другую — двумя хомутами платформы *3*.

Хомуты выполнены в виде узких полуколец с ребрами жесткости и оборудованы регулируемыми зажимными устройствами, которые позволяют выправлять перед сваркой концы труб, имеющих овал в сечении и отклонения в размерах наружных диаметров. Овальность труб и отклонения в размерах наружных диаметров возникают от неравномерного нагрева труб на солнце, особенно в южных районах.

Нагревательный элемент *5* установки выполнен в виде кольца или петли из тонколистовой нержавеющей стали типа 1Х18Н9Т с высоким омическим сопротивлением.

Торцы труб одинакового диаметра защищают и закрепляют хомутами. Между ними устанавливают нагревательное кольцо. Торцы труб при помощи подвижной платформы прижимают к нагревательному кольцу и по нему пропускают электрический ток, повышающий температуру кольца до 180—200°, последнее разогревает

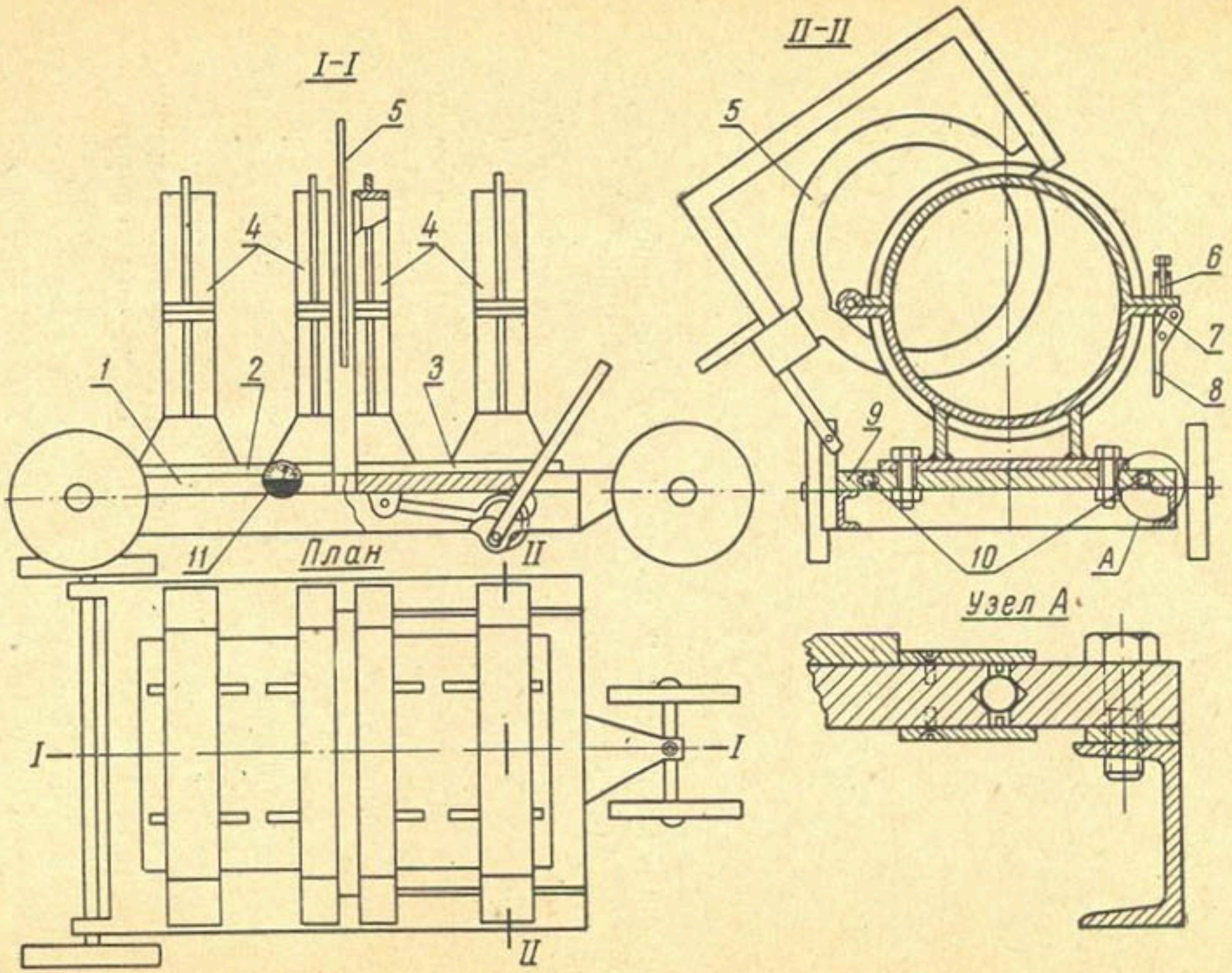


Рис. 14. Схема установки для сварки полиэтиленовых труб в стык:

1 — рама; *2, 3* — подвижные платформы; *4* — хомуты; *5* — нагревательный элемент; *6* — болт; *7* — упор; *8* — рычаг; *9* — параллель; *10* — линейный подшипник качания; *11* — устройство для измерения давления.

полиэтилен (рис. 15). При этом полиэтилен переходит из твердого состояния в вязкое. Затем подвижную платформу отводят, нагревательный элемент вынимают и разогретые концы соединяют под давлением до 1 *кгс/см²*. Величину передаваемого давления контролируют по специальному устройству *11*. Остывая, полиэтилен затвердевает, и, таким образом, получается сварной стык. В месте сварки как с внешней, так и с внутренней стороны образуются выплески материала — валики (граты) высотой 1—2 *мм*.

Исследования показали, что зачищать валики не следует, так как это снижает прочность стыка.

Большое влияние на равномерное оплавление торцов труб оказывает ветер, дождь, особенно при температуре воздуха ниже 15°. Поэтому стык при сварке нужно накрывать брезентом или специальным колпаком из органического стекла, чтобы можно было наблюдать за сваркой, не поднимая его. Кроме того, чтобы получить прочный шов, нужно перед сваркой напильником очищать от пыли торцы труб.

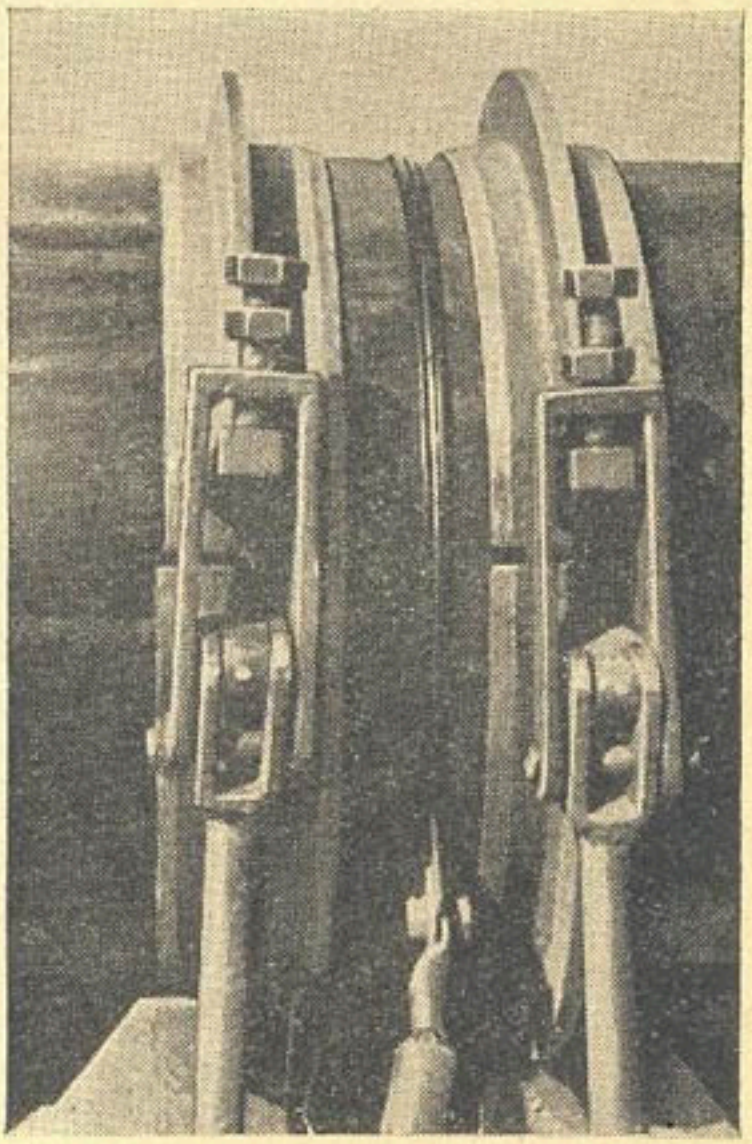


Рис. 15. Разогревание (плавление) торцов соединяемых полиэтиленовых труб.

Установка для сварки снабжена электросиловым оборудованием и приборами для регулирования и контроля силы тока и напряжения. Электропитание (рис. 16) осуществляется от постоянной электросети или от передвижной электростанции: $v=220$ *в*, $f=50$ *гц*, потребляемая мощность установки $N=2$ *квт*. Напряжение от передвижной электростанции подается на автотрансформатор (РНО-250-2 или РНО-250-4), от него —

на силовой трансформатор (ОС-2/05), а затем на нагревательный элемент. При помощи автотрансформатора на кольце устанавливается определенная сила тока, необходимая для нагревания кольца до нужной температуры. Напряжение и силу тока регулируют автотрансформатором вручную. Силовой трансформатор уменьшает напряжение до 5—6 *в* и соответственно увеличивает силу тока. Все это оборудование монтируют на специальной тележке и передвигают по трассе трубопровода вручную.

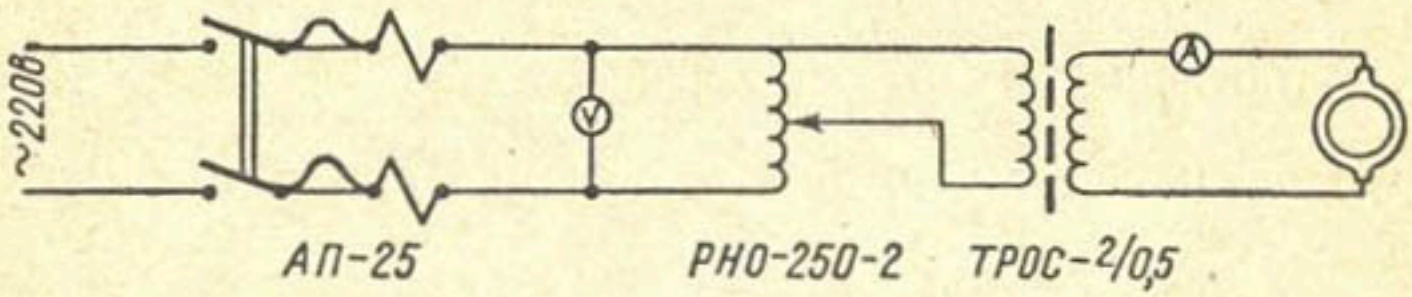


Рис. 16. Электрическая схема установки для сварки полиэтиленовых труб.

Такая установка предназначена для соединения в полевых условиях применяемых в ирригационном строительстве полиэтиленовых труб диаметром до 400 *мм* и более.

При таком соединении труб не нужны муфты и раструбы, что удешевляет строительство.

Установка для резки труб. При строительстве трубопроводов из полиэтиленовых труб в полевых условиях часто возникает необходимость резать трубы и обрезать концы, чтобы получить ровную поверхность торца. Эти работы выполняют при помощи механизированной установки для резки полиэтиленовых труб (рис. 17). На валу электродвигателя *1* мощностью 150—250 *вт* закреплена циркулярная пила *2*. Электродвигатель с пилой при помощи шарнира *13* крепится на скользящем диске *6* и может фиксироваться как в нерабочем приподнятом, так и в рабочем (рис. 17, *б*) положении стопором *10*. Скользящий диск при помощи двух ручек *12* и *14* может свободно вращаться по окружности в двух направляющих кольцах *4* и *5*. Кольцо *5* жестко соединено с патрубком *7*, кольцо *4* крепится к кольцу *5* болтами *3*, которыми регулируют зазор между скользящим диском и направляющими кольцами. Патрубок *7* является основанием приспособле-

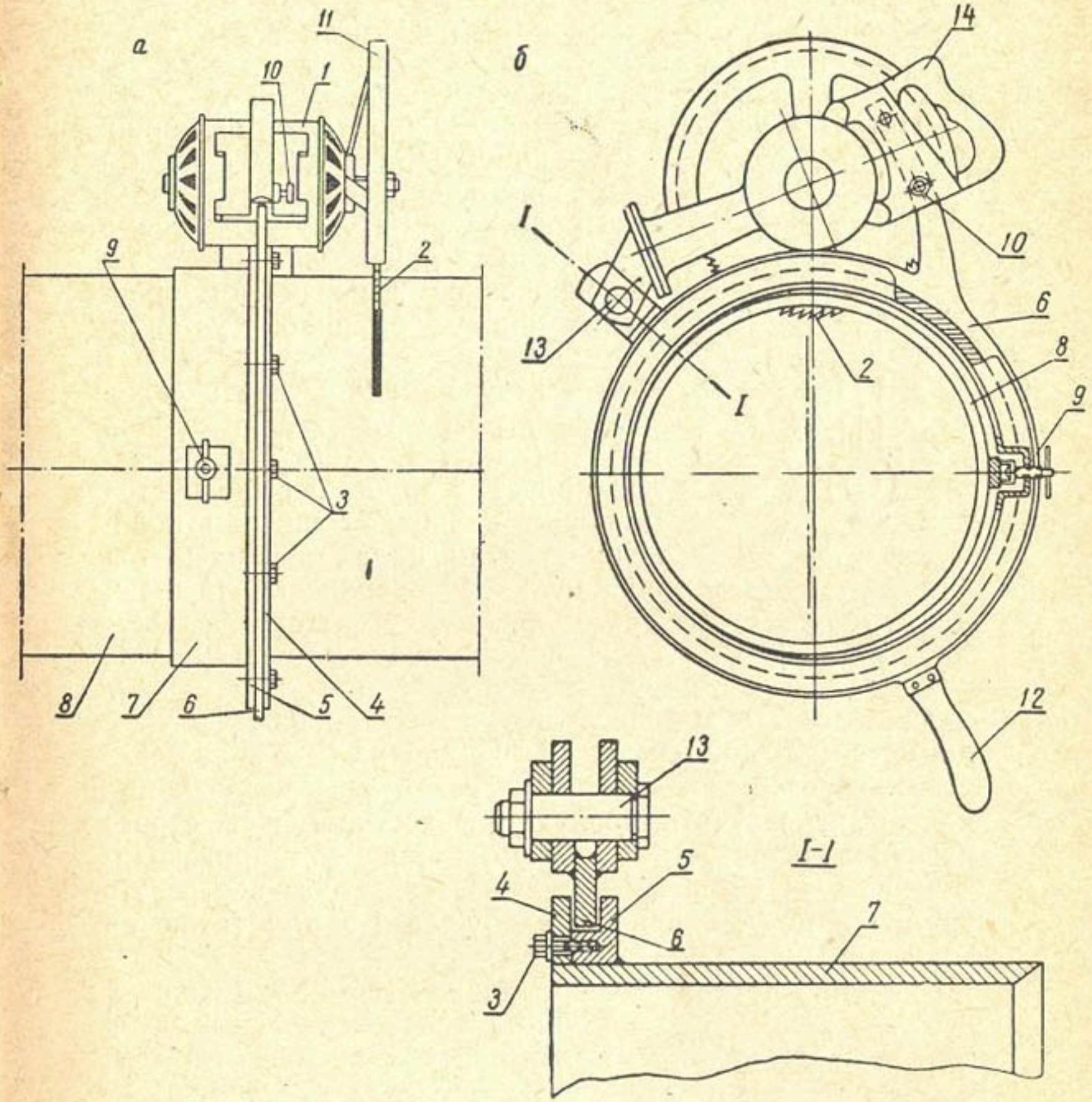


Рис. 17. Схема установки для резки полиэтиленовых труб:
а — общий вид; *б* — вид с торца трубы (рабочее положение); *1* — электродвигатель; *2* — циркулярная пила; *3* — болты; *4, 5* — кольца; *6* — диск; *7* — патрубок; *8* — полиэтиленовая труба; *9* — винтовой упор; *10* — стопор; *11* — кожух для пилы; *12, 14* — ручки; *13* — шарнир.

ния. Внутренний диаметр его на 3—8 *мм* больше наружного диаметра разрезаемой полиэтиленовой трубы *8*. Патрубок закрепляют на трубе винтовым упором *9*.

Можно применять электродвигатель трехфазного тока марки АП-23-А, мощностью 50 *вт*, $v=36$ *в*, $f=200$ *гц*, $n=3000$ *об/мин* на валу пильного диска.

Питается установка от передвижной электростанции или постоянной электрической сети трехфазного тока (рис. 18).

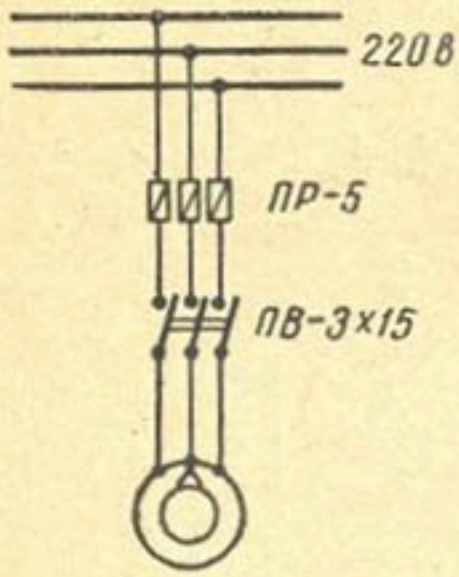


Рис. 18. Схема подсоединения установки для резки полиэтиленовых труб к электросети.

Процесс резки заключается в следующем: приспособление с зафиксированной в нерабочем положении циркульной пилой устанавливают на трубе и крепят на ней винтовым упором *9*. После включения электродвигателя циркулярная пила опускается, одновременно делая прорез в трубе, и фиксируется стопором в рабочем нижнем положении. Затем пила перемещается по наружной поверхности трубы и распиливает ее.

С помощью электропилы для резки полиэтиленовых труб можно: механизировать процесс резки полиэтиленовых труб диаметром до 400 *мм*, так как установка снабжена набором патрубков со скользящим диском и направляющими кольцами; получать ровную плоскость торца, строго перпендикулярную к оси трубы. При этом производительность труда резко увеличивается. Чтобы перерезать трубу диаметром 300 *мм*, требуется 1,5 *мин* (включая время установки приспособления на трубе), в то время как при ручной резке затрачивается 12—20 *мин*.

Такая установка транспортабельна в полевых условиях — изготовленная из алюминиевых сплавов она весит 7 *кг*, из стали — 14 *кг*.

Ручная фреза для торцовки труб из пластмасс. Чтобы получить шов высокого качества при строительстве трубопроводов из пластмасс, необходимо плотное соприкосновение торцов стыкуемых труб. Для этого подрезают или зачищают торцы ножовкой, рашпилем или другим инструментом. Эти операции весьма трудоемки.

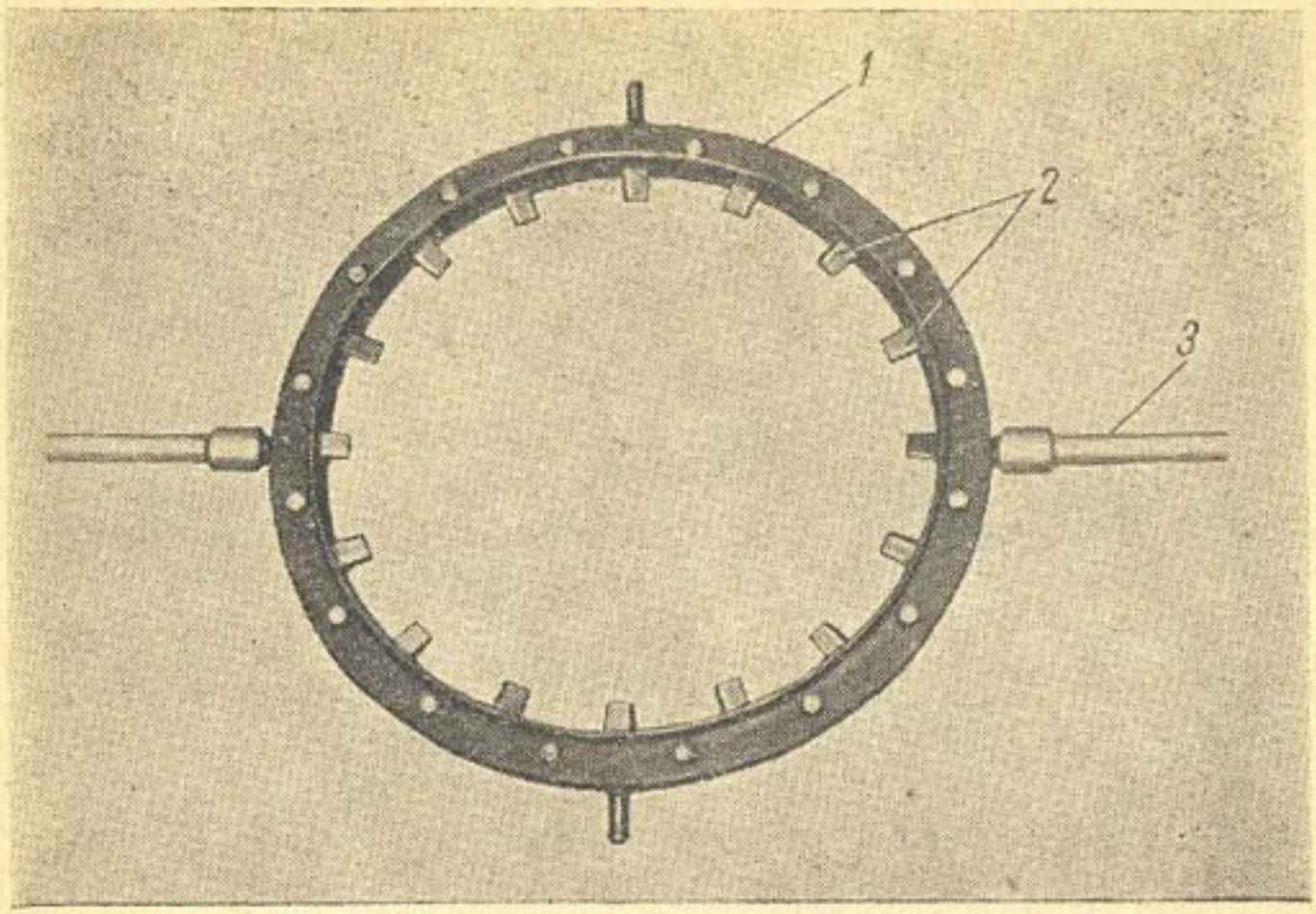


Рис. 19. Ручная фреза для торцовых труб из пластмасс:
1 — зажимное кольцо; *2* — ножи; *3* — ручки.

При помощи фрезы (рис. 19) можно быстро и точно подогнать торцы стыкуемых труб. Такая фреза состоит из двух колец *1*, разнонаправленных ножей *2* и ручек *3*. Кольца имеют полочки, позволяющие центрировать фрезу между торцами стыкуемых труб. Ножи крепят между зажимными и посадочными кольцами радиально на расстоянии 40—80 *мм* один от другого.

Зачищают концы труб следующим образом. Трубы укрепляют на установке для сварки. Между торцами вводят фрезу полочками сверху труб. Затем торцы труб прижимают к ножам фрезы, которую поворачивают то в одну, то в другую сторону. При поворотах фрезы торцы труб зачищаются.

Установка для формования буртика на концах пластмассовых труб. Арматуру и фасонные части из пластмассовых материалов диаметром более 150 *мм* еще не изготовляют. Поэтому применяют металлические фасонные части и арматуру.

Пластмассовые трубы соединяют с арматурой и металлическими фасонными частями фланцами. К концам

труб приваривают или приклеивают пластмассовые фланцы, буксы с бортами, круговые кольца упора или делают разбуртовку труб. В последних случаях применяют свободные фланцы. Соединение на свободных фланцах с использованием буртика на конце трубы является наиболее простым и экономичным, однако надежность такого соединения зависит от качества изготовления буртика.

Существуют различные приспособления для разбуртовки пластмассовых труб диаметром менее 150 *мм*.

Принцип работы этих приспособлений заключается в следующем. В зажимном устройстве закрепляют трубу. Затем конец трубы нагревают до пластического состояния и на него надвигают оправку (пуансон), при помощи которой отгибается и формуется буртик.

Схема установки для формовки в полевых условиях буртика на концах полиэтиленовых труб любых диаметров показана на рисунке 20.

На этой установке предварительно разогретый конец трубы загибается под острым углом при помощи оправки, затем отогнутый буртик формуется под углом 90° к оси трубы прижимным фланцем.

Установка представляет собой раму *9* с укрепленными на ней хомутом и формующим устройством. Хомутом *2* закрепляют пластмассовую трубу, он оборудован регулируемым зажимным устройством, которое состоит из болта *12*, рычага *10* и упора *11*. Формующее буртик устройство состоит из оправки *3* и обоймы *4* с прижимным фланцем *5*. При вращении винта *8* оправка 3 передвигается вместе с обоймой *4*. Обойму, в свою очередь, путем поворота оси с кулачками *6* ручкой *7* можно перемещать относительно оправки.

Для получения разбуртованного патрубка производятся следующие операции.

Конец полиэтиленовой трубы разогревают в техническом глицерине до пластического состояния. Глицерин подогревают в электропечи (рис. 21).

В печь заливают технический глицерин слоем 70 *мм* и нагревают до температуры 125—130°, в него опускают конец полиэтиленового патрубка на 3—5 *мин*. За это время конец трубы длиной 60—70 *мм* нагревается до температуры 120°. При нагревании глицерина выше определенной температуры (130°) может произойти взрыв, поэтому

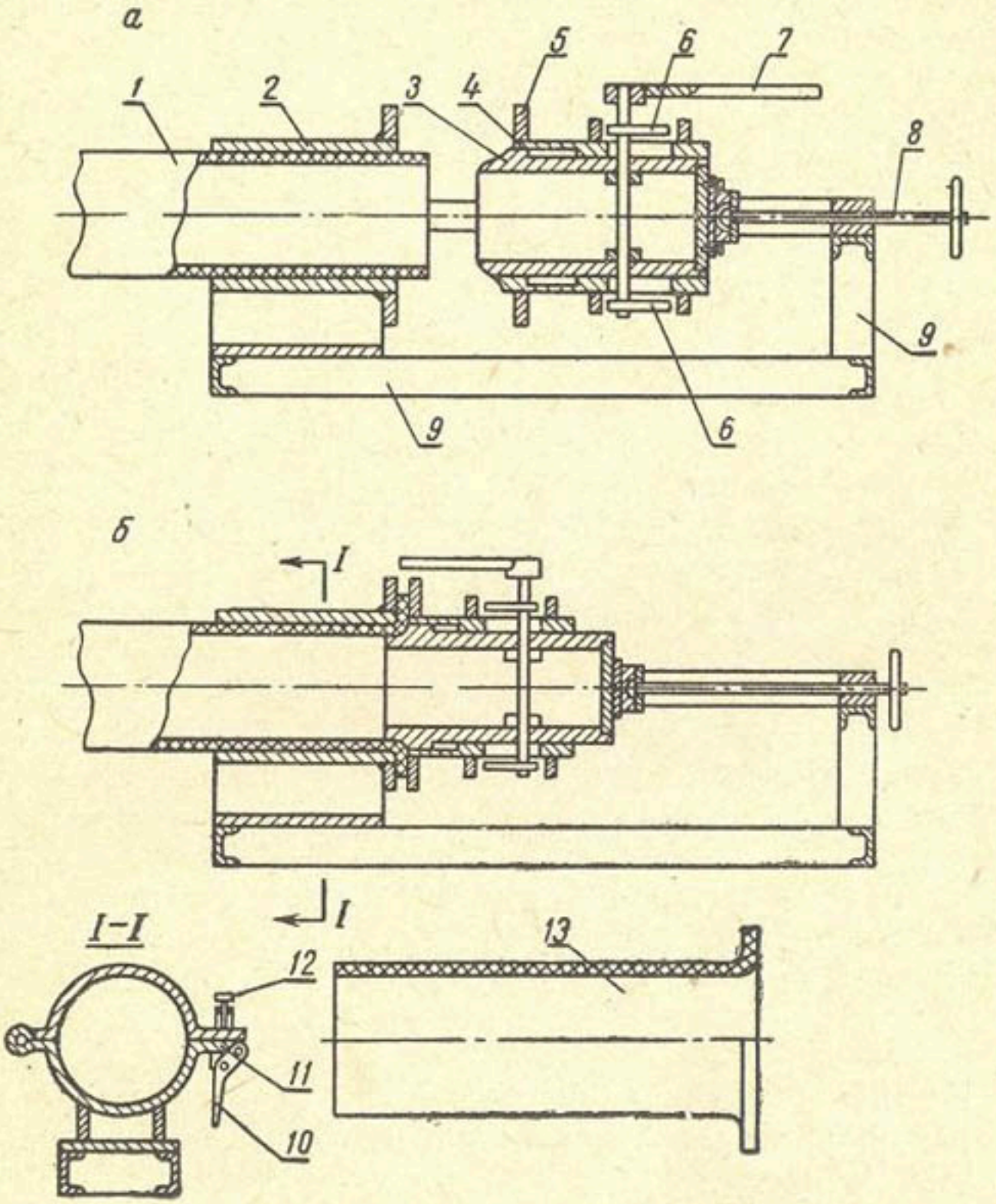


Рис. 20. Схема установки для формовки буртика на пластмассовых трубах:

а — перед формованием; *б* — получение буртика; *1* — труба; *2* — хомут; *3* — оправка; *4* — обойма; *5* — прижимной фланец; *6* — кулачки; *7* — ручка; *8* — винт; *9* — рама; *10* — рычаг; *11* — упор; *12* — болт; труба с буртиком.

необходимо следить за его температурой. В электрическую схему вводят тепловое реле (например, РТ-200), которое автоматически размыкает цепь, когда глицерин достигает определенной температуры. После того как конец патрубка нагревается до температуры 120°, его вынимают из печи и закрепляют в хомуте установки для формования буртика. Питание электропечи (рис. 22) осуществляется от электросети 220 или 380 *в*; потребляемая мощность 4,5 *квт*.

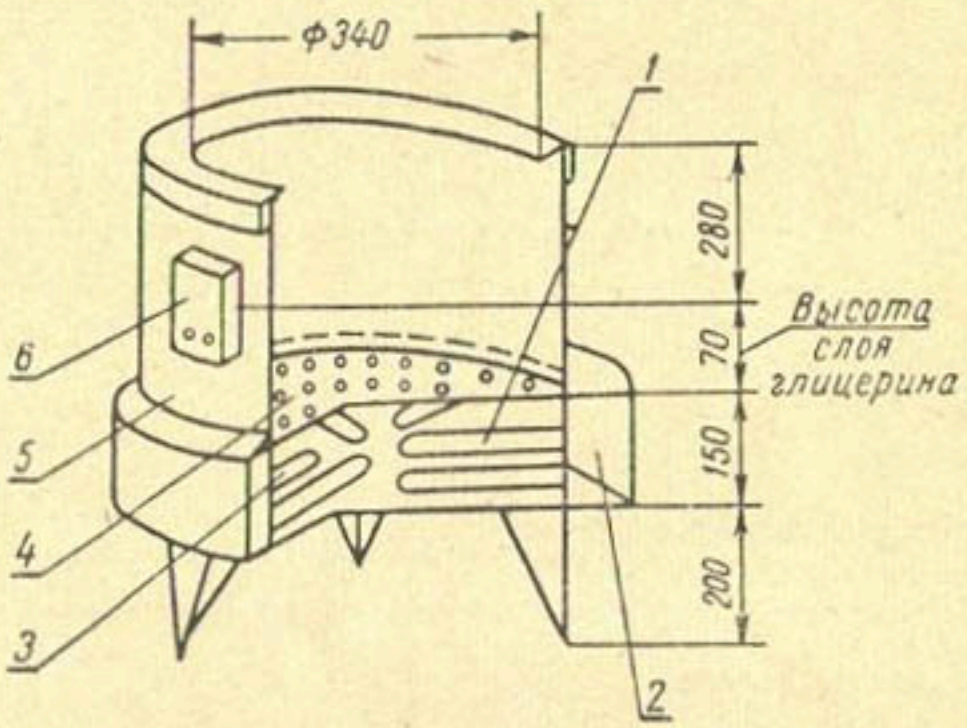


Рис. 21. Электропечь для разогрева глицерина:

1 — тепловой элемент; *2* — защитный кожух; *3* — тепловое реле РТ-200; *4* — диск с отверстиями; *5* — корпус печи; *6* — автоматический переключатель типа АП-25-ЗМТ.

Вращением винта формующее устройство подается вперед, и разогретая часть трубы отгибается передней частью паунсона.

С помощью рукоятки обойма перемещается относительно паунсона, и прижимным фланцем окончательно формуется буртик (рис. 20, *б*).

После остывания сформованного буртика до температуры 40—50°, на что затрачивается 10—15 *мин*, патрубок вынимают из установки.

Если эта установка используется в стационарных условиях, процесс формования буртика можно механизировать.

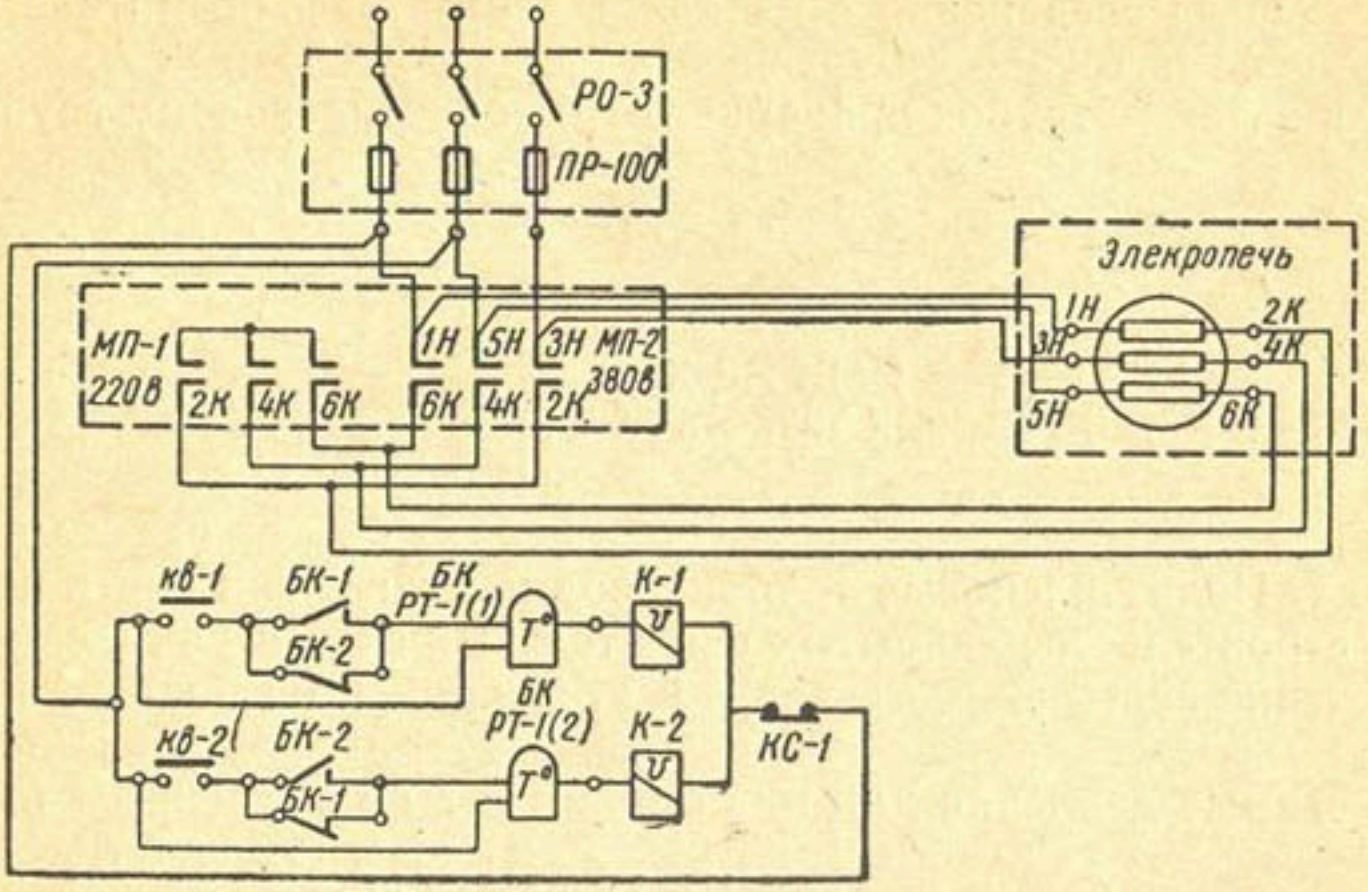


Рис. 22. Схема включения электронагревательной печи.

Нормальная работа схемы на 220 *в*; при включении схемы в электросеть 380 *в* цепь управления включать на фазу и ноль; РТ-1 (1); РТ-1 (2) нормально замкнутое исполнение.

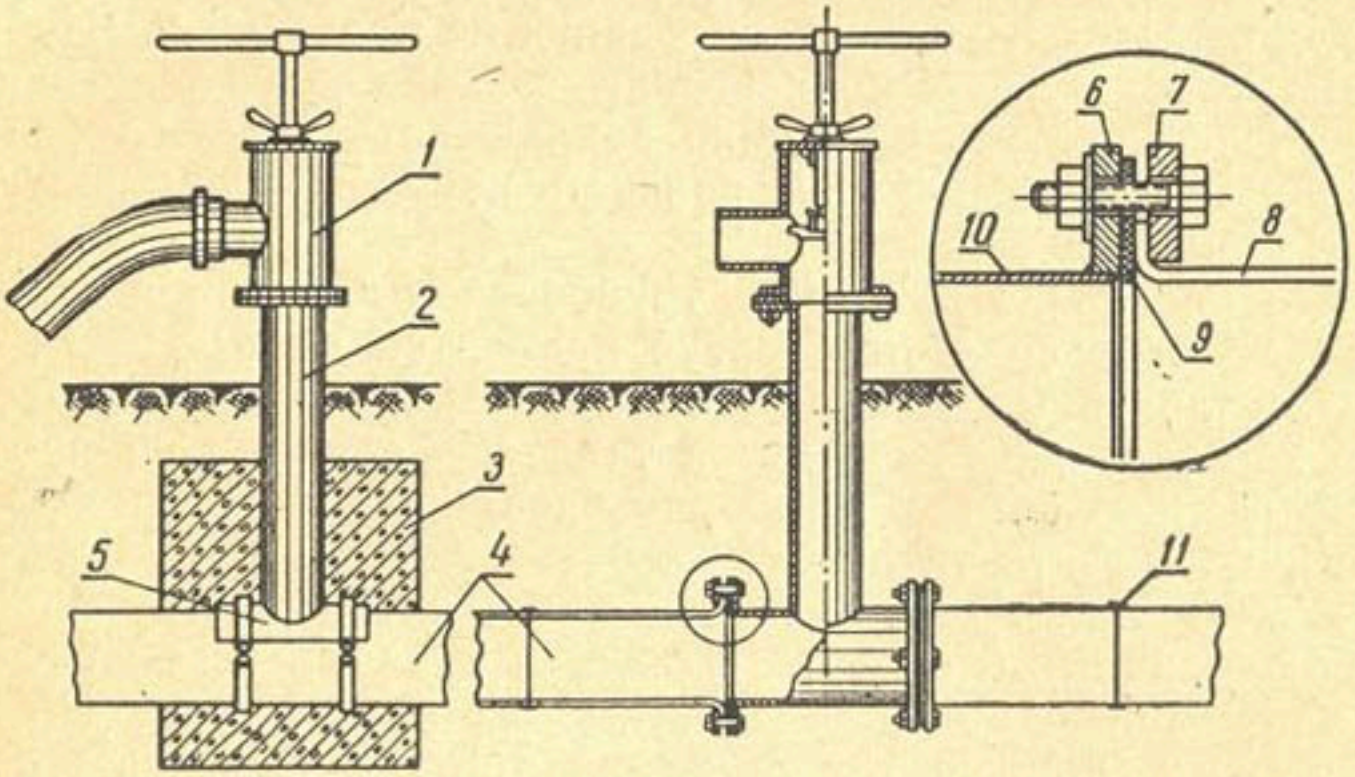


Рис. 23. Гидранты-водовыпуски на полиэтиленовых трубопроводах:

а — соединение металлического стояка гидранта с полиэтиленовым трубопроводом при помощи седелки и бетонной тумбы; *б* — соединение металлического стояка-тройника с полиэтиленовым трубопроводом при помощи отбуртовки и свободного фланца; *1* — клапанная задвижка; *2* — металлический стояк; *3* — бетонная тумба; *4* — полиэтиленовая труба; *5* — седелка; *6* — фланец стояка-тройника; *7* — свободный фланец; *8* — полиэтиленовая труба; *9* — резиновая прокладка; *10* — тройник стояка; *11* — место приварки патрубка с отбуртовкой к полиэтиленовой трубе.

Для соединения с металлическими фасонными частями на патрубок с буртиком надевают свободный фланец и затем патрубок приваривают к полиэтиленовому трубопроводу. После этого свободный фланец соединяют с фланцем фасонной части болтами (рис. 23).

СТРОИТЕЛЬСТВО НАПОРНЫХ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ЗАКРЫТЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Полиэтиленовые трубопроводы можно применять при строительстве закрытых оросительных систем как с самотечно-напорной сетью, так и с механической подачей воды в закрытую сеть. Диаметры трубопроводов и допустимые давления для них принимают по временным техническим условиям «Трубы напорные из полиэтилена высокой плотности МРТУ 6 № 05-917-63».

Опыта применения закрытых оросительных систем с полиэтиленовыми трубопроводами в различных климатических и геологических условиях нет. Поэтому полиэтиленовые трубопроводы можно применять только в тех районах, где глубина промерзания не более 0,6 *м*. Чтобы трубопроводы не подвергались воздействию отрицательных температур, их нужно закладывать ниже глубины промерзания. При этом разность перепадов температур будет 15—20°.

Если полиэтиленовые трубопроводы будут промерзать, то перепад температур повысится до 30—40°, при этом линейные деформации трубопроводов увеличатся в 2—3 раза. Как скажутся такие деформации на прочности подземных трубопроводов больших диаметров, сейчас сказать трудно.

Технология строительства полиэтиленовых трубопроводов закрытой оросительной сети складывается из следующих операций: подготовительные работы, разработка траншеи, монтаж трубопровода и предварительная опрессовка его, укладка трубопровода в траншеи, засыпка трубопровода, окончательная опрессовка.

Трубопровод укладывают в траншею после его предварительного испытания пневматическим способом согласно «Временным указаниям по подземной укладке полиэтиленовых труб для водопровода СН188-61».

Трубопровод монтируют и проводят предварительные испытания его на поверхности земли у бровки траншеи (1—2 *м* от бровки). Поэтому разрабатывать траншею нужно с выбросом грунта на одну сторону. Для этого больше всего подходят экскаваторы типа ЭР, ЭТУ и ЭРТ.

Для уменьшения напряжений в трубопроводе, возникающих при изменении температуры, его укладывают с небольшими изгибами, так как под действием температур длина полиэтиленового трубопровода изменяется.

Так, минимальную ширину траншеи по дну для полиэтиленовых трубопроводов, соединяемых сваркой в стык, принимают равной $D+0{,}2$ *м* (D — наружный диаметр трубопровода в *м*).

Укладывать полиэтиленовые трубопроводы можно на естественный грунт или на искусственное основание.

Естественным основанием могут служить песчаные, суглинистые и глинистые грунты. Не следует укладывать полиэтиленовые трубопроводы в гравелистых грунтах и на полускальном и скальном основании, но можно в просадочных грунтах и грунтах, подверженных пучению. Острые углы камней или гравия могут сделать раковины или вмятины в стенках труб, чем ослабят ее сечение. В этих случаях трубопроводы укладывают на искусственное основание толщиной 10 *см* из песка или мягкого грунта (суглинок, верхний растительный слой и т. д.).

При опускании в траншеи трубопроводы испытывают большие напряжения, и при небрежном выполнении этих работ могут нарушаться сварные соединения.

Укладывать трубопровод в траншею можно как одним (рис. 24), так и двумя автокранами или трубоукладчиками, а трубопроводы диаметром до 200 *мм* и вручную.

При укладке двумя кранами расстояние между ними из условий жесткости трубопровода принимают 15—20 *м*. Работы выполняют в следующей последовательности. Головной автокран при помощи мягкого троса захватывает трубопровод и поднимает его над траншеей. В это время второй автокран захватывает приподнятую часть трубопровода и опускает его на дно траншеи. Затем он переходит вперед, становясь головным, а

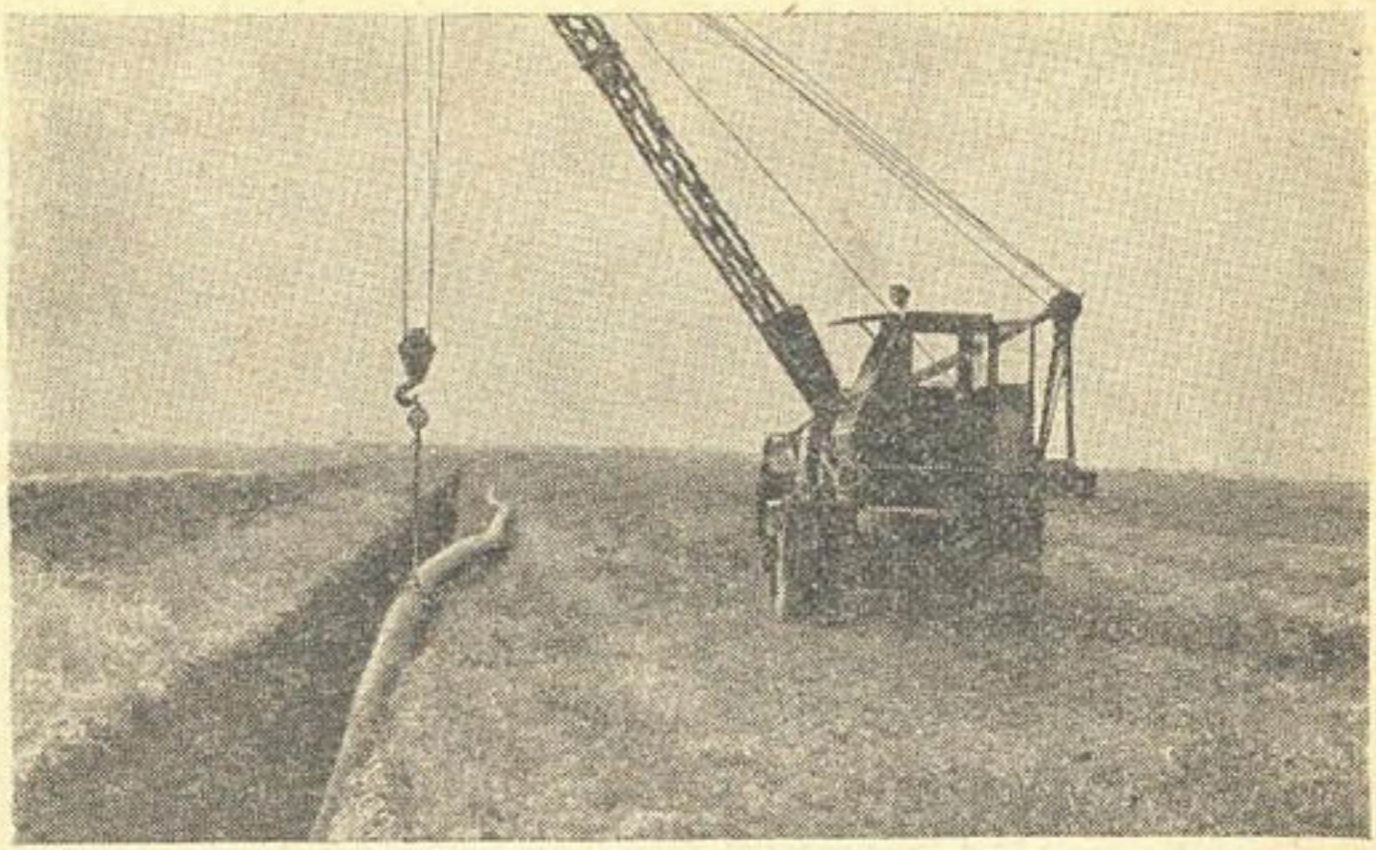


Рис. 24. Укладка полиэтиленового трубопровода (D—300 мм) в траншею одним автокраном.

другой поддерживает трубопровод на весу и перемещает его к траншее. На новом месте головной автокран поднимает новый участок трубопровода, а второй опускает часть трубопровода в траншею. Затем операция повторяется вновь.

При укладке трубопровода одним автокраном надвижку и опускание трубопровода выполняют раздельно. Двое рабочих идут впереди бригады и устанавливают через 2,5—5,0 *м* анкерные лежки поперечным сечением 100×100 *мм*, длиной 2,0—2,5 *м*. Кран поднимает часть трубопровода и опускает его на лежки. Уложив на лежки трубопровод, кран переходит к его началу. Автокран захватывает трубопровод, рабочие вынимают две первые лежки и приподнятый участок трубопровода опускают в траншею. Рабочие отцепляют трос, кран переходит дальше по трассе, и цикл укладки повторяется.

На рисунке 25 показан уложенный в траншею полиэтиленовый трубопровод диаметром 300 *мм*.

Выровненный в траншее трубопровод после присоединения к нему гидрантов засыпают вначале грунтом вручную. Высота засыпки над верхом трубы не должна быть менее 10 см. После отсыпки защитного слоя тран-

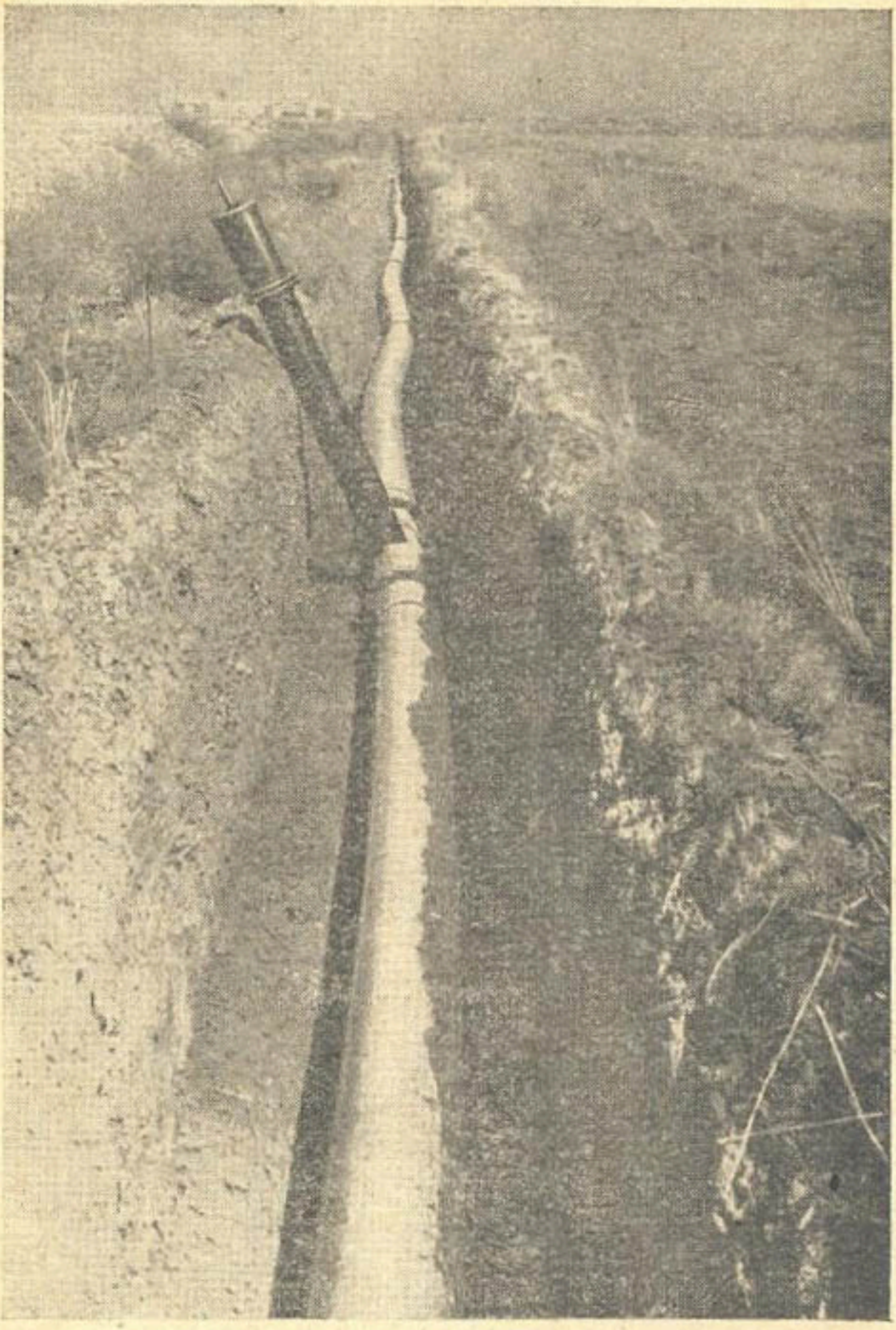


Рис. 25. Самотечно-напорный полиэтиленовый трубопровод диаметром 300 *мм*, уложенный в траншею (Таджикская часть Голодной степи, зона командования канала ТМ-2).

шею засыпают бульдозером или другими механизмами грунтом из отвала. Трубопровод лучше засыпать в то время, когда температура его будет минимальной.

ПРОЧНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ

Долговечность полиэтиленовых трубопроводов зависит в большой степени от прочности сварных стыков, поэтому при строительстве необходимо следить за их качеством. Техническими условиями рекомендуется оценивать прочность стыков труб по испытаниям вырезок из труб — стандартных образцов (лопаток).

Испытания образцов следует проводить дважды: в начале и в период строительства трубопровода. Первые испытания проводят для определения прочности стыков при данном режиме сварки и уточнения его. Для этого сваривается десять стыков, и по испытанию их устанавливается средний процент прочности стыков по сравнению с прочностью материала стенок трубы. Можно считать, что прочность стыка удовлетворительная, если она составляет не менее 80% прочности труб.

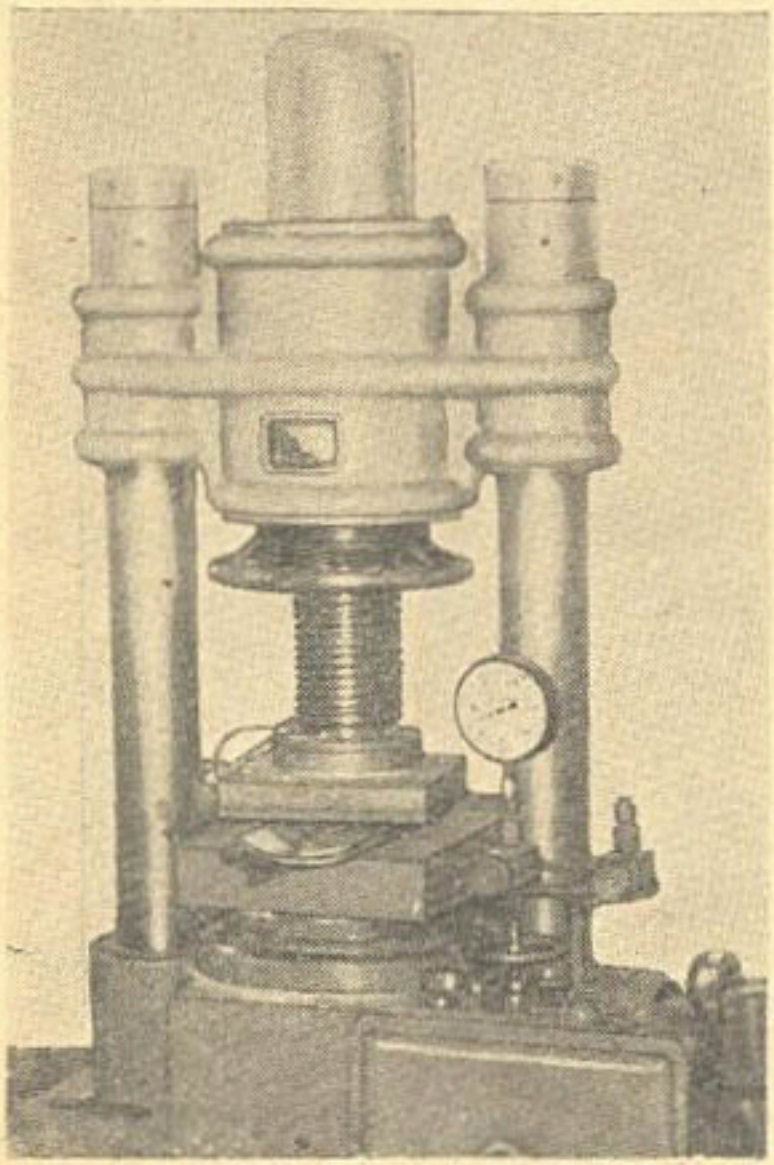


Рис. 26. Изготовление образца для испытаний.

В процессе строительства желательно вырезать лопатки из стыков трубопровода через каждые 500—800 *м* и проверять их на прочность при растяжении.

Полиэтиленовые трубопроводы только начинают внедряться в

ирригацию, поэтому, пока не будет приобретен определенный навык у строительных организаций по технологии строительства таких трубопроводов, нужно проводить испытания сварных стыков. Ниже приводим методику таких испытаний.

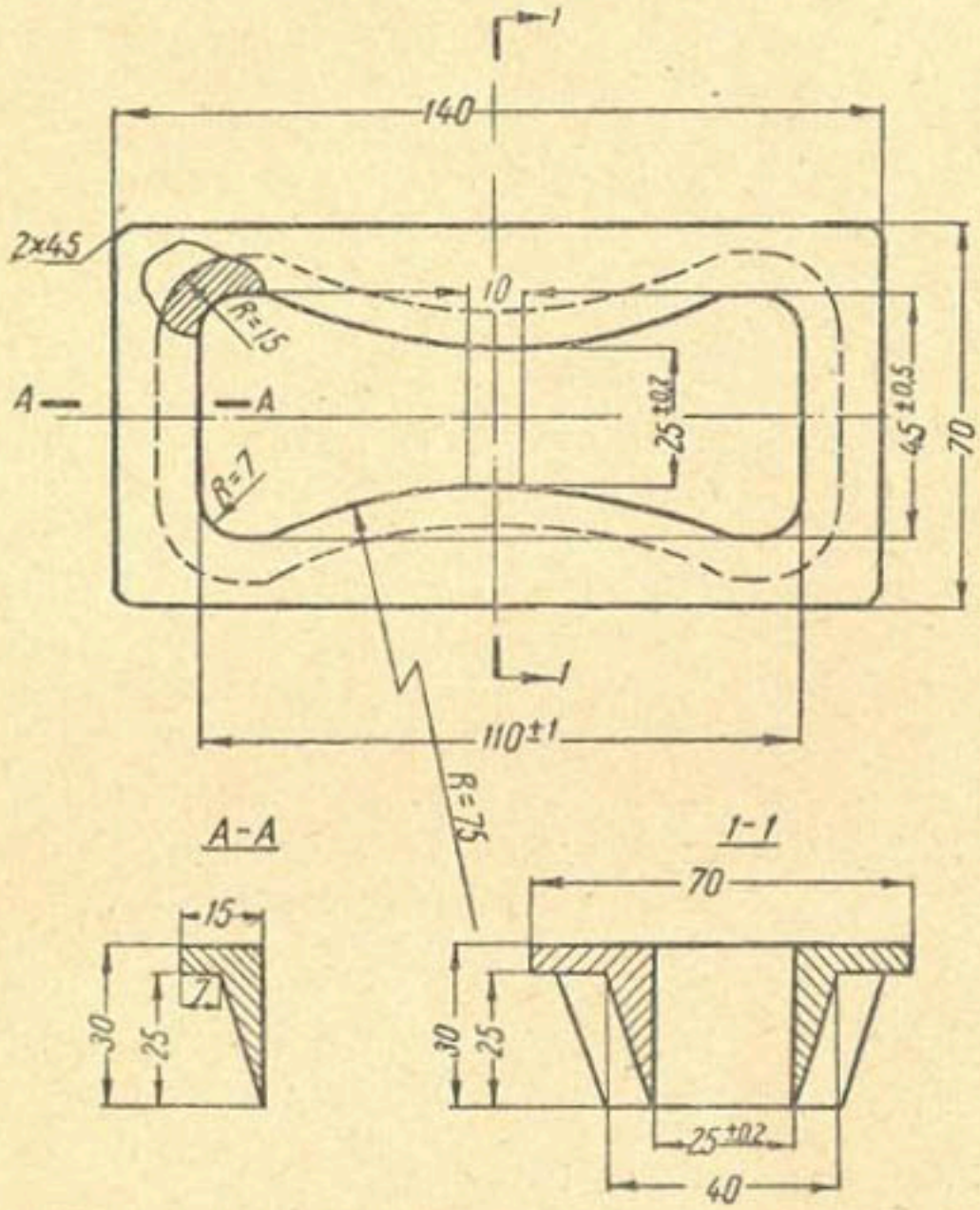


Рис. 27. Штамп прессформы для вырубки образцов (лопаток) из полиэтиленовых труб.

Из трубы вырубаются лопатки на механическом прессе (рис. 26) с помощью специальных прессформ. Размеры их определяются толщиной стенки трубы, из которой вырезаются лопатки. На рисунке 27 приведены основные размеры прессформы согласно ГОСТ 4649—55 «Определение предела прочности при растяжении». Прессформу можно изготовлять из стали ДГ-45 или из инструментальной стали. Следует отметить, что при изготовлении лопаток происходит механическое поврежде-

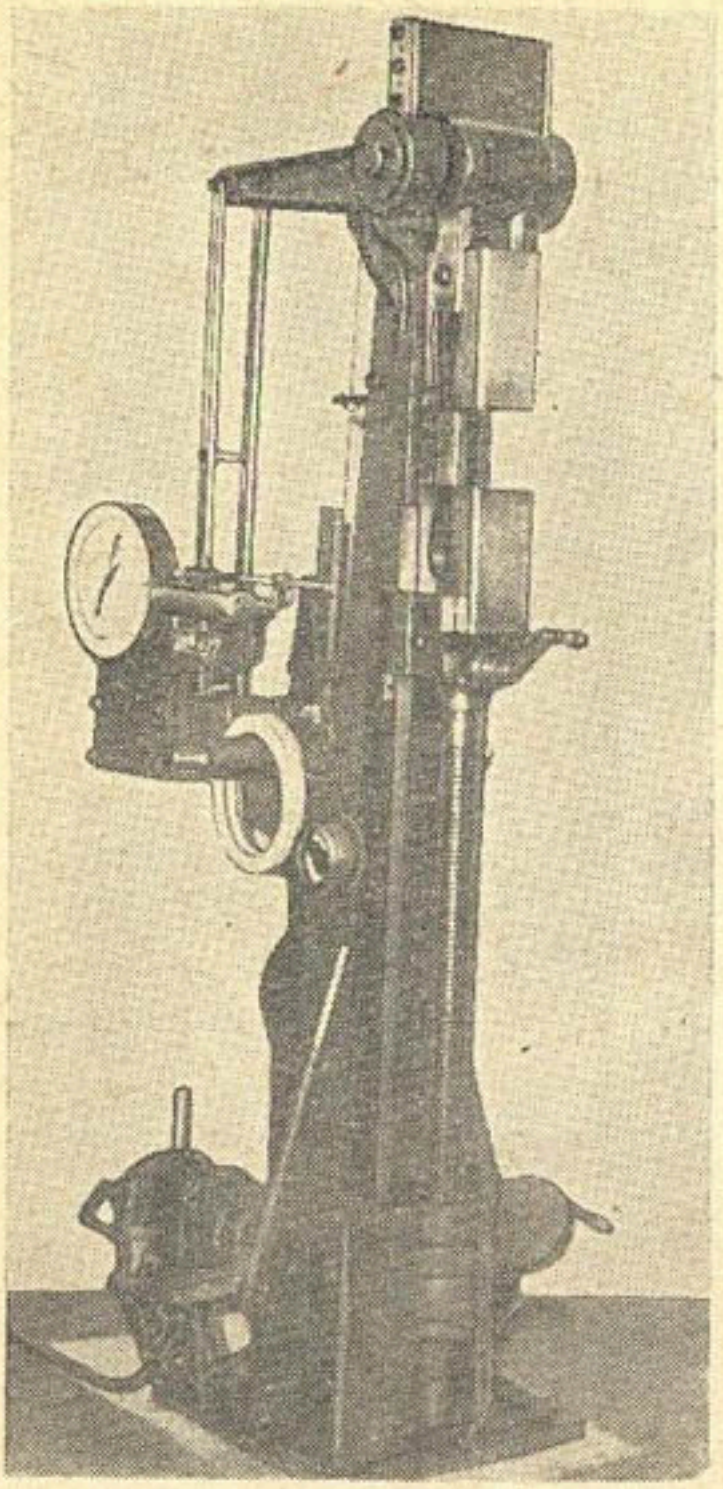


Рис. 28. Разрывная машина Р-5.

ние структуры изделия, что несомненно сказывается на результатах испытаний, поэтому этим методом рекомендуется пользоваться при предварительных или сравнительных испытаниях. В нашем случае этот способ испытания вполне приемлем. Кратковременные испытания представляют интерес для производственного контроля качества изделий, а также при сравнительной оценке, например при сравнительной оценке механической прочности образца со стыком с образцами из основного материала труб.

Для получения достоверных данных о механических свойствах изделий нужно правильно выбрать образцы для испытаний. Из сварного стыка берут 15 образцов — пять по периметру трубы со сварным швом посредине и по пяти с каждой стыкуемой трубы из ненарушенного материала в непосредственной близости от образца, вырезанного по шву. Образцы должны быть без дефектов (задиры, заусеницы, сколы, вздутия, посторонние включения и др.) и иметь ровную без вмятин поверхность. Испытание лопаток можно проводить на разрывной машине Р-5 (рис. 28) со скоростью нагружения 10 *мм/мин*. Эта машина позволяет измерять величину нагрузки на образце с погрешностью, не превышающей 1% величины измеряемой нагрузки. При испытании лопаток машина должна быть снабжена специальными зажимами, исключающими скольжение и перекос образ-

цов. Испытания проводят при температуре 20—25°. В случае отклонения температуры помещения от указанной образцы для испытаний нужно предварительно выдержать в термостате при температуре 20—25° в течение одного часа. Перед испытанием измеряют ширину и толщину рабочих частей образца по краям и в середине. Размер менее 10 *мм* измеряют с точностью до 0,01 *мм*; размер 10 *см* и более — с точностью до 0,1 *мм*. В расчет принимают среднее арифметическое значение их трех измерений.

Испытание ведется постепенным нарастанием нагрузки до разрушения образца. Скорость движения зажима должна быть от 10 до 20 *мм/мин*.

Установка образца для испытаний и испытания проводятся следующим образом: один конец образца (лопатки) вставляется в верхний неподвижный зажим на глубину, позволяющую прочно закрепить его. Затем медленным перемещением нижний зажим подводится до соприкосновения с нижним концом образца, при этом следят за тем, чтобы ось его совпала (на глаз) с отметкой средней линии; удостоверившись, что образец ориентирован правильно и не будет изгибаться при последующем нагружении, поднимают нижний зажим на необходимую высоту и окончательно закрепляют образец. Затем проверяют положение стрелки силоизмерителя, устанавливают карандаш записывающего аппарата и включают машину. В процессе испытания фиксируют максимальную нагрузку и нагрузку, при которой деформировался образец. На рисунках 29, 30 показано хрупкое разрушение образца по стыку и разрушение не по стыку с образованием шейки.

По окончании испытания образца замеряют абсолютное удлинение, соответствующее моменту разрыва образца, и вычисляют для каждого образца площадь поперечного сечения рабочей части, предел прочности при растяжении, относительное удлинение. Кроме того, вычисляют для каждого стыкового соединения среднеарифметические значения максимальной разрушающей нагрузки, предела прочности при растяжении и относительного удлинения как для сварных образцов, так и для образцов из основного материала стыкуемых труб. Все результаты испытаний фиксируют протоколами. В таблице 12 приведена примерная форма протокола.

Таблица 12

Результаты определения предела прочности при растяжении и относительного удлинения стыкового сварного соединения и материала труб полиэтиленового трубопровода $D=\ldots$

Завод-изготовитель . . . . . полиэтилен марки . . . .

№ образца и пикет	Размеры образцов в рабочей части				Разрушающая нагрузка, P, *кгс*	Предел прочности при растяжении σ, *кгс/см²*	Характер разрушения	Абсолютное удлинение, *мм*	Относительное удлинение ε, %	Примечание
	b, *см*	S, *см*	валик (грат), *мм*	база образца, *мм*						

Формула для определения предела прочности при осевом растяжении образца имеет вид:

$$\sigma = \frac{P}{Sb}\ кгс/см^2, \qquad (1)$$

где P — разрушающая нагрузка, *кгс*.

S — расчетная толщина стенки трубы перед испытанием, *см*;

b — ширина рабочей части образца перед испытанием, *см*;

Для определения относительного удлинения при разрыве следует пользоваться формулой:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} 100\%, \qquad (2)$$

где ε — относительное удлинение;

Δl — абсолютное удлинение, *мм*;

l_0 — база замеров деформаций, *мм*.

Базу замеров деформаций размечают на рабочей части образца, абсолютное удлинение образца замеряют по деформационной шкале разрывной машины. Величина пластического удлинения материала вплоть до момента разрушения является общепризнанным критерием, характеризующим хрупкие или вязкие свойства рассматриваемого полимера.

При испытании материалов, растяжение которых сопровождается пластической деформацией (образование

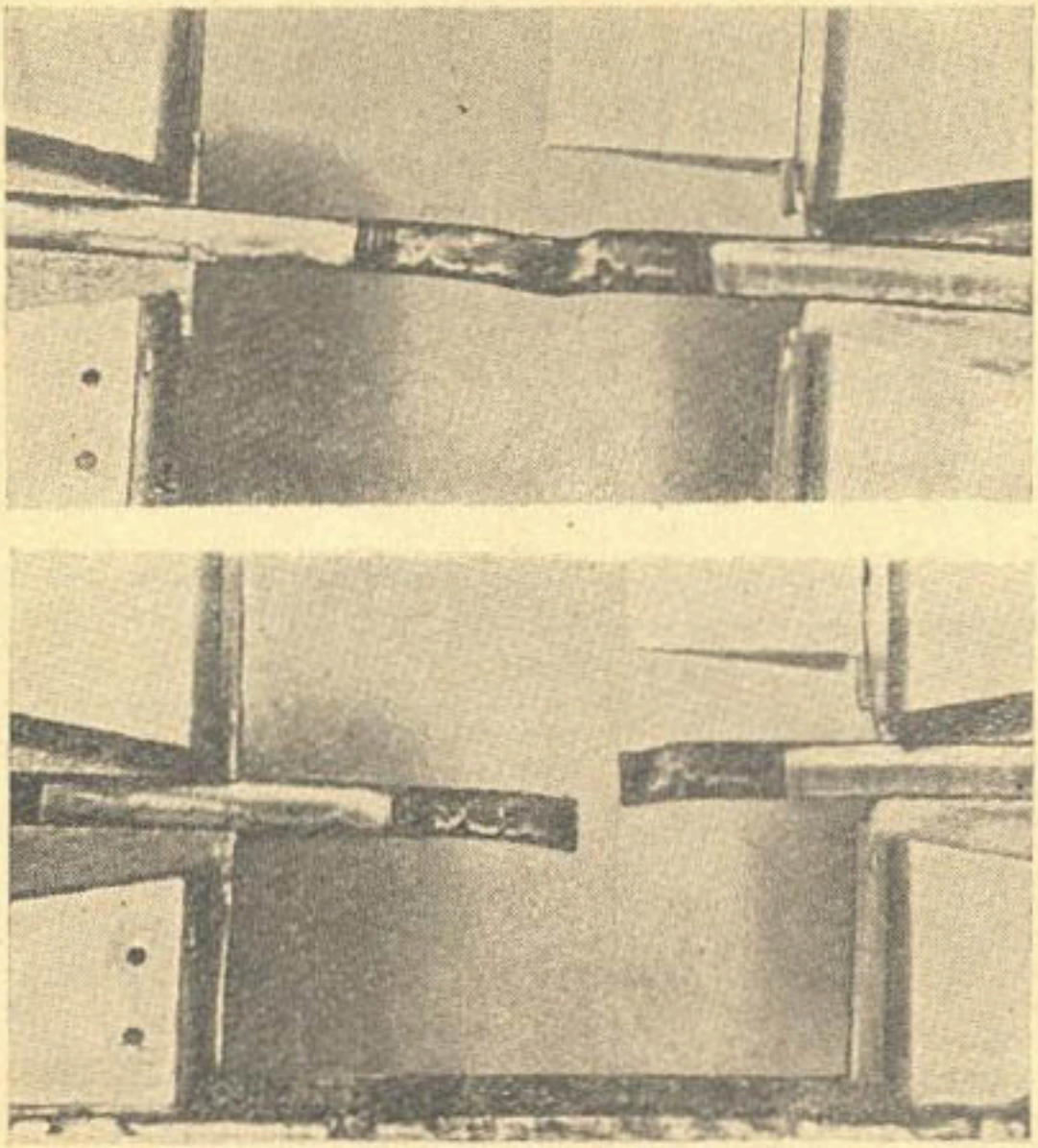


Рис. 29. Хрупкое разрушение образца по стыку.

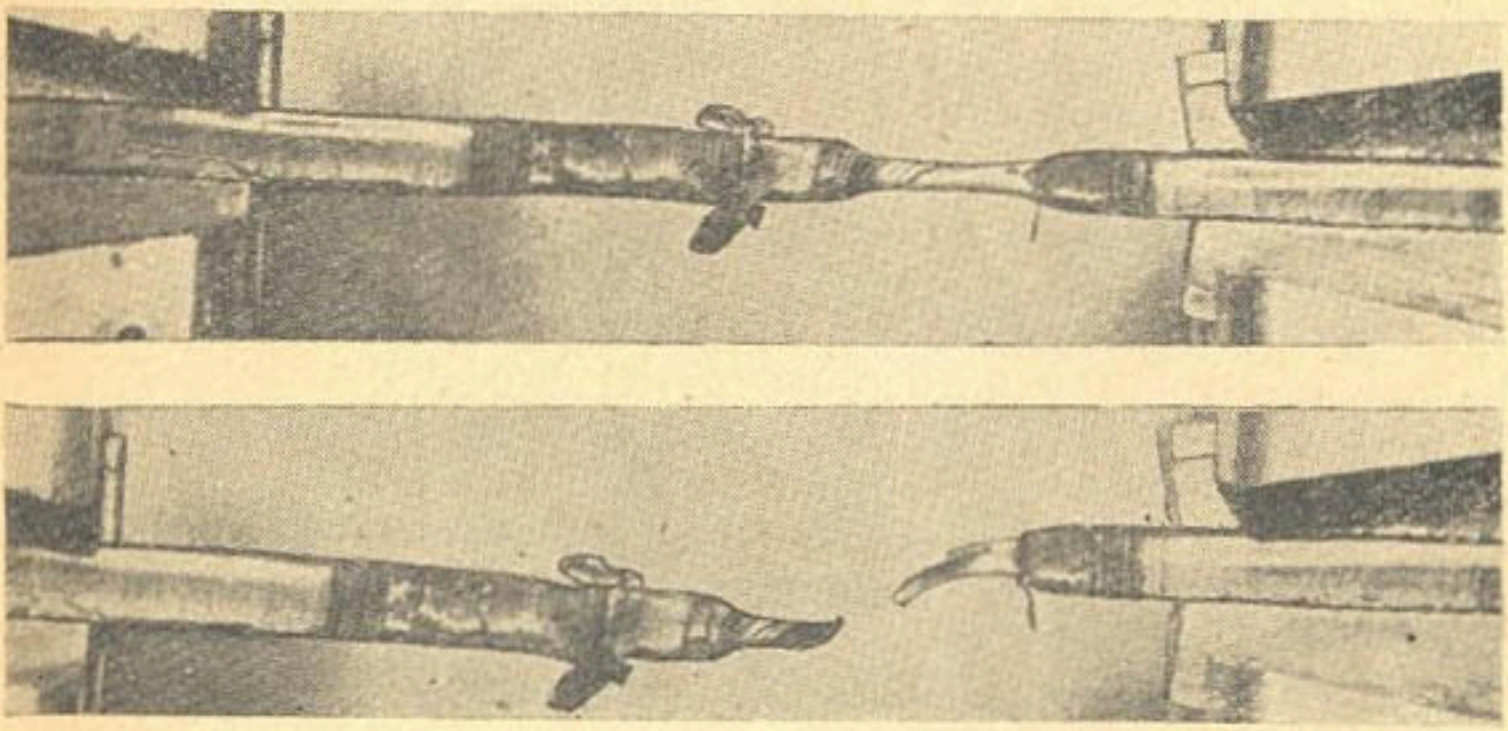


Рис. 30. Разрушение образца не по стыку с образованием шейки.

шейки), за величину P для расчета прочности при растяжении принимают максимальную нагрузку. Предел прочности при растяжении вычисляют с точностью до 1 *кгс/см²*. Для каждого стыка вычисляют среднее арифметическое значение из всех определений.

На основании результатов испытаний максимальной нагрузки при растяжении, предела прочности при растяжении, относительного удлинения и характера разрушения образцов определяют прочность сварного стыкового соединения в процентах. Эти расчеты сводятся в таблицу 13.

Таблица 13

Сводная таблица результатов определения предела прочности при растяжении, относительного удлинения и прочности стыков сварного полиэтиленового трубопровода

Место отбора образцов труб на испытания	Максимальная нагрузка на образец P, *кгс*	Сечение образца, F, *см*	Предел прочности при растяжении $\sigma = \frac{P}{F}$, *кгс/см²*	Относительное удлинение образца $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} 100\%$	Прочность стыка (сварного шва) $W = \frac{\sigma_{ст.}}{\sigma_м} 100\%$	Примечание

Согласно ГОСТ, испытания механической прочности проводят на образцах в виде лопаток двух размеров: широкие и короткие лопатки, узкие и длинные.

Для выявления влияния на результаты испытаний масштабного фактора нами из двух стыковых соединений были вырублены лопатки обоих размеров.

Как показали испытания, предел прочности при растяжении и относительное удлинение узких лопаток меньше, чем широких. Объясняется это, по-видимому, тем, что при вырубке образца-лопатки происходит механическое повреждение структуры материала. В дальнейшем при испытании механической прочности стыковых соединений следует использовать широкие лопатки (рис. 27).

Прочность сварного шва оценивают путем сравнения разрушающего напряжения для данного сварного образца с пределом прочности при растяжении основного

материала и выражают как процентное отношение прочности шва к прочности основного материала труб:

$$W = \frac{\sigma_{ст}}{\sigma_м} 100\% , \qquad (3)$$

где W — прочность сварного шва, %;

$\sigma_{ст}$ — разрушающее напряжение для стыка шва, *кгс/см²*;

$\sigma_м$ — предел прочности при растяжении основного материала, *кгс/см²*.

Прочность сварных соединений большинства пластмасс (по литературным данным) составляет 50—100% прочности основного материала. При сварке полиэтилена по отработанной технологии прочность сварного шва может достигать и 100%. По американским стандартам при сварке полиэтилена минимальная прочность шва должна быть не менее 75% прочности основного свариваемого материала.

В наших опытах при строительстве закрытой оросительной сети в Голодной степи (рис. 25) было испытано 14 сварных стыковых соединений полиэтиленовых трубопроводов. При этом прочность стыков труб колебалась от 87 до 110%, но в основном составляла 95—97%. Но, несмотря на общую высокую прочность стыкового соединения, величина ее различна по периметру трубы. Для обеспечения сварки высокого качества необходимо, чтобы стыкуемые трубы были хорошо пригнаны и без применения давления соприкасались. Кроме того, необходимо строго соблюдать режим сварки полиэтиленовых труб. Испытания также показали, что не следует зачищать валик, образованный при сварке труб в стык, так как при этом прочность стыкового соединения несколько снижается.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ В США

В 1961 г. компания «Филлипс Петролеум» использовала более 335 500 *м* труб из полиэтилена высокой плотности [7]. Проводимые в течение пяти лет компанией испытания показали возможность непосредственного практического применения этого нового материала.

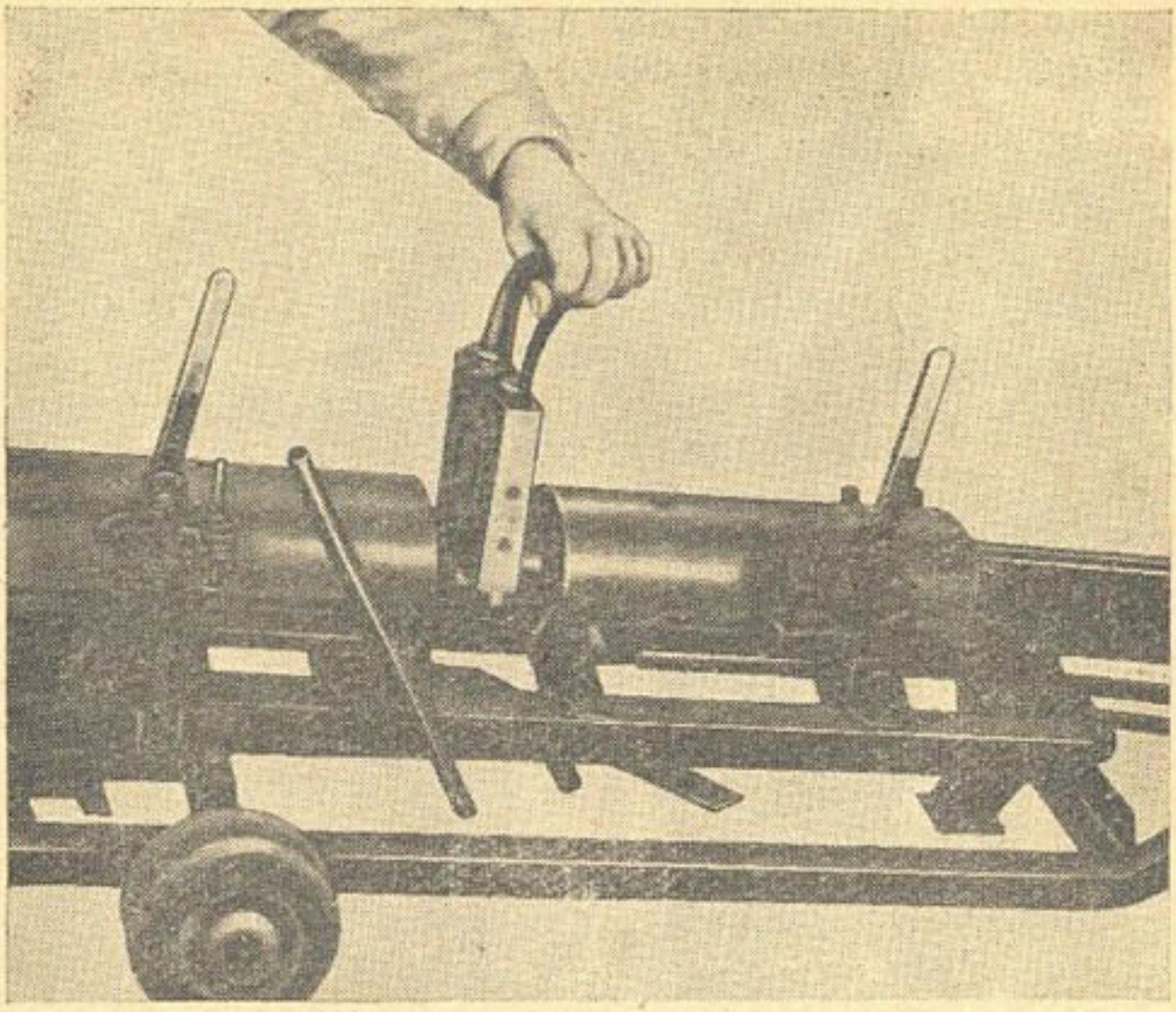


Рис. 31. Установка для сварки полиэтиленовых труб компании «Филлипс Петролеум».

Эти трубы применяются прежде всего при добыче естественного газа, но компания использует их также для водоснабжения, отвода соленых вод и транспортирования неочищенной нефти от мест добычи.

К концу 1959 г. у компании было более 152 500 *м* труб, уложенных в земле; к концу 1960 г. эта цифра превысила 335 500 *м*.

В практике применялись трубы диаметром от 12,7 до 603,2 *мм*. Было уложено свыше 700 систем трубопроводов во всех грунтах.

Фирма считает, что скорость и эффективность соединения труб всегда очень важны как с точки зрения экономики, так и легкости укладки трубопровода. Принимая во внимание широкое использование нового пластмассового материала, метод соединения контактной сваркой был усовершенствован. Этот метод заключается в следующем. Концы труб обрезают, зачищают и

помещают в зажимные хомуты приспособления для контактной сварки труб (рис. 31). Затем трубы торцами вплотную подводят к нагретой алюминиевой пластине, помещенной между концами труб, и оставляют, пока на концах труб не образуются валики высотой 1,15 *мм* и материал не начнет закручиваться в стороны от пластины. После этого трубы разводят назад, чтобы вынуть пластину. Затем концы труб слегка прижимают друг к другу, пока внутри и снаружи трубы не образуется валик. Алюминиевая пластинка нагревается газом или электричеством.

При укладке 335 500 *м* труб приблизительно 30 000 соединений было сделано методом контактной сварки. Анализ стоимости показал, что соединение этим методом в 3 раза дешевле, чем сварное стальное соединение. Отчеты по эксплуатации показали, что повреждения произошли только в 10 из 30 000 соединений. Не было никаких повреждений и самих труб (за исключением шести случаев механических повреждений при случайных ударах бульдозером).

Во время выполнения испытательной программы фирма параллельно проводила лабораторные испытания по определению прочности труб. Испытания показали также, что меркаптаны, нефтяные испарения и другие примеси не влияют на трубы.

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РАСЧЕТЫ

РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ

Под режимом орошения сельскохозяйственных культур понимается совокупность числа, сроков и норм полива, обеспечивающих растениям оптимальные количества воды и воздуха в почве.

Режим орошения должен соответствовать суммарному потреблению воды на транспирацию и испарение с почвы за вегетационный период.

Суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур равно [9]:

$$E = kY, \qquad (4)$$

где E — суммарное потребление воды 1 *га* культуры, *м³/га*;

k — коэффициент суммарного водопотребления (водопотребление в расчете на единицу урожая), *м³/т*;

Y — расчетный урожай с 1 *га*, *т*.

С повышением плодородия почвы и улучшением агротехники увеличивается урожай и растет суммарное потребление воды растениями, а коэффициент суммарного водопотребления резко падает. Поэтому с повышением урожая на плодородных почвах при правильной агротехнике незначительно повышается потребление воды.

Суммарное водопотребление определяют для вегетационного периода культуры в условиях среднего года.

Оросительную норму (количество воды, подаваемой за вегетационный период на 1 *га*, занятый культурой) определяют по формуле:

$$M = E - \alpha P - W_{гр} - (W_0 - W_1), \qquad (5)$$

где M — оросительная норма, *м³/га*;
E — суммарное водопотребление, *м³/га*;
α — коэффициент использования осадков, выпавших в вегетационный период (обычно принимают 1);
P — осадки за вегетационный период, *м³/га*;
$W_{гр}$ — грунтовые воды, используемые растениями и почвой за вегетационный период, *м³/га*;
W_0 — запас воды в активном слое почвы перед посевом, *м³/га*;
W_1 — запас воды в активном слое почвы в конце вегетационного периода, *м³/га*.

Величину $W_{гр}$ принимают в зависимости от глубины залегания грунтовых вод, минерализации их и капиллярных свойств почвы. При глубине залегания слабозасоленных грунтовых вод от 1 до 3 *м* величина $W_{гр}$ колеблется от 3500 *м³/сек* до 0.

Величина W_0 зависит от осадков довегетационного периода, запасных и предпосевных поливов.

Поливную норму определяют по формуле:

$$m = HA(\beta_{пр} - \beta_0), \qquad (6)$$

где m — поливная норма, *м³/га*;
H — расчетная глубина промачивания почвы, *м*;
A — скважность почвы, %;
$\beta_{пр}$ — предельная полевая влагоемкость почвы, % от A;
β_0 — допустимая влажность почвы перед поливом, %.

Определив нормы полива, рассчитывают аналитическим или графоаналитическим способом сроки и число поливов.

Чтобы получить высокие и устойчивые урожаи, нужно правильно установить режим орошения — с учетом особенностей орошаемого участка и поддержания необходимой влажности почвы. Для этого составляют внутрихозяйственные и системные планы водопользования, согласно которым осуществляют подачу, распределение и использование воды.

Закрытые оросительные системы облегчают проведение планового водопользования, так как на таких системах менее сложно регулировать подачу и распределение воды.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ РАСХОДОВ ТРУБОПРОВОДОВ

При расчетах трубопроводов необходимо учитывать не только расход воды, который подается в поливные трубопроводы и дождевальные машины (агрегаты, установки),— расход нетто, но и расход, включающий и потери в системе,— расход брутто.

При проектировании закрытой оросительной сети в первую очередь определяют расход воды нетто. Он зависит от размера орошаемого участка, нормы и продолжительности полива. При этом возможны изменения расходов воды из-за смены культур на участке согласно принятому севообороту.

Расход воды нетто $Q_{нт}$ *(л/сек)* можно определять по формуле:

$$Q_{нт}=\frac{\omega m}{86{,}4T}, \qquad (7)$$

где ω — площадь, орошаемая из трубопровода, *га*;
m — поливная норма, $м^3/га$;
T — продолжительность полива, *сут*.

Расход нетто также можно определять по формуле:

$$Q_{нт}=\omega q, \qquad (8)$$

где q — максимальная ордината гидромодуля.

При определении расхода $Q_{нт}$ по этой формуле предварительно составляют график удельных расходов воды, изменяющихся в течение оросительного периода, или так называемый график гидромодуля орошаемого участка. График гидромодуля для закрытой оросительной сети составляется точно так же, как и для открытой сети, и поэтому здесь не рассматривается.

При укомплектовании графика гидромодуля очень важно добиться снижения максимальных расходов, так как это позволит уменьшить диаметры трубопроводов. Поэтому поливы принимают круглосуточными, а расходы трубопроводов определяют, исходя из 24-часовой работы в сутки.

Расход воды брутто $Q_{бр}$ равен:

$$Q_{бр}=\frac{Q_{нт}}{\eta}, \qquad (9)$$

где η — коэффициент полезного действия трубопровода.

Диаметр трубопровода определяют по расходу брутто.

Сначала следует определять расходы полевых трубопроводов, затем распределительных и хозяйственных трубопроводов, после чего определять расход всей системы. Такой порядок определения расходов оправдывается тем, что каждый элемент системы находится в тесной взаимосвязи с предыдущим. Расходы трубопровода оросительной системы нужно проектировать кратными расходам дождевальных машин или установок, которыми намечается проводить полив.

Расходы воды нетто полевого трубопровода $Q_{\text{нт. пол}}$ определяют по формулам (7) и (8). Если расход трубопровода меньше расхода одной дождевальной машины или установки, то за расчетный принимают расход машины или установки.

Количество одновременно работающих машин или установок n получается путем деления расхода нетто полевого трубопровода $Q_{\text{нт. пол}}$ на расход машин илч установки $q_{\text{м}}$:

$$n = \frac{Q_{\text{нт. пол}}}{q_{\text{м}}}. \qquad (10)$$

Результат округляют в большую сторону до целого числа. После определения n уточняют $Q_{\text{нт. пол}}$ по формуле:

$$Q_{\text{нт. пол}} = q_{\text{м}} n. \qquad (11)$$

В том случае, когда на полевом трубопроводе одновременно работает несколько дождевальных установок, диаметр трубопровода для уменьшения его стоимости делают переменным.

Сначала определяют диаметр концевой части трубопровода на расход одной дождевальной машины или установки. Диаметр остается постоянным на участке сезонной выработки дождевальной машины. От границы площади, обслуживаемой одной дождевальной машиной, диаметр трубопровода увеличивается из расчета обеспечения водой двух машин и т. д.

Кроме того, из полевого трубопровода нужно поливать за сутки не менее половины площади сменной выработки пропашного трактора (6—7,5 *га*), а из двух смежных трубопроводов — площадь, равную или превы-

шающую сменную выработку пропашного трактора (12—15 *га*).

Расход распределительного трубопровода равен сумме расходов одновременно получающих из него воду полевых трубопроводов в соответствии с планом водопользования и коэффициентом полезного действия.

Расход распределительного трубопровода по мере отхода от него полевых трубопроводов уменьшается, так как подвешенная к каждому участку распределителя площадь уменьшается от начала трубопровода к его концу. Для сохранения расчетной скорости в распределительном трубопроводе нужно установить число одновременно работающих полевых трубопроводов и за каждым работающим трубопроводом соответственно уменьшать диаметр распределительного трубопровода.

Точки изменения диаметра распределительного трубопровода можно определить по площади орошения за сезон, обслуживаемой одной машиной (так же, как для полевого трубопровода). При больших участках точки изменения расхода воды нетто и соответственно диаметра распределительного трубопровода можно определять по формуле (8).

Если оросительная система имеет несколько массивов, то составляют график гидромодуля всей системы, который получают суммированием во времени ординат графика гидромодуля для каждого отдельного орошаемого массива с учетом удельного веса этого массива.

Расчетный расход системы будет равен произведению площади орошения массива (нетто) на максимальную ординату графика гидромодуля системы, деленному на коэффициент полезного действия системы.

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В закрытой оросительной системе из-за потерь воды в водоводах и водовыпусках, а иногда и на полях не вся вода, забираемая из источника, используется для получения урожая. Величина потерь воды зависит от конструкции оросительной системы и способа полива.

Эффективность работы оросительной системы характеризуется коэффициентами: 1) полезного использования

воды на полях $\eta_п$; 2) полезного действия системы или сети η; 3) использования оросительной воды в системе η_0 [16].

Коэффициент полезного использования воды на полях $\eta_п$ — отношение водопотребления растений к количеству воды, поступившей на поле:

$$\eta_п = \frac{\Omega E}{V_{нт}}, \qquad (12)$$

где Ω — орошаемая площадь;

E — водопотребление растений на единицу площади за рассматриваемый период;

$V_{нт}$ — количество воды, подаваемой на орошаемые поля за этот же период.

Коэффициентом полезного действия системы или сети η называется отношение количества воды, подаваемой на орошаемые поля, к количеству воды, забираемой из источника орошения:

$$\eta = \frac{V_{нт}}{V_{бр}} = \frac{Q_{нт}\,t}{Q_{бр}\,T} = \left(1 - \frac{\sum \frac{\sigma l Q}{100}}{Q_{бр}}\right)\frac{t}{T}, \qquad (13)$$

где $V_{нт}$ — количество воды, подаваемой на поля;

$V_{бр}$ — водозабор в голове системы;

$Q_{нт}$ — сумма расходов воды, подаваемой на поля.

$Q_{бр}$ — расход воды, забираемой из источника орошения;

$Q_{бр}$ равен $Q_{нт}$ плюс сумма всех потерь воды от головы системы до мест потребления

$$Q_{бр} = Q_{нт} + \sum \frac{\sigma l Q}{100};$$

T — продолжительность работы магистрального водовода расходом $Q_{бр}$;

t — продолжительность поливов (продолжительность подачи воды на поля общим расходом $Q_{нт}$ за период T);

σ — процент потерь воды в водоводах на 1 *км* длины;

l — длина работающих водоводов, *км*;

Q — расход работающих водоводов.

Применяя правильные поливные нормы, можно избежать глубокого просачивания воды в почву. Если на орошаемом поле поддерживать хорошую структуру почвы, то потери воды на испарение сведутся к минимуму.

Разрыв $(T-t)$ между продолжительностью подачи воды в систему и продолжительностью поливов возможен в комбинированной системе, где магистральный и распределительные водоводы представляют собой открытые каналы. В это время воду сбрасывают из каналов. Чтобы увеличить коэффициент полезного действия системы, не следует прерывать подачу воды в систему и прерывать поливы. В полностью закрытой системе практически почти всегда соблюдается равенство между T и t.

Коэффициентом использования оросительной воды в системе η_0 называется отношение использованной растениями воды к количеству воды, поступившей в систему. Коэффициент η_0 равен произведению коэффициента полезного действия системы или сети η на коэффициент полезного использования воды на полях $\eta_п$:

$$\eta_0 = \eta_1 \eta_п = \frac{Q E}{V_{бр}}. \qquad (14)$$

При самотечном способе полива на орошаемом поле почти всегда имеются потери на глубинную фильтрацию.

Потери воды в закрытой сети складываются из потерь в стыках трубопроводов, водовыпусках и арматуре. При хорошем техническом состоянии сети эти потери невелики. Коэффициент полезного действия асбестоцементных трубопроводов, соединенных двухбуртными асбестоцементными муфтами (ГОСТ 539—59), равен 0,97—0,98.

В комбинированной системе, кроме потерь воды в трубопроводах, происходят потери в открытых каналах. Поэтому открытые каналы нужно покрывать антифильтрационными одеждами, лучше всего бетонными. Бетонные одежды уменьшают фильтрацию и позволяют увеличивать скорость движения воды и уменьшать сечение каналов. Потери воды в таких каналах зависят от плотности бетона и технического состояния одежды. Коэффициент полезного действия бетонированных каналов колеблется в пределах 0,7—0,9.

Величина потерь воды в земляных каналах зависит от поперечного сечения канала и глубины наполнения его водой, от характера грунта, периодичности работы канала и пр. Наибольшие потери приходятся на фильт-

рацию воды через дно и откосы канала. Потери на испарение и эксплуатационные (на утечку, прорывы и др.) составляют 2—3% расхода канала.

Для определения потерь воды в земляных каналах при свободном бесподпорном движении фильтрационного потока акад. А. Н. Костяков [16] дает следующие зависимости:

$$S=0{,}0116\,k\,h\,(\alpha+2\nu\sqrt{1+\varphi^2}), \qquad (15)$$

где S — потери воды на 1 *км* длины канала, *м*³/*сек*;
k — коэффициент фильтрации грунта, *м*/*сут*;
h — глубина наполнения канала, *м*;

$$\alpha=\frac{b}{h};$$

b — ширина канала по дну, *м*;
φ — коэффициент заложения откосов канала;
ν — коэффициент поправки на капиллярное боковое поглощение воды в откосы канала;
$\nu=1{,}1—1{,}4$, в зависимости от капиллярных свойств почвы.

Процент потерь σ на 1 *км* длины канала по отношению к расходу его Q равен:

$$\sigma=\frac{S}{Q}100\%\,. \qquad (16)$$

Формулы (15) и (16) справедливы для установившегося фильтрационного потока, то есть для каналов с непрерывной работой. Если канал работает периодически и грунт перед началом работы не насыщен водой, то величина потерь постепенно уменьшается по мере насыщения почвы водой. Поэтому при определении потерь надо учитывать продолжительность действия канала. Значение S в момент t от начала пуска воды будет равно:

$$S=\frac{0{,}0116\,k_1\,h}{t^{0{,}5}}(\alpha+2\nu\sqrt{1+\varphi^2}), \qquad (17)$$

где k_1 — коэффициент водопроницаемости почвы характеризует скорость поглощения воды в данном грунте в первую единицу времени.

Таким образом, потери воды S уменьшаются с увеличением продолжительности работы канала t. Вследствие этого при определении потерь следует учитывать продолжительность действия канала или вместо k принимать $k_{ср}$, причем различным для каналов длительного и кратковременного действия.

Академик А. Н. Костяков в зависимости от вида каналов и грунтов рекомендует принимать следующие значения $k_{ср}$:

	Суглинистые грунты	Песчаные грунты
Длительно действующие распределители	0,05—0,08	0,15—0,2
Групповые распределители	0,1—0,2	0,35—0,45
Оросители	0,25—0,45	0,70—1

Академик Н. Н. Павловский для учета фильтрационных потерь (без подпора) в каналах трапецеидального сечения дает такую формулу:

$$S=0{,}0116\,k\,(B+2h)\ м^3/сек \text{ на 1 км длины}, \qquad (18)$$

где k — коэффициент фильтрации грунта, *м/сут*;
B — ширина канала по верху, *м*;
h — глубина воды в канале, *м*.

Кроме потерь воды на фильтрацию в каналах имеются потери на испарение. Потери на испарение (E) на 1 *км* длины канала составляют:

$$E=0{,}0116\,he\,(\alpha+2\varphi)\ м^3/сек; \qquad (19)$$

$$E=\frac{1{,}16e\,(\alpha+2\varphi)}{(\alpha+\varphi)\,h}\ \% \text{ расхода канала}, \qquad (20)$$

где e — слой испарения, *м/сут*.

Потери воды на испарение с водной поверхности обычно невелики.

Общие потери воды в канале S_0 на единицу длины равны сумме потерь на фильтрацию и испарение:

$$S_0=S+E=0{,}0116\,h\left[(\alpha+2\sqrt{1+\varphi^2})\,k+(\alpha+2\varphi)\,e\right]\ м^3/сек. \qquad (21)$$

Помимо потерь воды на фильтрацию и испарение, в открытых каналах происходят потери вследствие утечки воды в сооружениях, прорыва дамб, сбросов воды и т. д. Правильной эксплуатацией каналов эти потери можно сделать минимальными или устранить вообще.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ЗАКРЫТОЙ СЕТИ

ФОРМУЛЫ И ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТРУБ

Гидравлические потери напора по длине в трубах определяют по формуле:

$$h=\lambda\frac{l\,v^2}{D2g}, \qquad (22)$$

где λ — коэффициент гидравлического сопротивления;
l — длина труб, *м*;
v — средняя скорость движения воды, *м/сек*;
D — внутренний диаметр трубопровода, *м*;
g — ускорение силы тяжести, *м/сек²*.

Потери напора на единицу длины трубы (гидравлический уклон i) равны:

$$i=\frac{h}{l}=\lambda\frac{v^2}{2gD}. \qquad (23)$$

Обычно при гидравлическом расчете трубопроводов закрытой оросительной сети известны расход и диаметр трубопровода. Чтобы применить формулы (22) и (23), необходимо знать коэффициент гидравлического сопротивления λ.

Закономерность изменения коэффициента гидравлического сопротивления λ при турбулентном режиме движения потока зависит от областей сопротивления: гидравлически гладких труб, переходной и квадратичной. В области гидравлически гладких труб λ зависит лишь от величины числа Рейнольдса *Re*; в переходной области λ зависит от относительной шероховатости стенок труб и от величины *Re;* в квадратичной λ зависит лишь от относительной шероховатости стенок.

Профессор И. И. Агроскин [1] дает следующие расчетные зависимости для определения границ области сопротивления:

область гидравлически гладких труб

$$Re_{гл} \leqslant 27\left(\frac{D}{\Delta}\right)^{8/7}, \tag{24}$$

где Δ — высота выступов шероховатости;

переходная область сопротивления

$$27\left(\frac{D}{\Delta}\right)^{8/7} < Re_{пер} < 191\,\frac{1}{\sqrt{\lambda}} \cdot \frac{D}{\Delta}; \tag{25}$$

квадратичная область сопротивления

$$Re_{кв} \geqslant 191\,\frac{1}{\sqrt{\lambda}} \cdot \frac{D}{\Delta} \tag{26}$$

или

$$Re_{кв} \geqslant 21{,}6\,C\,\frac{D}{\Delta}, \tag{27}$$

где C — коэффициент Шези.

На основании формулы (26) и (27) составлена таблица 14.

Таблица 14

Значения скорости v, при превышении которых наступает квадратичная область сопротивлений, *м/сек*

Трубы	Диаметр труб, *мм*								
	50	100	200	300	400	500	600	1000	1400
Новые стальные (Δ=0,45 *мм*)	2,8	3,2	3,5	3,7	3,8	3,9	4,0	4,2	4,4
Новые чугунные (Δ=0,5 *мм*)	2,5	2,8	3,1	3,3	3,4	3,5	3,6	3,8	4,0
Металлические, бывшие в эксплуатации (Δ=1,35 *мм*)	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3

Таким образом, сначала нужно установить область сопротивления, а затем по формуле для данной области сопротивления определить значение коэффициента λ.

Для определения коэффициента λ существует много эмпирических формул. Ниже приводятся формулы для практических расчетов.

Коэффициент гидравлического сопротивления λ в области гидравлически гладких труб определяют по формуле Г. К. Филоненко (26):

$$\lambda=\left(\frac{0{,}55}{\lg\frac{Re}{8}}\right)^2. \tag{28}$$

Для переходной области лучшие результаты дает формула Н. З. Френкеля [27]:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}=-2\lg\left[\frac{\Delta}{3{,}7D}+\left(\frac{6{,}81}{Re}\right)^{0.9}\right]. \tag{29}$$

Нашими натурными исследованиями установлено, что эта формула для асбестоцементных трубопроводов справедлива при $\Delta=0{,}3$ *мм*.

Для квадратичной области турбулентного режима применяют формулу Н. Н. Павловского:

$$C=\frac{1}{h}R^y, \tag{30}$$

где n — коэффициент шероховатости;

R — гидравлический радиус, равный для круглых труб $\frac{D}{4}$;

$$y=2{,}5\sqrt{n}-0{,}13-0{,}75\sqrt{R}\,(\sqrt{n}-0{,}1).$$

Заменив в формуле (30) коэффициент C на $\sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$, получим для труб диаметром $D<4$ *м*

$$\lambda=8gn^2\left(\frac{4}{D}\right)^{3\sqrt{n}}. \tag{31}$$

Значения величины λ, определенные по формуле (31), даны в таблице 15.

Доктор технических наук Ф. А. Шевелев на основании исследований, проведенных в институте ВОДГЕО, получил ряд расчетных зависимостей.

Для стальных и чугунных водопроводных труб, бывших в эксплуатации [29], имеем:

Таблица 15

Значения λ для труб в зависимости от диаметра и коэффициента шероховатости n
(C определено по формуле Н. Н. Павловского *)

Диаметр трубы D, *мм*	Коэффициент шероховатости n				
	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015
200	0,021	0,026	0,033	0,039	0,05
300	0,019	0,024	0,029	0,035	0,044
400	0,017	0,022	0,026	0,033	0,039
500	0,016	0,02	0,025	0,03	0,036
600	0,016	0,019	0,024	0,028	0,034
700	0,015	0,019	0,023	0,027	0,032
800	0,015	0,018	0,022	0,026	0,031
900	0,014	0,017	0,021	0,025	0,029
1000	0,013	0,017	0,02	0,023	0,028
1200	0,013	0,016	0,019	0,022	0,026
1500	0,012	0,015	0,018	0,021	0,025
2000	0,011	0,014	0,016	0,019	0,022
3000	0,01	0,012	0,014	0,017	0,02

* П. Г. Киселев. «Справочник по гидравлическим расчетам». Госэнергоиздат, М.—Л., 1957.

при $v \geqslant 1{,}2$ *м/сек*

$$i = 0{,}00107 \frac{v^2}{D^{1,3}}; \qquad (32)$$

при $v < 1{,}2$ *м/сек*

$$i = 0{,}000912 \frac{v^2}{D^{1,3}} \left(1 + \frac{0{,}867}{v}\right)^{0,3} \qquad (33)$$

По формулам (28)—(33), неоднократно проверенным при эксплуатации водопровода, можно рассчитать стальные и чугунные трубопроводы закрытой оросительной сети.

Для асбестоцементных труб [30] коэффициент сопротивления λ равен:

$$\lambda = \frac{0{,}184}{D^{0,19}} \left(0{,}37 \cdot 10^{-6} + \frac{\nu}{v}\right)^{0,19} \qquad (34)$$

Уравнением (34) пользуются при расчете как новых, так и бывших в эксплуатации асбестоцементных труб, ибо шероховатость их, как показал опыт, практически одинакова.

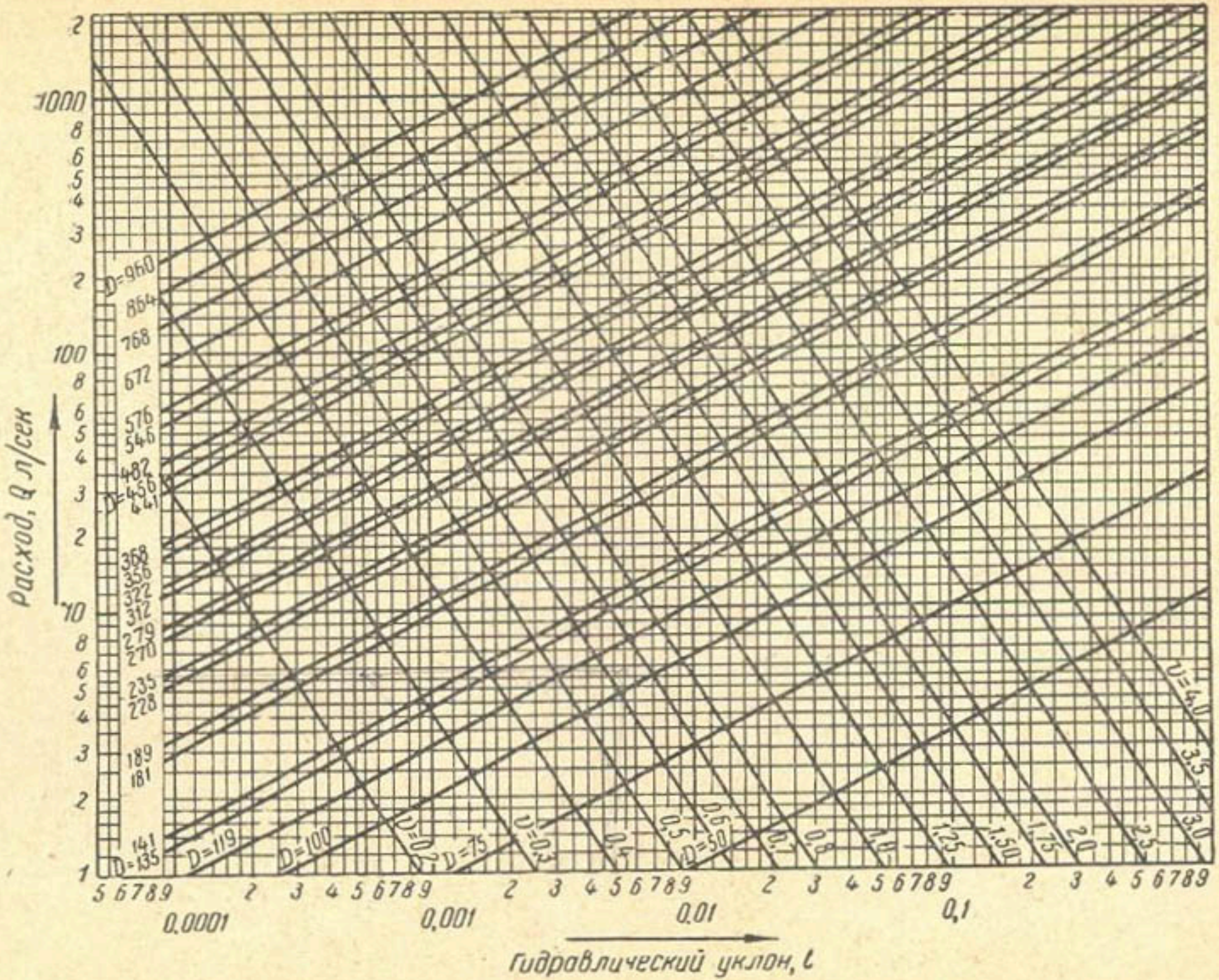


Рис. 32. Номограмма для гидравлических расчетов асбестоцементных трубопроводов.

Рассчитывать стальные, чугунные и асбестоцементные трубы можно также по специальным таблицам, составленным Ф. А. Шевелевым [30].

Для упрощения расчетов можно пользоваться номограммой (рис. 32), составленной автором. По номограмме в зависимости от расхода воды Q *(л/сек)* и диаметра трубопровода D *(мм)* определяют скорость движения v *(м/сек)* и потери напора на единицу длины (гидравлический уклон i).

Можно решать и обратную задачу: по заданному гидравлическому уклону и скорости определять диаметр и расход трубопровода. Эта номограмма составлена по формуле (29) при $\Delta = 0{,}3$ *мм*.

МЕСТНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

При пропуске воды через задвижки, повороты, сужения, расширения, при делении потока в тройниках происходят дополнительные потери напора. Эти потери принято называть местными. Они существенно сказываются на общей величине потерь напора при большом числе местных сопротивлений и относительно малой длине трубопроводов.

При большой протяженности трубопровода и малом насыщении его арматурой местные потери незначительны.

Местные потери напора $h_{мест}$ в трубопроводах оросительных систем определяют по формуле:

$$h_{мест} = \zeta \frac{v^2}{2g}, \qquad (35)$$

где ζ — коэффициент местных сопротивлений,
v — средняя скорость в сечении, расположенном за данным сопротивлением,
g — ускорение силы тяжести.

Потери напора по длине на участке местного сопротивления очень малы, и поэтому их отдельно не определяют, относя их к местным.

Значения коэффициента местных сопротивлений ζ [15], встречающихся в трубопроводах закрытой оросительной сети, следующие:

Вход в трубу (рис. 33). При острых кромках $\zeta=0{,}50$ (рис. 33, *а*); при закругленных кромках и плавном входе $\zeta=0{,}20$ (рис. 33, *б*); при очень плавном входе $\zeta=0{,}05$.

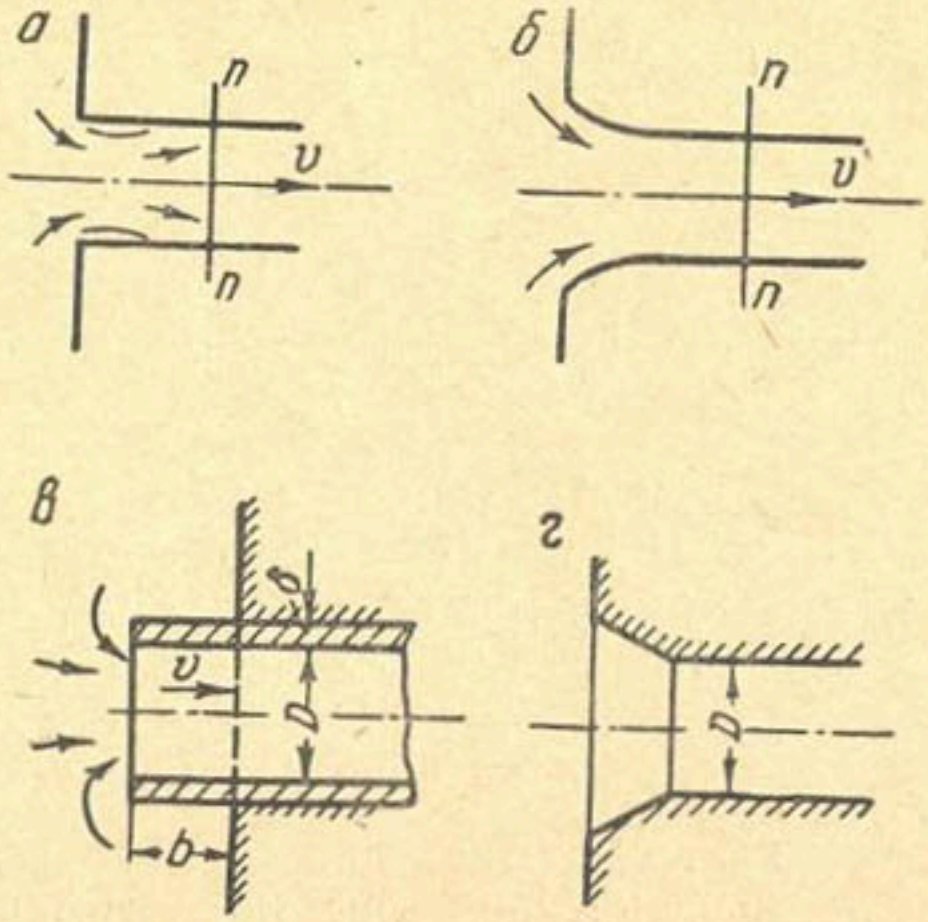


Рис. 33. Вход в трубу.

При входе в трубу, согласно рисунку 33, *в*, коэффициент сопротивления ζ зависит от отношения $\frac{\delta}{D}$ и отношения $\frac{b}{D}$ (табл. 16).

Таблица 16

Значения коэффициента ζ при входе (к рис. 33, *в*)

$\frac{\delta}{D}$ \ $\frac{b}{D}$	0	0,002	0,010	0,05	0,5
0	0,5	0,57	0,63	0,80	1,00
0,008	0,5	0,53	0,58	0,74	0,88
0,016	0,5	0,51	0,53	0,58	0,77
0,024	0,5	0,50	0,51	0,53	0,68
0,030	0,5	0,50	0,51	0,52	0,61
0,050	0,5	0,50	0,50	0,50	0,53

Если вход в трубу выполнен по схеме рисунка 33, *г*, то можно принимать $\zeta=0{,}15$.

Выход из трубы в резервуар больших размеров (рис. 34). Принимая $v_2=0$, потери напора можно определить по формуле Борда:

$$h_{\text{мест}}=\frac{(v_1-v_2)^2}{2g}\approx\frac{v^2}{2g}. \qquad (36)$$

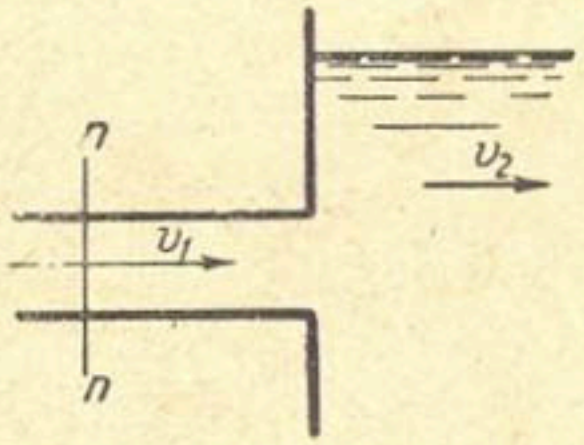


Рис. 34. Выход из трубы в резервуар.

Для данного случая по формуле (35) $h_{\text{мест}}=\zeta\frac{v^2_1}{2g}$, тогда коэффициент сопротивления $\zeta=1{,}00$.

Внезапное расширение (рис. 35). Потери напора равны:

$$h_{\text{мест}}=\zeta\frac{v_2^2}{2g}, \qquad (37)$$

где $$\zeta=\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}-1\right)^2.$$

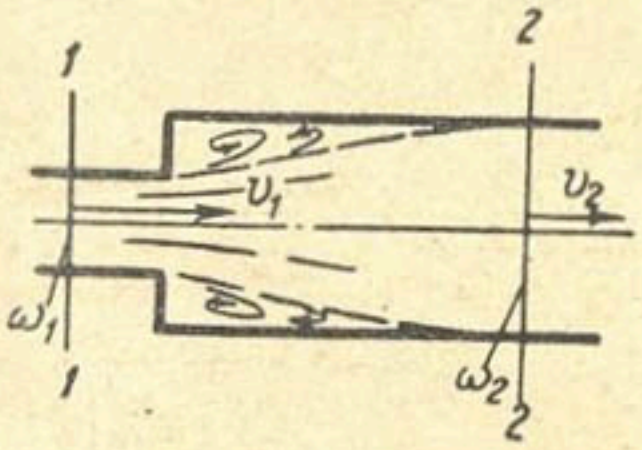


Рис. 35. Внезапное расширение.

Значения коэффициента ζ следующие:

$\frac{\omega_2}{\omega_1}$	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
ζ	81	64	49	36	25	16	9	4	1	0

Внезапное сужение (рис. 36). При внезапном сужении потока потери напора меньше, чем при расширении. Коэффициент сопротивления ζ зависит от отношения $\frac{\omega_2}{\omega_1}$.

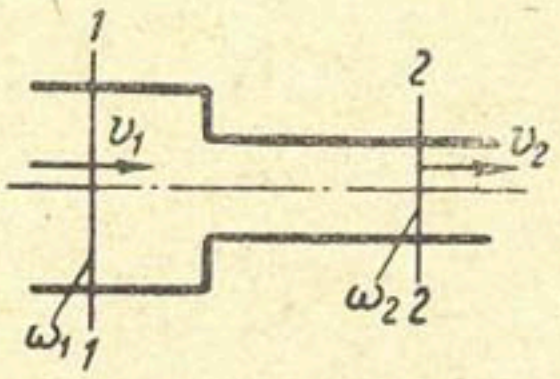


Рис. 36. Внезапное сужение.

$\frac{\omega_2}{\omega_1}$	0,00	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
ζ	0,5	0,45	0,40	0,30	0,20	0,10	0,00

Диафрагма внутри трубы (рис. 37). По исследованиям ЦАГИ

$$\zeta = \left(1 + \frac{0{,}707}{\sqrt{1 - \frac{\omega}{\omega_2}}}\right)^2 \left(\frac{\omega_2}{\omega} - 1\right)^2 \qquad (38)$$

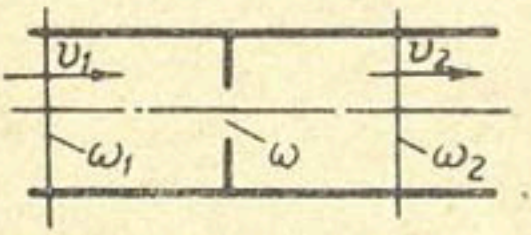


Рис. 37. Диафрагма.

В зависимости от $\frac{\omega}{\omega_2}$ ζ изменяется следующим образом:

$\frac{\omega}{\omega_2}$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ	1070	245	51	18,4	8,2	4,0	2,0	0,97	0,41	0,126	—

Поворот трубы. При резком повороте трубы на угол α (рис. 38), по данным Промстройпроекта, значения коэффициента ζ при $D_1=D_2$ равны:

α	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
ζ	0,20	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90	1,10

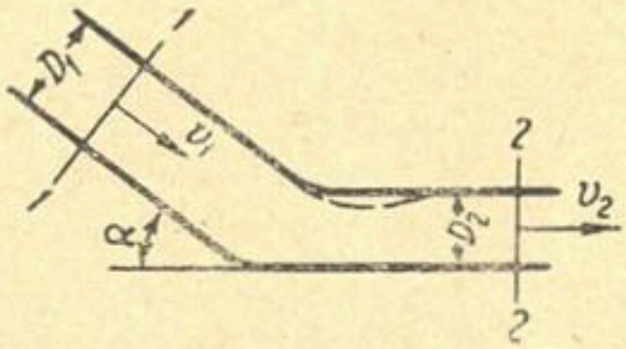


Рис. 38. Резкий поворот трубы на угол α.

При плавном повороте трубы круглого сечения на угол α (рис. 39) значения коэффициента ζ можно определять по формуле Вейсбаха:

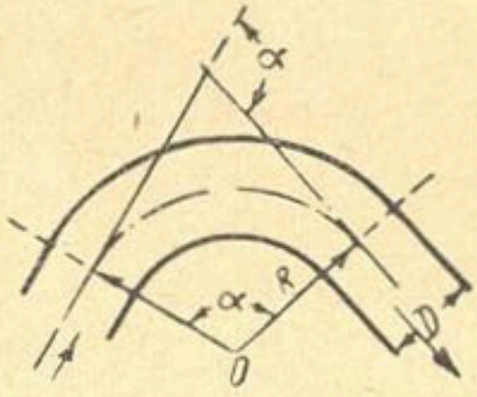


Рис. 39. Плавный поворот трубы.

$$\zeta=\left[0{,}131+0{,}163\left(\frac{D}{R}\right)^{3,5}\right]\frac{\alpha}{90}=\zeta'\frac{\alpha}{90^\circ}, \qquad (39)$$

где ζ' — коэффициент сопротивления при $\alpha=90°$ равен:

$\frac{D}{2R}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ'	0,13	0,14	0,16	0,21	0,29	0,44	0,66	0,98	1,41	1,98

Задвижка (рис. 40). Коэффициент сопротивления ζ зависит от отношения $\frac{D-h}{D}$, то есть от степени открытия (табл. 17).

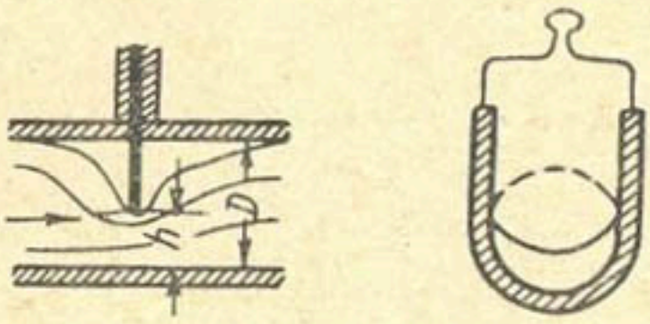


Рис. 40. Задвижка.

Таблица 17

Значения ζ в зависимости от степени открытия задвижки

$\frac{D-h}{D}$	0	1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8
$\frac{\omega^3}{\omega}$	1,00	0,948	0,856	0,740	0,609	0,466	0,315	0,159
ζ	0,00	0,07	0,26	0,81	2,06	5,52	17,00	98,80

Примечание. ω — площадь сечения прохода задвижки при полном ее открытии; ω_3 — площадь открытия задвижки.

Для задвижки типа Лудло при полном открытии $\zeta=0{,}11—0{,}12$.

Вентиль при полном открытии. В зависимости от конструкции принимают для вентиля с прямым шпинделем $\zeta=3—5{,}5$, для вентиля с наклонным шпинделем $\zeta=1{,}4—1{,}85$.

Дисковый клапан (рис. 41). Коэффициент сопротивления ζ зависит от угла α:

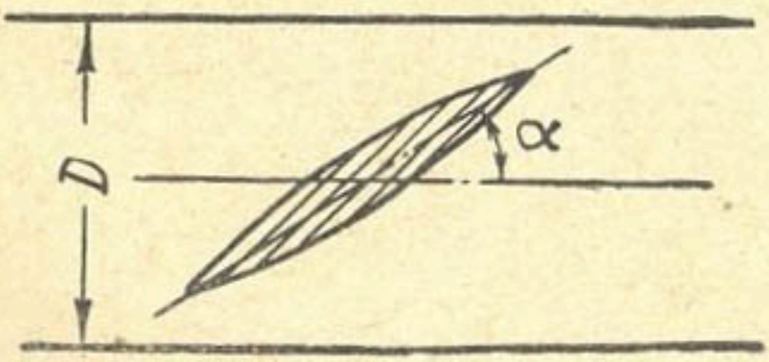


Рис. 41. Дисковый клапан при открытии на угол α.

α	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	90°
ζ	0,24	0,52	0,90	1,54	2,51	3,91	6,22	10,8	18,7	32,6	58,8	118	256	751	∞

При полном открытии дискового клапана (рис. 42) ζ зависит от отношения наибольшей толщины клапана a к диаметру D:

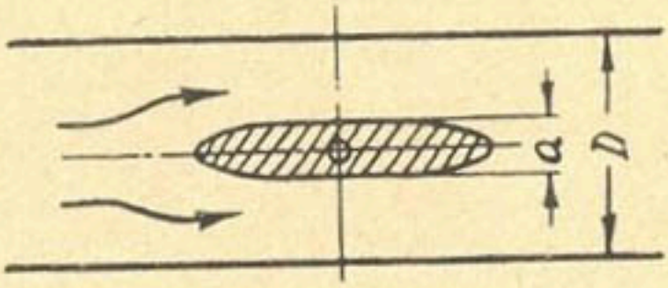


Рис. 42. Дисковый клапан при полном открытии.

$\frac{a}{D}$	0,10	0,15	0,20	0,25
ζ	0,05—0,10	0,10—0,16	0,17—0,24	0,25—0,35

При полном открытии дискового клапана типа дроссельных затворов, если нет данных о конструктивных особенностях, можно принимать $\zeta=0{,}10$.

Шарнирный кран (рис. 43). Коэффициент сопротивления ζ зависит от угла α:

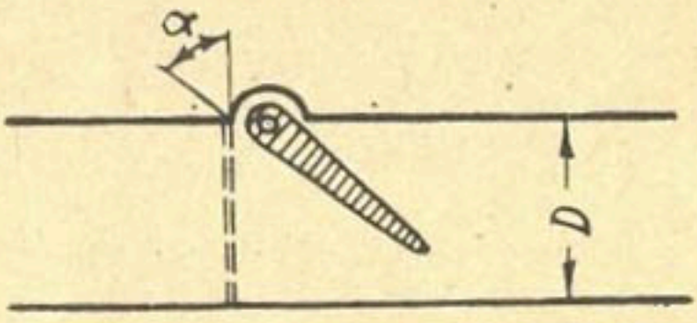


Рис. 43. Шарнирный клапан (захлопка).

δ	70°	65°	60°	55°	50°	45°	40°	35°	30°	25°	20°	15°
ζ	1,7	2,3	3,2	4,6	6,6	9,5	14,0	20,0	30,0	42,0	62,0	90,0

Всасывающий клапан с сеткой (рис. 44). Коэффициент сопротивления принимается в зависимости от диаметра трубы:

D	40	70	100	150	200	300
ζ	12	8,5	7	6	5,2	3,7

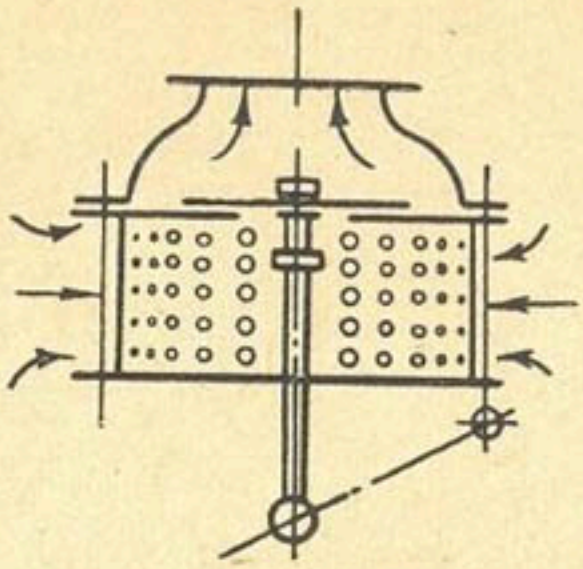


Рис. 44. Всасывающий клапан с сеткой.

Если конструкция клапана неизвестна, то принимают $\zeta=5—10$.

Ответвления. Приближенно считают [15], что потери напора на участке между первым и вторым сечением (рис. 45) равны двойному скоростному напору во втором сечении:

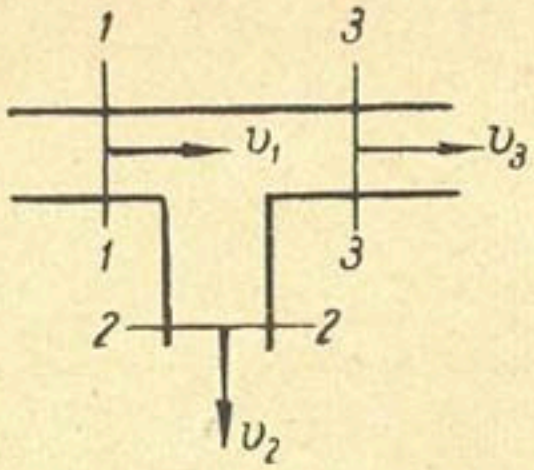


Рис. 45. Потери напора при ответвлениях.

$$h_{\text{мест}_{1-2}}=2\frac{v_2^2}{2g},$$

тогда:

$$\zeta_{1-2}=2.$$

Потери напора на участке между первым и третьим сечением равны:

$$h_{\text{мест}_{1-3}}=\frac{v_1^2-v_3^2}{2g}.$$

Для различных условий отвода коэффициент ζ указан на рисунке 46.

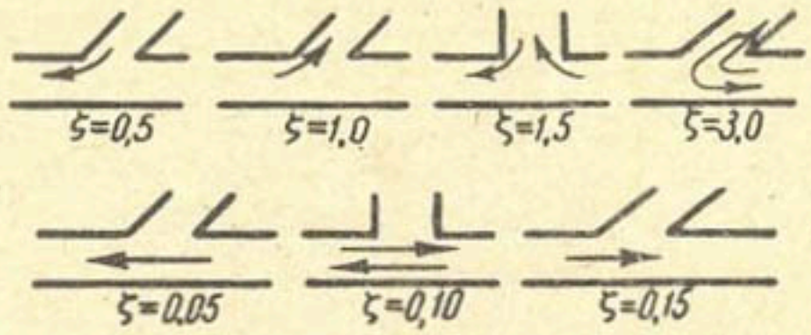


Рис. 46. Коэффициент сопротивления ξ для различных условий отвода.

Сходящиеся и расходящиеся конусы (рис. 47). Величина ζ принимается в зависимости от угла схода или угла расхождения:

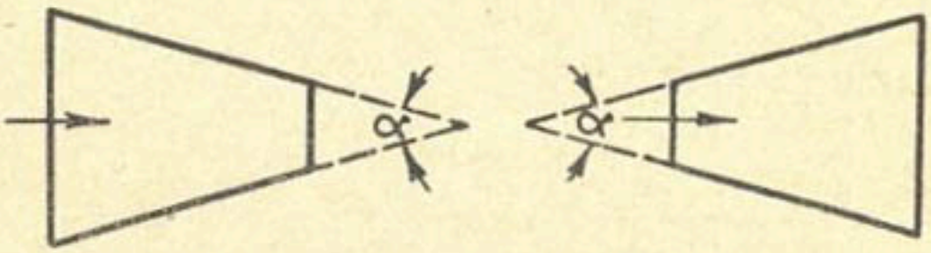


Рис. 47. Сходящиеся и расходящиеся конусы.

α	10°	15°	20°	25°	30°	50°	60°
$\zeta_{сход}$	0,16	0,18	0,20	0,22	0,28	0,31	0,32
$\zeta_{расх}$	0,46	0,54	0,60	0,67	0,72	0,88	0,91

Способ соединения фасонных частей оказывает существенное влияние на величину местных сопротивлений. Определять местные потери напора, пользуясь приведенными таблицами, можно лишь в том случае, если между фасонными частями есть прямой участок не менее 20—50 диаметров трубопровода. При меньших расстояниях величина местных сопротивлений возрастает, и в ответственных случаях нужно проводить специальные исследования сопротивлений в узлах.

Общая величина местных потерь напора в трубопроводе равна сумме местных сопротивлений во всех узлах

трубопровода плюс местные потери в одном из работающих гидрантов.

Для приближенных расчетов величину всех местных сопротивлений в закрытой оросительной сети можно принимать в пределах 5—10% потерь напора по длине трубопровода.

РАСЧЕТНЫЕ СКОРОСТИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАМЕТРОВ ТРУБОПРОВОДОВ

Для определения диаметров трубопроводов необходимо знать расходы Q и средние скорости движения воды v.

Расходы трубопроводов принимают согласно водохозяйственным расчетам.

Одно и то же количество воды можно пропустить по трубам разных диаметров, но с различными скоростями. При малом диаметре трубопровод меньше весит, проще монтируется и, следовательно, более экономичен. Однако скорость движения воды в нем достаточно велика, поэтому потери напора, затрачиваемые на пропуск расхода, также относительно велики. Потребуется создать большой напор за счет мощной насосной установки. Это увеличит стоимость системы и повысит эксплуатационные затраты.

Трубопровод большого диаметра соответственно и больше весит, монтаж его усложняется и удорожается, а стоимость труб возрастает. Однако эксплуатация такого трубопровода при механической подаче воды дешевле вследствие меньших скоростей и меньших потерь напора.

В самотечно-напорных системах, если в оросительной воде нет взвешенных наносов, диаметры трубопроводов рассчитывают на наибольшие скорости, которые можно получить за счет естественного уклона местности. Верхние пределы скоростей назначают из условия предохранения трубопроводов от гидравлических ударов, возникающих при пользовании запорной и водоразборной арматурой. Считают, что максимальная скорость движения воды в трубопроводах не должна превышать 3,0—3,5 *м/сек*.

Если в оросительной воде, поступающей в трубопроводы закрытой сети, имеются взвешенные наносы, то

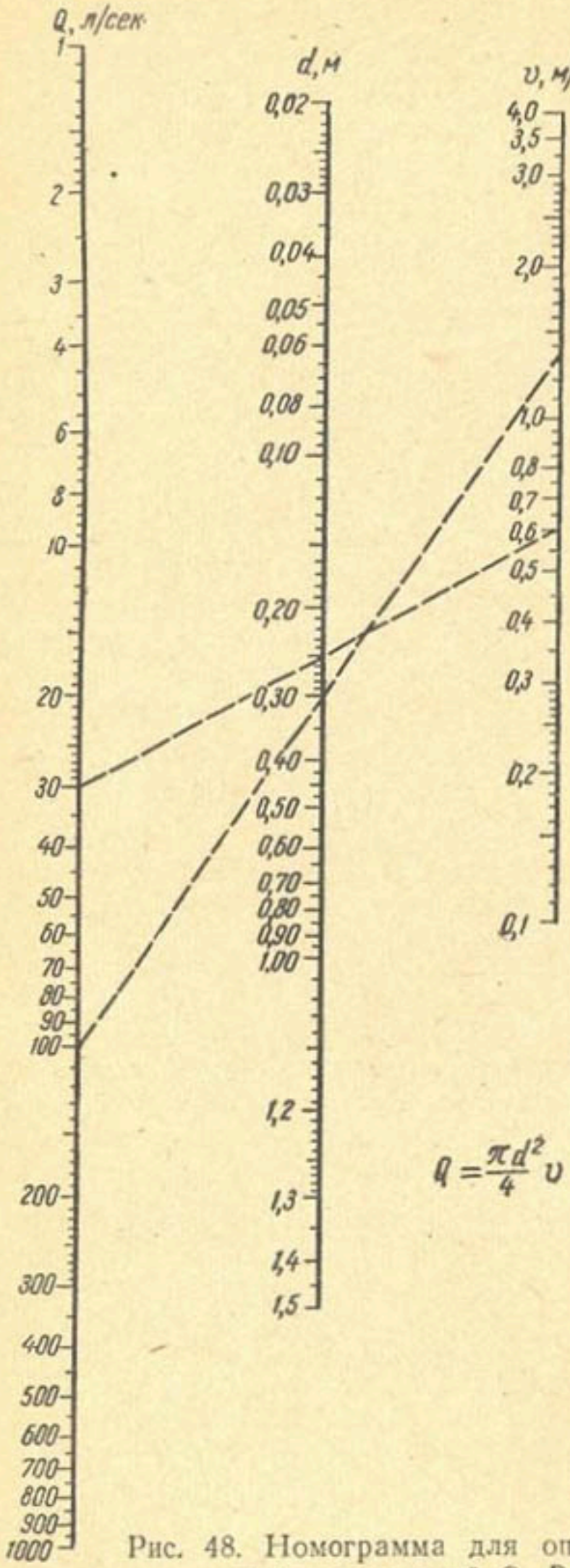


Рис. 48. Номограмма для определения значений Q, D, v.

скорости движения воды должны удовлетворять условию незаиляемости трубопроводов. Взвешенные наносы не выпадают, если средние скорости движения воды в трубопроводах больше незаиляющих, величину которых можно определять по формуле (48).

Средние скорости течения воды в трубах, при которых размываются отложившиеся наносы, можно определять по формулам (46) и (47).

В самотечно-напорной закрытой сети диаметры трубопроводов подбирают с таким расчетом, чтобы суммарные потери напора в трубопроводах были не больше напора, создаваемого естественным уклоном местности, а скорости находились в пределах, определяемых по формулам: (48) с одной стороны, (46) и (47) — с другой.

Расчет трубопроводов производится по формулам:

$$Q=\omega v=\frac{\pi D^2}{4}v\ ,$$

$$D=\sqrt{\frac{1.27\,Q}{v}} \qquad (40)$$

По формуле (40) предварительно подсчитывают диаметр трубопровода, затем по ГОСТ подбирают ближайший диаметр трубы. Если выбранный диаметр значительно отличается от расчетного, то определяют новые соответствующие ему скорости.

При подборе диаметров по расходу и скорости движения воды в трубопроводе можно пользоваться номограммой (рис. 48). Для этого соединяем точки двух шкал, соответствующие заданным расходу Q и средней скорости движения v, и по третьей шкале находим искомую величину D (точка пересечения). Таким же образом по заданной скорости v и диаметру D определяем расход Q.

Значительно сложнее определить экономически наивыгоднейшие диаметры трубопроводов закрытой системы

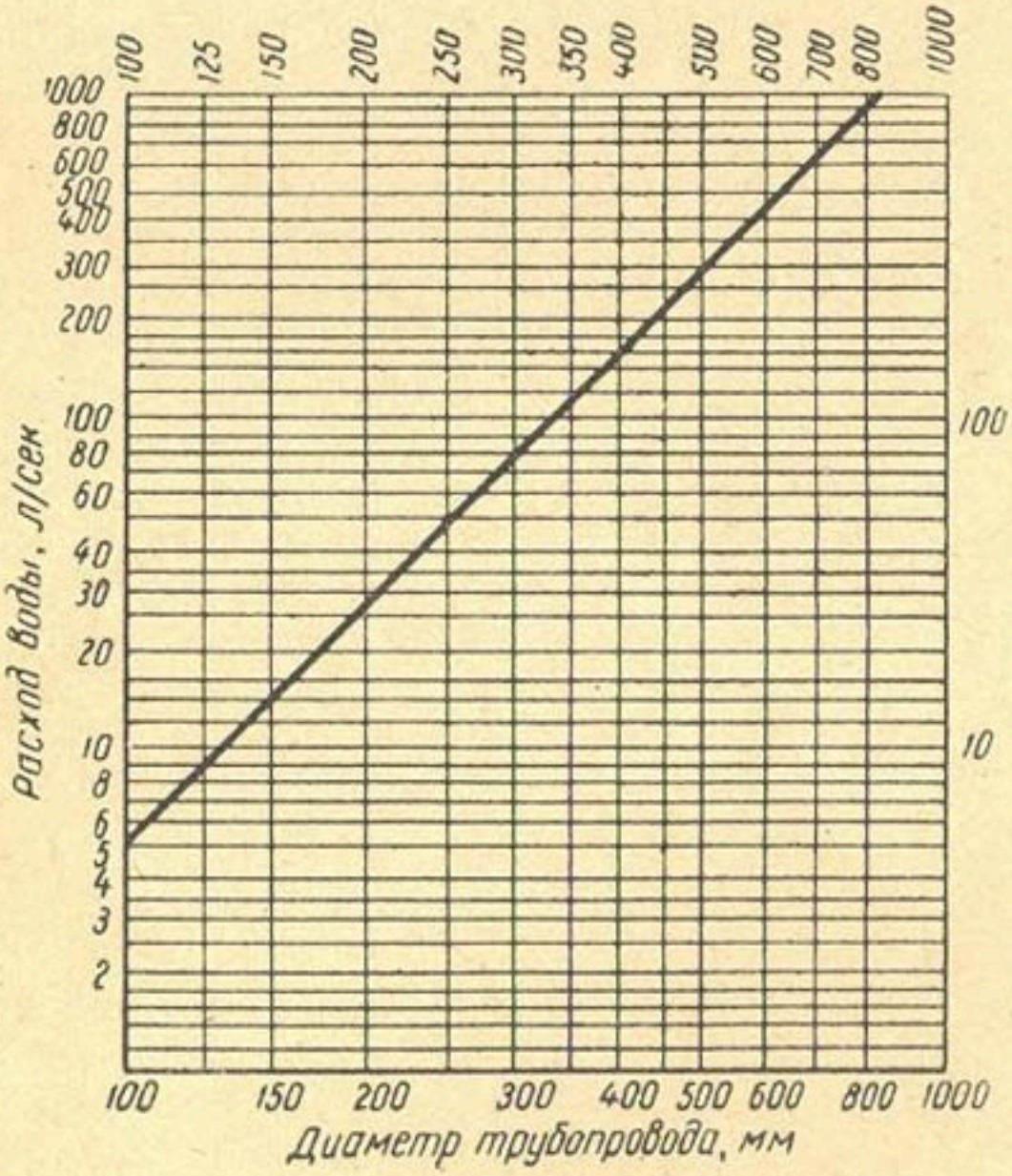


Рис. 49. График для ориентировочного назначения экономически наивыгоднейшего диаметра трубопровода.

с механической подачей воды. С уменьшением диаметра трубопровода снижается стоимость строительства, но в то же время в связи с ростом потерь напора на трение увеличивается расход электроэнергии.

Диаметр трубопровода при заданном расходе воды должен быть таким, чтобы соотношение стоимости строительства и стоимости эксплуатации было наивыгоднейшим.

В. Г. Лобачевым [19] составлен график (рис. 49), позволяющий подбирать экономически наивыгоднейшие диаметры труб для сети гражданского и промышленного водоснабжения. По этому графику можно определять ориентировочно экономически наивыгоднейшие диаметры для трубопроводов оросительных систем.

Если скорости движения воды в трубопроводах наивыгоднейшего диаметра меньше скоростей, обеспечивающих незаиляемость трубопроводов, нужно диаметр трубопровода принимать по последней скорости.

РАСЧЕТ ТУПИКОВОЙ И КОЛЬЦЕВОЙ СЕТЕЙ

Трубопроводы оросительных систем располагают по двум схемам — тупиковой и кольцевой. Методика определения потерь напоров в сети зависит от схемы расположения трубопроводов.

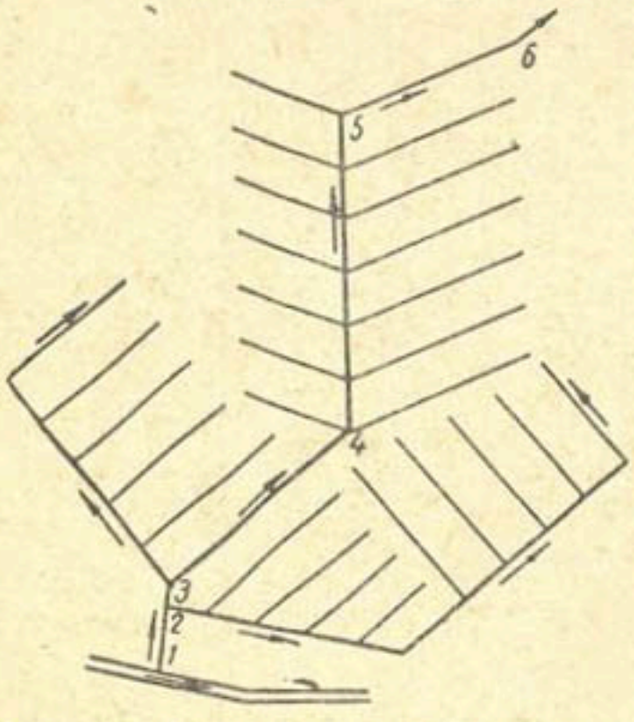


Рис. 50. Схема к определению гидравлических потерь напора в тупиковой сети.

Тупиковая сеть (рис. 50) представляет собой разветвленную сеть трубопроводов, вода в которых движется в одном направлении и может быть подана к водоразборной точке (гидранту) лишь с одной стороны.

Кольцевая, или замкнутая, сеть (рис. 51) состоит из многоугольников (колец), по которым вода подается последовательно или встречно. При кольцевой схеме в каждую водоразборную точку во-

да подается одновременно с нескольких сторон. Это достигается замыканием тупиковых трубопроводов в отдельные кольца.

Хозяйственные, групповые и распределительные трубопроводы обычно устраивают по тупиковой схеме. Однако возможно и кольцевание этих трубопроводов. Полевые трубопроводы обычно располагают по кольцевой схеме.

При тупиковой схеме потери напора определяют, исходя из расчетных расходов и диаметров трубопровода. В трубопроводах закрытой сети отвод воды или ее выпуск осуществляют сосредоточенным расходом, поэтому потери напоров вычисляют отдельно для каждого участка трубопровода с неизменным расходом. Потери напора по всей длине трубопровода подсчитывают простым суммированием потерь на отдельных ее участках. Суммарные потери напора в системе определяют по линии трубопроводов, соединяющих оголовок магистрального трубопровода или насосную станцию с наиболее удаленной точкой системы. На рисунке 50 это линия *1—2—3—4—5—6*.

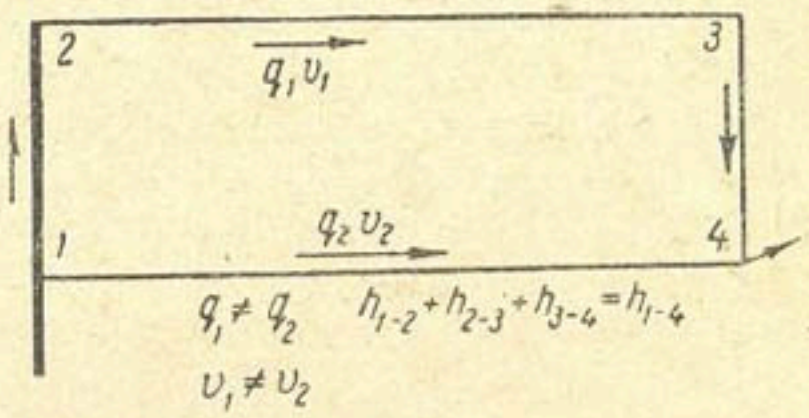


Рис. 51. Схема к определению гидравлических потерь напора в кольцевой сети.

Расчет кольцевой сети основан на двух положениях (рис. 51).

1. Сумма расходов воды, приходящей к любому узлу, равна сумме транзитных расходов, уходящих от узла, плюс узловой расход, то есть алгебраическая сумма расходов для любого узла кольцевой сети равна нулю ($\Sigma Q=0$).

2. В каждом кольце сумма потерь напора на участках, где вода движется по часовой стрелке, равна сумме потерь напора на участках, на которых вода движется против часовой стрелки.

Если первые потери назвать условно положительными, а вторые отрицательными, то это положение можно сформулировать так: алгебраическая сумма потерь

напора в любом кольце сети равна нулю ($\Sigma h=0$). При этом распределение потоков в кольцевой сети соответствует минимуму энергии, расходуемой на преодоление трения в трубах.

Для расчета кольцевых сетей разными авторами предложены различные методы расчета. Закольцеванные трубопроводы можно рассчитывать методом повторных попыток, который сводится к следующему:

устанавливают расход кольца согласно водохозяйственному расчету и плановому водопользованию;

распределяют приблизительно расходы по ветвям кольца, затем по этим расходам и расчетным скоростям подбирают стандартные диаметры труб;

подсчитывают для каждого кольца сумму потерь напора. При первоначальной разброске расходов при выбранных диаметрах обычно $\Sigma h\neq 0$, величина невязки Δh и ее знак указывают, какие ветви кольца нагружены чрезмерно и какие недогружены;

перераспределяют расход до тех пор, пока невязка во всех кольцах будет близка или равна нулю.

При проектировании распределительных и внутрихозяйственных трубопроводов сеть считают увязанной, если невязка не превышает 0,2—0,3 *м вод. ст.*, а для колец полевых трубопроводов — 0,1—0,15 *м*.

В закрытых оросительных системах внутрихозяйственные распределительные трубопроводы закольцовывают редко. Полевые же трубопроводы целесообразно закольцовывать почти всегда.

Кольцо полевого трубопровода (см. рис. 5,*а*) получает воду из двух точек распределительного трубопровода. Забирают воду из кольца сосредоточенными расходами в нескольких точках. Максимальные потери в кольце возникают при работе гидрантов, наиболее удаленных от распределительного трубопровода. Этот случай и будет расчетным. Расходы ветвей кольца будут примерно одинаковыми. Поэтому диаметр трубопровода кольца можно назначать постоянным из расчета половинного расхода.

Необходимый напор насосной станции или самотечно-напорной сети определяют по формуле:

$$H_{ст}=\Sigma H+h_{св}+(z-z_{н}), \qquad (41)$$

где ΣH — потери напора в системе;
$h_{св}$ — свободный напор на гидранте;
z — отметка точки, наиболее невыгодно расположенной по отношению к насосной станции или оголовку самотечно-напорной сети;
$z_н$ — отметка оси насоса или уровня воды в водозаборном сооружении самотечно-напорной сети.

Пример. Определить потери напора в закольцованном оросительном трубопроводе (см. рис. 5,*а*), если общий расход трубопровода составляет 200 *л/сек* и подается в одну точку для дождевальной машины ДМ-200. Размеры кольца приведены на рисунке.

Максимальные потери в кольце возникают при заборе воды машиной из крайних гидрантов по направлению движения воды. За расчетный случай принимаем забор воды из крайнего гидранта первой ветви кольца. Диаметр правой и левой ветвей кольца берем одинаковым — 270 *мм*.

Задаемся расходами: в правой ветви 90 *л/сек*, в левой — 110 *л/сек*. Соответственно расходам получаем: и в левой, и в правой ветви потери напора 12 *м*.

Следовательно, для преодоления сил трения в кольце оросительного трубопровода требуется иметь в распределительном трубопроводе на этом участке напор $H = 12$ *м*.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ И ГИДРАНТОВ-ВОДОВЫПУСКОВ

В основе действия закрытых самотечно-напорных сетей лежит принцип самотека (самонапора) в трубопроводах. Все трубопроводы, уложенные в земле, должны быть напорными.

Каждый гидрант, подающий расчетное количество воды при пропуске расчетного расхода по подземному трубопроводу, должен иметь свободный напор $h_{св}$ в следующих пределах: для открытых временных оросителей $h_{св} \geqslant 0{,}5$ *м*; для гибких шлангов $h_{св} \geqslant 1—2$ *м*. Свободный напор равен разности отметок пьезометрического горизонта и оси водовыпуска гидранта.

При гидравлическом расчете подземного трубопровода известны расход, отметка воды в канале и в ство-

ре водозабора, уклон поверхности земли (продольный профиль трассы трубопровода). Нужно определить диаметр трубопровода и гидрантов-водовыпусков.

По среднему уклону поверхности земли, уменьшенному на 5—10% (это равно местным потерям напора плюс свободный напор на гидрантах), и расчетному расходу определяют требуемый диаметр по номограмме (рис. 32). Затем строят гидродинамическую линию при расчетном расходе и уточняют диаметр трубопровода. Для этого определяют свободный напор на каждом гидранте. Трубопровод рассчитывают с головной части.

Определяют потери напора в водозаборном узле, затем по длине до первого гидранта в сооружениях и арматуре (если они имеются), в гидранте и, наконец, получают свободный напор, который равен:

$$h_{св} = H - \Sigma h, \qquad (42)$$

где H — геодезический напор на гидранте-водовыпуске;

Σh — сумма всех гидравлических потерь до данного гидранта-водовыпуска.

Диаметр гидранта определяют подбором, однако он должен соответствовать стандартным диаметрам задвижек (табл. 22, 24).

Затем так же определяют свободный напор на всех остальных гидрантах-водовыпусках. Результаты расчета сводят в таблицу 18. В графе второй этой таблицы записываются все гидранты, сооружения, арматура,

Таблица 18

К гидравлическому расчету подземных напорных трубопроводов

Название сооружения и пикет	Расходы			Трубопровод		Сооружение, диаметр и типоразмер	Гидравлический расчет								
	расчетные						расчетные отметки		потери напора				напоры на сооружении		
	сооружения	трубопровода	поверочные по сооружениям	длина	диаметр		поверхность земли	поверхность воды и пьезометрический горизонт	на сооружении	по длине трубопровода		полные	геодезические	пьезометрические	свободные
										частные	интегральные				

ответвления трубопровода в той последовательности, как они расположены по его трассе. После такого расчета диаметры трубопровода уточняют.

РЕЖИМ НАНОСОВ В ТРУБОПРОВОДАХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Условия незаиляемости трубопроводов оросительных систем. Если оросительная вода несет взвешенные наносы и движется в трубах оросительной сети со скоростью меньше незаиляющей, то происходит выпадение

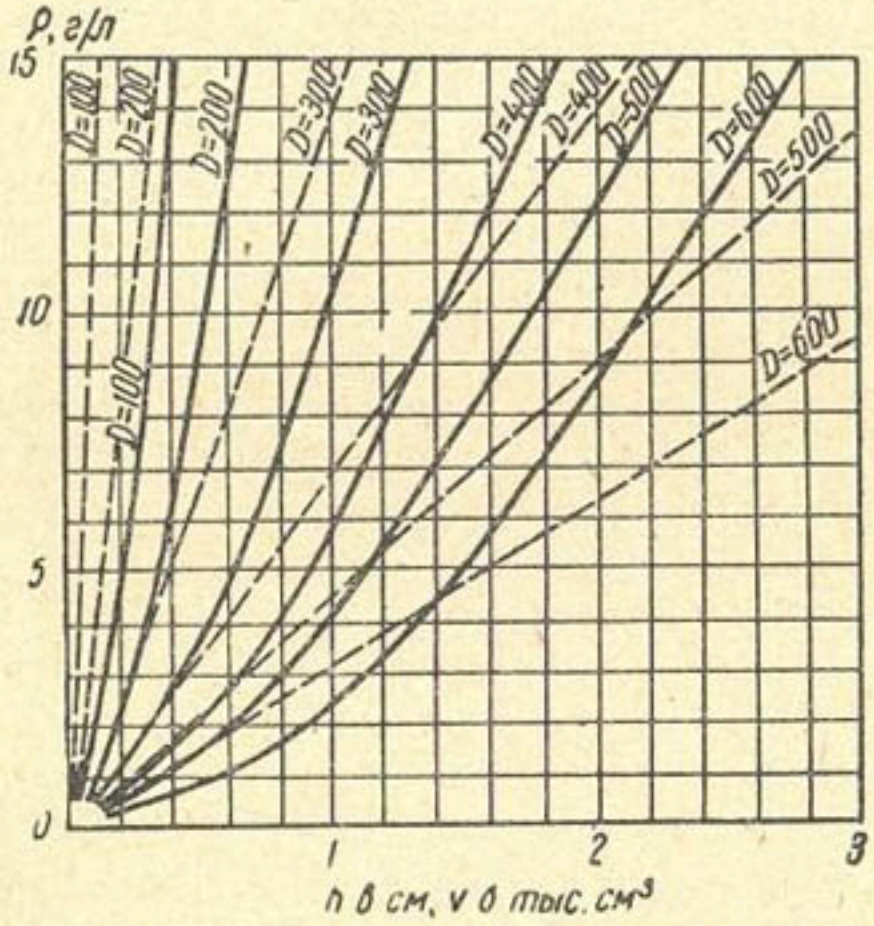


Рис. 52. Графики зависимости: $V=f(\rho, D)$; $h=f(\rho, D)$.

взвешенных наносов. После прекращения подачи воды для полива на дно труб выпадают все наносы, находившиеся ранее во взвешенном состоянии.

Например, в трубопроводе диаметром 500 *мм* в стоячей воде при мутности 5 *г/л* выпадает 1123 *см*^{3} наносов на 1 *пог. м* трубопровода. Если скорости движения воды в трубопроводе меньше размывающих, то выпавшие после первого полива наносы при последующих поливах не размываются. За поливной период (6 поливов) на

1 *пог. м* трубопровода выпадает 6700 *см*^{3} наносов, что составляет слой отложений в 4 *см*.

На рисунке 52 для разных мутностей потока и диаметров трубопровода D показаны объемы наносов V (сплошная линия), толщина слоев отложений h (пунктирная линия), образующихся после прекращения работы трубопровода.

Для уменьшения заиления оросительной системы наносами следует после полива сбрасывать воду из трубопровода. Для облегчения сброса весь трубопровод укладывают с положительным уклоном и в конце его ставят водовыпуски. Когда по условиям рельефа местности этого сделать нельзя, устраивают водовыпуски во всех пониженных точках. В первом случае сильно возрастает объем земляных работ, во втором — требуется дополнительная арматура и усложняется эксплуатация трубопровода. Поэтому трубопроводы оросительной сети желательно проектировать на такие скорости, при которых полностью размываются и выносятся отложившиеся наносы. Продольный профиль трубопровода при этом не зависит от режима наносов, и эксплуатация его значительно упрощается.

Опыт эксплуатации закрытых оросительных систем показывает, что даже правильно запроектированные и построенные трубопроводы иногда заиляются. Так, при эксплуатации распределительных трубопроводов оросительной сети совхоза «Фархад» (Голодная степь), несмотря на то, что самотечно-напорные трубопроводы имели достаточные уклоны для промывки отложившихся наносов и подаваемая в них вода почти не содержала взвешенных частиц, трубопроводы были частично заилены (1959 г.). Поэтому для поддержания трубопроводов в незаиленном состоянии необходимо проводить профилактические мероприятия.

При эксплуатации трубопроводов оросительной сети нельзя также допускать утечек из трубопровода; затвор водозаборного оголовка должен быть герметичным.

Так, в 1956 г. на Апшеронской оросительной системе (массив Сараи) в первый год эксплуатации из-за большой утечки воды через неисправные задвижки и стыки труб живое сечение асбестоцементного трубопровода на длине 300 м было заилено на 50—75%. Это произошло потому, что через неисправный затвор водозаборного

оголовка вода поступала в трубопровод и в то время, когда не было полива. Вследствие дефектов на трубопроводе в нем образовалось движение потока с малыми скоростями, что привело к выпадению поступающих взвешенных наносов. Осветленная вода из трубопровода уходила, а на ее место непрерывно поступала вода с наносами. Это и вызвало заиление трубопровода, который работал по существу как отстойник.

Если живое сечение трубопровода полностью заилится, а такой случай практически возможен, то промыть его будет очень трудно, а в ряде случаев придется разобрать заиленную часть трубопровода.

Во избежание этого следует всегда после полива плотно закрывать головную задвижку трубопровода и не допускать утечек. Если трубопровод заилится, необходимо немедленно промыть его от наносов.

Чтобы трубопровод оросительных систем не заилялся, нужно соблюдать следующие два условия [13]:

1) скорости движения потока в трубопроводах при эксплуатации должны быть такими, при которых не происходит выпадения взвешенных наносов, то есть степень насыщения потока взвешенными наносами должна соответствовать или быть меньше его транспортирующей способности:

$$\rho \leqslant \rho_т , \qquad (43)$$

где ρ — мутность потока в трубопроводе;

$\rho_т$ — транспортирующая способность потока;

2) уклоны уложенных самотечно-напорных трубопроводов должны обеспечивать размывающие скорости. В системах с механической подачей воды насосные установки должны обеспечивать также и расходы, при которых размываются ранее отложившиеся наносы.

Для этого необходимо, чтобы минимальный гидравлический уклон трубопровода $i_{мин}$, при котором размываются и выносятся отложившиеся наносы, был равен или меньше уклона уложенного трубопровода $i_{тр}$:

$$i_{мин} = \frac{h_w + \Sigma h_{мест} + h_в + h_{св} - h_з}{l} \leqslant i_{тр} , \qquad (44)$$

где $i_{мин}$ — минимальный уклон трубопровода, при котором размываются и выносятся отложившиеся наносы;

h_w — потери напора по длине трубопровода при размыве отложившихся наносов;

$\Sigma h_{мест}$ — сумма местных потерь напора;

$h_в$ — разность отметок оси трубопровода в месте водовыпуска и уровня воды в канале, отводящем промывной расход;

$h_{св}$ — свободный напор на водовыпуске;

$h_з$ — разность отметок уровня воды в подводящем канале и оси водозаборного оголовка трубопровода;

l — проекция трубопровода на горизонтальную плоскость;

$i_{тр}$ — уклон уложенного трубопровода.

Параметры в формулах (43) и (44) определяют следующим образом: мутность потока ρ на основании изыскательского материала, местные потери напора $\Sigma h_{мест}$ — по зависимостям, приведенным ранее, а параметры $h_в$, $h_{св}$, $h_з$, l — по проектным данным.

Потери напора по длине трубопровода h_w в процессе размыва наносных отложений можно вычислять по приведенной ранее формуле (22):

$$h_w = \lambda_н \frac{l v_р^2}{D 2g}, \qquad (22а)$$

где неизвестны коэффициент гидравлического сопротивления для заиленных трубопроводов $\lambda_н$ и размывающая скорость потока $v_р$.

Расчеты показывают, что для трубопроводов оросительных систем при значениях скоростей, соответствующих размывающим, коэффициент $\lambda_н$ находится в пределах переходной области сопротивления.

Заиленные трубопроводы имеют разную шероховатость, изменяющуюся в зависимости от состава отложившихся наносов и других причин.

По мере отложения наносов до $\frac{D}{2}$ поверхность соприкосновения потока с ними увеличивается. Поэтому коэффициент гидравлического сопротивления $\lambda_н$ в процессе размыва отложившихся наносов определяют по другой зависимости, чем при движении потока по чистым трубам.

Так, для определения коэффициента $\lambda_н$ в процессе размыва наносных отложений, состоящих из смеси мелкопесчаных (крупностью до 0,25 *мм*), пылеватых, иловатых и глинистых частиц, в асбестоцементных трубопроводах оросительных систем нами получена зависимость [13]:

$$\lambda_н = \frac{0{,}25}{\left[\lg\left(\frac{0{,}26\, d_{ср}^{0{,}56}\,\frac{a}{r} + 0{,}0003}{3{,}7D} + \frac{5{,}62}{Re^{0{,}9}}\right)\right]^2}, \qquad (45)$$

где $d_{ср}$ — средний диаметр частиц наносов;
a — высота слоя отложившихся наносов;
r — радиус трубы;
D — внутренний диаметр трубопровода.

Эта формула применима при заилении до половины диаметра трубопровода.

Зависимости для определения ρ и $v_р$ приводятся ниже.

Определение размывающих скоростей. До последнего времени экспериментальные работы по размыву наносных отложений в трубопроводах оросительных систем не проводились. Это объясняется тем, что оросительные системы с напорными трубопроводами только начинают внедрять в производство. В связи с этим нами были впервые проведены работы [10] по размыву отложившихся наносов в трубопроводах оросительных систем и получены расчетные зависимости для определения размывающих скоростей.

Полевые и лабораторные исследования показали, что размывающая скорость в зависимости от уплотнения наносов (времени нахождения наносов в трубопроводе в спокойном состоянии) увеличивается закономерно. В течение 60 суток размывающая скорость заметно возрастает, затем в период от 60 до 90 суток медленнее, а через 90 суток увеличивается совсем незначительно.

Размывающая скорость, которая необходима для начала размыва, возрастает также с увеличением в наносах от 5 до 60% количества мелкопесчаных частиц. При дальнейшем увеличении мелкопесчаных частиц — до 90% размывающая скорость уменьшается.

Если наносы состоят из мелкопесчаных частиц крупностью от 0,05 до 0,25 *мм* с примесью других частиц крупностью менее 0,05 *мм*, то размывающая скорость для асбестоцементных трубопроводов (*м/сек*) равна:

$$v_р = \left(A - \frac{1}{BT^{1,2} + C}\right)\left(\frac{D}{\lambda_н}\right)^{0.1} k\, m_1 m_2, \qquad (46)$$

где T — время нахождения наносов в трубопроводе в спокойном состоянии, суток;

D — внутренний диаметр асбестоцементных труб, *м*;

$\lambda_н$ — коэффициент сопротивления при размыве отложившихся наносов определяется по формуле (45);

A, B, C — коэффициенты, зависящие от содержания в наносах мелкопесчаных частиц размером от 0,05 до 0,25 *мм* в долях единицы (табл. 19);

k — коэффициент однородности отложившихся наносов ($k = 1{,}2$—$1{,}02$);

m_1 — коэффициент условия работы, когда поток несет взвешенные наносы в коллоидном состоянии в количестве более 0,10%, равен 1,2—1,4;

m_2 — коэффициент условия работы, когда поток несет донные корродирующие наносы, равен 0,85—0,75.

Для определения размывающих скоростей в трубопроводах, изготовленных из любых материалов, мы получили формулу, которая менее точна по сравнению с предыдущей, но более простая:

$$v_р = \left(A - \frac{1}{BT^{1,2} + C}\right)\sqrt{\frac{\lambda}{\lambda_н}}\, k\, m_1 m_2 \ м/сек. \qquad (47)$$

Значения $\sqrt{\frac{\lambda}{\lambda_н}}$ определяются в зависимости от материала труб и составляют для железобетонных труб $1{,}4D^{0,134}$, стальных — $1{,}31D^{0,117}$, чугунных — $1{,}22D^{0,147}$, асбестоцементных — $1{,}5D^{0,114}$.

Таблица 19

Значения коэффициентов *A*, *B*, *C* в зависимости от содержания *P* в наносах мелкопесчаных частиц размером 0,05—0,25 *мм*

P	*A*	B	C	P	A	B	C
0,0	0,94	0,027	1,30	0,50	1,24	0,017	1,05
0,10	1,00	0,025	1,25	0,55	1,27	0,016	1,025
0,15	1,03	0,024	1,225	0,60	1,30	0,015	1,00
0,20	1,06	0,023	1,21	0,65	1,15	0,017	1,21
0,25	1,09	0,022	1,175	0,70	1,00	0,020	1,402
0,30	1,12	0,021	1,15	0,75	0,85	0,028	1,77
0,35	1,15	0,020	1,125	0,80	0,70	0,046	2,47
0,40	1,18	0,019	1,10	0,85	0,55	0,090	3,82
0,45	1,21	0,018	1,0,75	0,90	0,40	0,198	6,50

Определение транспортирующей способности потока. В настоящее время при проектировании режима наносов для оросительных систем определяют величину транспортирующей способности потока, то есть его способность перемещать взвешенные наносы.

Несмотря на длительное изучение данного вопроса, универсальной зависимости для определения транспортирующей способности потока пока нет.

Существующие формулы можно разделить на две группы:

для транспортирования наносов оросительными каналами с насыщением потока грунтом до 1—2%;

для транспортирования пульпы (гидротранспорт) с насыщением потока грунтом от 2 до 30%.

Чтобы установить, можно ли применять при расчетах трубопроводов оросительных систем существующие зависимости, мы провели специальные лабораторные и полевые опыты. Сравнение результатов опытов и данных, полученных по формулам различных авторов, показывает большое их расхождение (в 2—8 раз).

Условия транспортирования наносов открытыми каналами существенно отличаются от транспортирования наносов трубопроводами, поскольку распределение скоростей по живому сечению иное, чем в каналах. Различны также и величины гидравлических сопротивлений.

Формулы же для напорного гидротранспорта — эмпирические и выведены для условий большого насыщения потока грунтом (2—30%) с более крупными частицами, в то время как мутность воды в трубопроводах ороси-

тельных систем чаще всего не превышает 1%. Поэтому формулы в том виде, в каком они получены для открытых потоков и напорного гидротранспорта, нельзя применять для трубопроводов оросительных систем.

На основании полевых и лабораторных опытов для определения транспортирующей способности потока с мутностью до 10 *кг/м*³ при крупности частиц до 0,25—0,5 *мм* нами получена следующая формула [12]:

$$\rho = \frac{v^2 \lambda}{0{,}0000232\, W^{0{,}25} \cdot 8g} \quad кг/м^3, \qquad (48)$$

где v — скорость потока, *м/сек*;

W — гидравлическая крупность наносов, *мм/сек*;

g — 9,81 *м/сек*².

Эта формула устанавливает связь между количеством взвешенных наносов, их составом, скоростью, гидравлическим сопротивлением и диаметром трубопровода.

Для обеспечения нормальной работы трубопроводов оросительных систем необходимо:

не допускать движения воды в трубопроводах со скоростями меньше незаиляющих;

в поливной период примерно раз в месяц промывать трубопроводы при расходах воды, обеспечивающих размывающие скорости;

при заилении трубопровода немедленно очищать его от наносов, так как в этом случае требуется меньшая размывающая скорость.

ТРУБЫ, СООРУЖЕНИЯ И АРМАТУРА

Подземные трубопроводы закрытых оросительных систем закладывают в грунт на глубину 0,8—1 *м* от поверхности земли до верха трубы. В Советском Союзе в настоящее время для подземных трубопроводов применяют в основном асбестоцементные, иногда стальные трубы и начинают применять полиэтиленовые.

Наша промышленность выпускает полиэтиленовые трубы диаметром до 300 *мм* и осваивает производство труб диаметром 400 *мм*. Эти трубы по техническим показателям вполне подходят для закрытых оросительных систем. Полиэтиленовые трубы, несомненно, имеют большое будущее.

Большую роль при строительстве трубопроводов играет конструкция стыковых соединений.

Трубопроводы закрытой оросительной сети обычно прокладывают в нескальных грунтах, в большинстве подверженных увлажнению при поливе, что иногда вызывает просадки или пучение грунта. Если стыковые соединения труб гибкие, то трубопровод следует за основанием и не разрушается. Гибкие стыки позволяют также избавиться от отрицательных последствий, вызываемых колебанием оснований при промерзании их зимой и оттаивании весной. Гибкие соединения получают с помощью односторонних и двухсторонних муфт. При односторонних муфтах вдвое сокращается число соединительных замков, а при двухсторонних — упрощается ремонт (замена труб) трубопровода, увеличивается гибкость в соединениях. Однако в последнем случае увеличивается число стыков, что может привести к большей утечке воды из трубопровода.

АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫЕ ТРУБЫ

В практике строительства подземных трубопроводов закрытых оросительных систем в СССР широко применяют асбестоцементные трубы и муфты (рис. 53). Имеющийся опыт применения этих труб позволяет назвать их преимущества и недостатки.

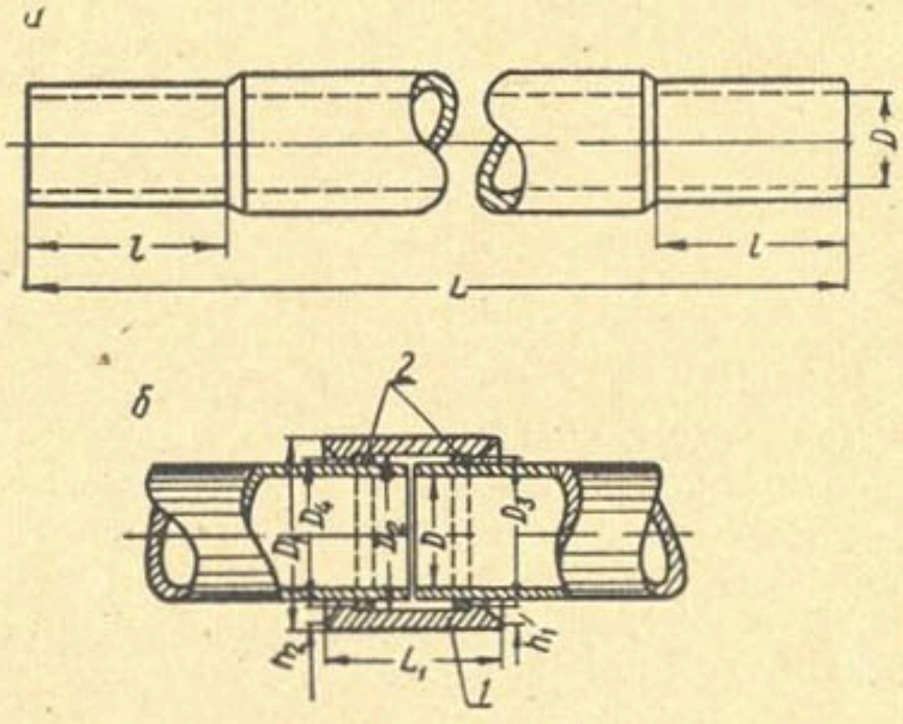


Рис. 53. Асбестоцементная труба и соединение труб:

а — труба; *б* — соединение труб с помощью асбестоцементной муфты; *1* — муфта; *2* — уплотняющие резиновые кольца.

Асбестоцементные трубы водонепроницаемым, морозостойки и дешевле металлических.

Основной недостаток асбестоцементных труб — хрупкость и небольшая сопротивляемость внешним ударам.

Согласно ГОСТ 539—59, асбестоцементные трубы изготовляют четырех типов (марок): ВТ3, ВТ6, ВТ9 и ВТ12 (табл. 20). Рассчитаны они на рабочее давление соответственно 3, 6, 9 и 12 *ат*.

Асбестоцементные трубы изготовляют тех же наружных диаметров, что и чугунные водопроводные, так как при монтаже асбестоцементных трубопроводов используют чугунные фасонные части и арматуру.

Согласно ГОСТ, асбестоцементные трубы должны быть прямыми, круглой цилиндрической формы и без

Трубы асбестоцементные ГОСТ 539—59

Размеры в *мм*																		
условный проход*	внутренний диаметр, *d*		наружный диаметр обточенных концов, *D*			толщина стенок обточенных концов				длина трубы, *L*	длина обточенных концов, *l*		Справочный вес трубы, *кг*			
	ВТ3, ВТ6, ВТ9	ВТ12	ВТ3	ВТ6	ВТ9, ВТ12	ВТ3	ВТ6	ВТ9	ВТ12		ВТ3, ВТ6	ВТ9, ВТ12	ВТ3	ВТ6	ВТ9	ВТ12
50	50	—	68	68	68	9,0	9,0	9,0	—	2950	300	200	11	11	11	—
75	75	—	93	93	93				—				16	16	18	—
100	100	—	118	118	122			11,0	—				21	21	25	—
125	119	—	137	139	142		10,0	11,5	—	2950			24	26	31	—
—	—	—	—	—	—					3950			33	35	41	48,5
150	141	135	161	163	168				16,5				32	35	43	50
—	—	—	—	—	—	10,0	11,0	13,5					43	47	57	67
200	189	181	209	217	224		14,0	17,5	21,5				57	80	95	118
250	235	228	259	265	274	12,0	15,0	19,5	23,0				86	106	134	152
300	279	270	305	314	324	13,0	17,5	22,5	27,0	3950			142	146	188	218
350	322	312	352	361	373	15,0	19,5	25,5	30,5		360		145	184	238	278
400	368	356	402	414	427	17,0	23,0	29,5	35,5				185	245	315	317,5
500	456	441	498	511	528	21,0	27,5	36,0	43,5		400		279	364	466	549

* Условный проход соответствует внутреннему диаметру чугунных труб, чугунные фасонные части которых используются в асбестоцементных трубопроводах.

Примечание. При отсутствии железобетонных труб больших диаметров по требованию потребителя и согласованию с планирующими органами допускается изготовление по республиканским техническим условиям асбестоцементных труб марок ВТ3 и ВТ6 с условным проходом 600, 700, 800, 900 и 1000 *мм* с цилиндрическими асбестоцементными муфтами под зачеканку.

трещин. Отклонение наружной необточенной части трубы от прямой (стрела прогиба) допускается до 12 *мм*. Концы труб обрезают перпендикулярно к оси (без расслоений и обломков). Трубы имеют гладкие обточенные концы, на наружной поверхности их нельзя допускать царапин.

К каждой партии асбестоцементных труб прикладывают паспорт, в котором указывают количество труб, наименование и адрес завода-изготовителя, номер и дату выдачи паспорта.

Асбестоцементные трубы соединяют специальными муфтами. Наиболее распространены цилиндрические асбестоцементные муфты с двумя резиновыми кольцами (рис. 53, *б*). На внутренней поверхности таких муфт по краям имеется два выступа — бурта, которые удерживают резиновые кольца.

Внутренний диаметр асбестоцементных муфт несколько больше наружного диаметра обточенных концов труб. Согласно ГОСТ, промышленность изготовляет асбестоцементные муфты двух типов: ВМ3 и ВМ6 (в зависимости от гидравлического давления, на которое рассчитывается трубопровод) (табл. 21).

Таблица 21

Размеры асбестоцементных двухбуртных муфт по ГОСТ 539—59

Диаметр условного прохода труб, *мм*	Диаметр муфты, *мм*				Диаметр выступов (буртиков), *мм*				Справочный вес одной муфты, *кг*		Длина муфты, *кг*
	наружный D_1		внутренний D_2		рабочего конца, D_3		нерабочего конца D_4				
	ВМ3	ВМ6	ВМ3	ВМ6	ВМ3	ВМ6	ВМ3	ВМ6	ВМ3	ВМ6	
50	108	108	79,0	79,0	75,2	75,2	70	70	1,2	1,2	150
75	133	133	104,0	104,0	100,2	100,2	95	95	1,5	1,5	
100	160	160	130,6	130,6	126,4	126,4	120	120	1,9	1,9	
125	179	183	149,6	151,6	145,4	147,4	139	141	2,1	2,3	
150	206	211	173,6	175,6	169,4	171,4	163	165	2,7	2,9	
200	252	269	221,1	229,1	217,4	225,4	211	219	3,3	4,4	
250	305	313	271,1	277,1	267,4	273,4	261	267	4,4	5,4	
300	351	365	317,1	326,1	313,4	322,4	307	316	5	6,8	
350	402	419	366,2	375,2	362,2	371,2	354	363	7,3	9,1	180
400	457	479	416,2	428,2	412,2	424,2	404	416	9,5	12,1	
500	563	586	512,2	525,2	508,2	521,2	500	513	16,1	20,0	200

Уплотнением, обеспечивающим герметичность соединения, служат резиновые кольца. Они должны быть упругими, эластичными, без больших остаточных деформаций после сжатия, без трещин, раковин, вкраплений и постоянных включений. Кроме того, они должны быть морозостойкими при температуре до −30° и не размягчаться при температуре +40°.

На поверхности резиновых колец допускаются выступы и углубления до ±0,7 *мм*. Однако их не должно быть более трех на кольцах диаметром до 150 *мм* и более пяти при других диаметрах.

Два плотно зажатых резиновых кольца в муфте придают стыковым соединениям некоторую подвижность (эластичность), поэтому трубы могут смещаться относительно оси трубопровода, что предохраняет трубопровод от поломок при сдвигах, осадке и вибрации грунта.

ФАСОННЫЕ ЧАСТИ

При строительстве закрытых трубопроводов оросительной сети применяют чугунные, стальные и железобетонные фасонные части.

Чугунные фасонные части выполняются по ГОСТ 5525—61 для чугунных труб. Если принять суммарный вес чугунных фасонных частей, необходимых для трубопроводов закрытой оросительной сети, за 100%, то на долю тройников приходится примерно 52%, патрубков — 32, переходов — 9,5, крестовин — 3, колен — 3, отводов — 0,2, седелок — 0,2 и заглушек — 0,1%.

Чугунные фасонные части соединяют между собой с помощью болтов, гаек и резиновых прокладок, а с асбестоцементными трубами — специальными чугунными патрубками.

Стальные фасонные части сваривают из толстостенных труб. Для соединения фасонных частей с арматурой и трубами к ним приваривают фланцы. Стальные фасонные части соединяют с асбестоцементными трубопроводами стальными патрубками или двухбуртными асбестоцементными муфтами. Стальные патрубки соединяют с фасонной частью болтами. Наружный диаметр патрубка должен быть равен наружному диаметру обточенных концов асбестоцементной трубы. Патрубок

соединяют с асбестоцементной трубой двухбуртной асбестоцементой муфтой обычным способом.

При непосредственном соединении фасонной части с трубой без патрубка концы фасонной части, соединяе-

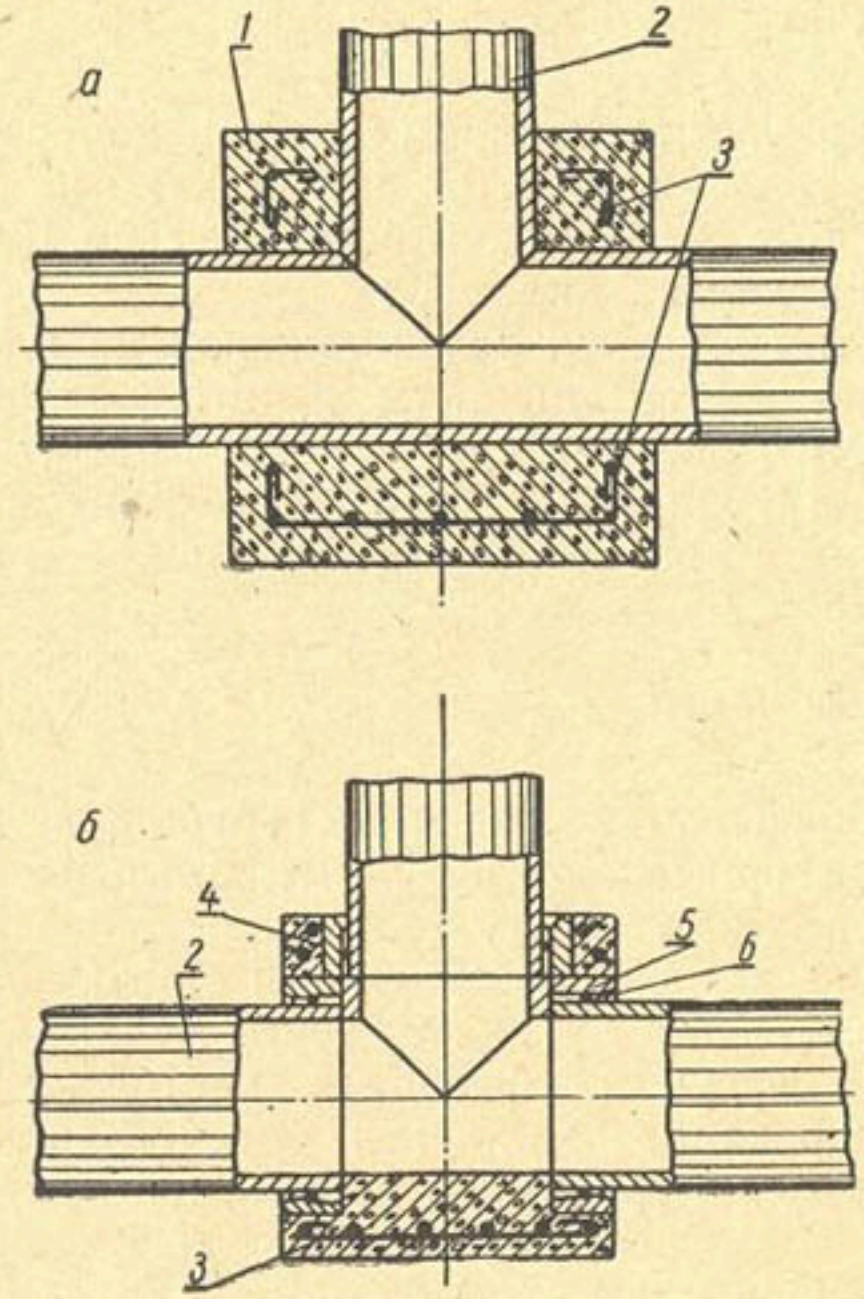


Рис. 54. Железобетонный тройник:

а — монолитный; *б* — сборный; *1* — монолитная железобетонная тумба; *2* — асбестоцементная труба; *3* — стержневая арматура; *4* — сборная железобетонная фасонная часть; *5* — асбестоцементная полумуфта; *6* — уплотняющее резиновое кольцо.

мой с трубой, не имеют фланцев, а их наружный диаметр равен наружному диаметру концов соединяемых труб. В этом случае применяют двухбуртные асбестоцементные муфты или муфты типа МН-К.

Железобетонные фасонные части (главным образом тройники и концевые заглушки) применяют для экономии металла при строительстве трубопроводов с

небольшим внутренним давлением. Железобетонные фасонные части более долговечны, так как меньше подвержены коррозии. Стоимость их ниже стоимости чугунных фасонных частей.

Железобетонные фасонные части применяют двух типов — монолитные и сборные при внутреннем давлении до 3 *ат* и диаметре трубопроводов до 300—350 *мм*.

Монолитная фасонная часть (рис. 54, *а*) состоит из железобетонного блока (тумбы), заменяющего фасонную чугунную часть. Тумбу изготовляют после сборки труб. В месте устройства железобетонного узла в траншее устанавливают разборную деревянную опалубку. Соединяемые части асбестоцементных труб плотно подгоняют друг к другу, очищают от грунта и промывают водой. Арматурный каркас блока лучше изготовлять из стержней периодического профиля.

Однако монолитные железобетонные фасонные части имеют и недостатки.

Места строительства с небольшими объемами работ разбросаны по трассе трубопроводов, что затрудняет организацию и механизацию работ по возведению блоков.

Фасонные части с примыкающими к ним трубами имеют жесткое соединение. В случае повреждения железобетонной тумбы или трубы разбирают весь узел. При повторном бетонировании тумбы прекращают полив на 6—10 суток.

Сборные железобетонные фасонные части (рис. 54, *б*) не имеют недостатков, присущих монолитным.

Соединяют фасонные части этого типа с асбестоцементными трубами с помощью полумуфт и стандартных резиновых колец. Полумуфты изготовляют из обычных двухбуртных асбестоцементных муфт, разрезая их на токарном станке на две равные части.

Полумуфты, деревянный сердечник и арматурный каркас устанавливают в разборной металлической форме. Металлическая форма опалубки (рис. 55) имеет горизонтальный разъем, который делит ее на две одинаковые части, соединяемые болтами. Деревянному сердечнику в средней его части придают размеры (по диаметру), равные или близкие к внутреннему сечению асбестоцементной трубы; концы сердечника длиной 7—10 *см* выполняют по внутреннему диаметру асбесто-

цементной полумуфты. Центрируют сердечник болтами, приваренными к фланцам, и металлическими (толщиной 10—15 *мм*) пластинками с резьбой, закрепленными в сердечнике. Фланцы крепят к разборной металлической опалубке откидными болтами. Бетон уплотняют на вибростоле, на котором устанавливают собранную форму.

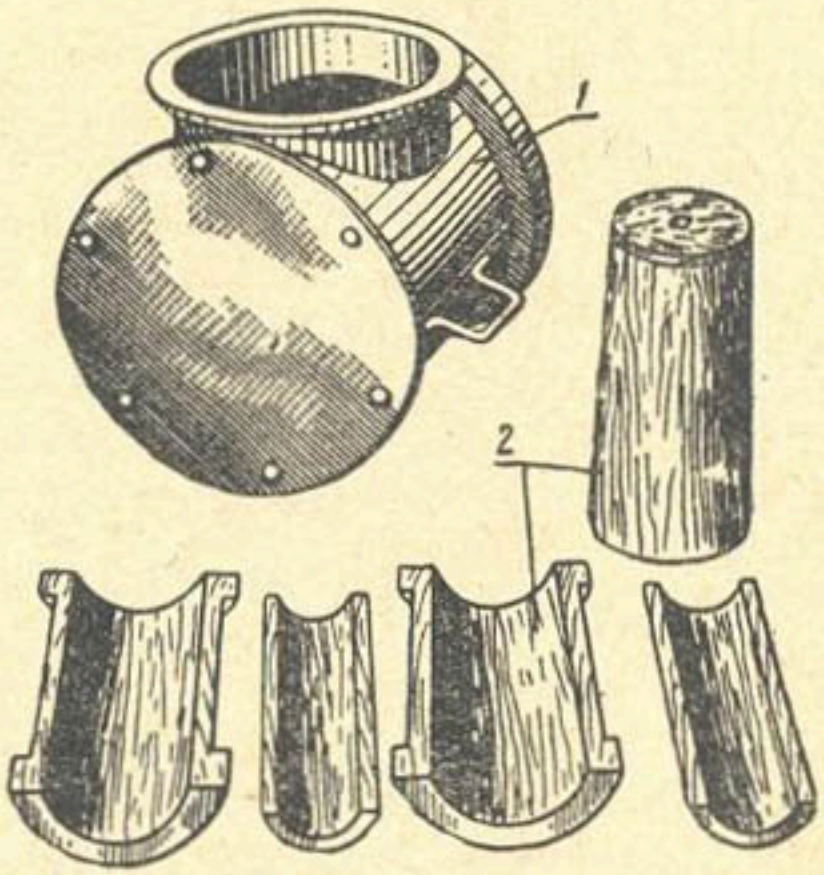


Рис. 55. Разборная опалубка:
1 — металлическая разъемная форма; *2* — деревянный сердечник.

Кольцевые растягивающие усилия, возникающие в стенках железобетонных фасонных частей (монолитных и сборных) от внутреннего давления воды, воспринимаются арматурным каркасом (рис. 54).

Для изготовления фасонных частей применяют те же цементы, что и для строительства гидротехнических сооружений. В качестве крупного заполнителя используют щебень или гравий размером до 10 *мм*. Вес сборных железобетонных фасонных частей приблизительно равен весу чугунных. Фасонные части рекомендуется изготовлять на заводах сборного железобетона.

Расчет железобетонных фасонных частей. При определении толщины стенки и сечения арматуры железобетонных фасонных частей за расчетное давление принимают внутреннее давление воды, так как оно превы-

цементной полумуфты. Центрируют сердечник болтами, приваренными к фланцам, и металлическими (толщиной 10—15 *мм*) пластинками с резьбой, закрепленными в сердечнике. Фланцы крепят к разборной металлической опалубке откидными болтами. Бетон уплотняют на вибростоле, на котором устанавливают собранную форму.

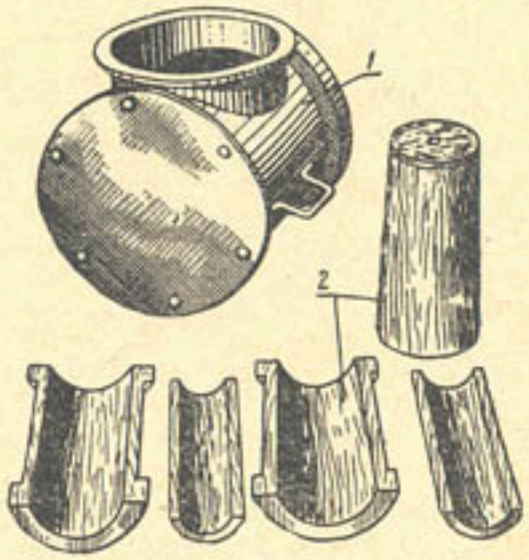


Рис. 55. Разборная опалубка:
1 — металлическая разъемная форма; *2* — деревянный сердечник.

Кольцевые растягивающие усилия, возникающие в стенках железобетонных фасонных частей (монолитных и сборных) от внутреннего давления воды, воспринимаются арматурным каркасом (рис. 54).

Для изготовления фасонных частей применяют те же цементы, что и для строительства гидротехнических сооружений. В качестве крупного заполнителя используют щебень или гравий размером до 10 *мм*. Вес сборных железобетонных фасонных частей приблизительно равен весу чугунных. Фасонные части рекомендуется изготовлять на заводах сборного железобетона.

Расчет железобетонных фасонных частей. При определении толщины стенки и сечения арматуры железобетонных фасонных частей за расчетное давление принимают внутреннее давление воды, так как оно превышает все остальные нагрузки (собственный вес, вертикальное и горизонтальное давление грунта, вес воды и др.).

Расчетом проверяют два условия: прочность и водонепроницаемость.

Рабочими стержнями служат кольцевые, а распределительными — продольные. Продольные стержни принимают несколько меньшего диаметра, чем стержни кольцевой арматуры, сечение которых определяют расчетом.

В переходах и коленах кольцевые стержни обычно заменяют спиралью.

Расчет прочности железобетонных частей аналогичен расчету железобетонных труб. Затем проверяют ослабленное сечение и, если нужно, усиливают.

Кольцевое растягивающее усилие, возникающее в стенках трубы от внутреннего давления, равно:

$$T = Pr, \qquad (49)$$

где P — интенсивность давления;
r — внутренний радиус трубы.

Толщина стенки незначительна, поэтому считаем, что растягивающее усилие равномерно распределено по всему продольному сечению стенки. Внутреннее давление в фасонной части принимаем равным испытательному давлению или давлению, возникающему от гидравлического удара, если последнее известно. За расчетное принимаем большее из этих давлений.

Требуемое сечение кольцевой или спиральной арматуры определяют по формуле:

$$F_a = \frac{TK}{\sigma_т}, \qquad (50)$$

где F_a — площадь сечения стержней арматуры;
T — кольцевое растягивающее усилие в стенках.
K — коэффициент запаса прочности (для нашего случая он равен 1,8);
$\sigma_т$ — расчетный предел текучести стержней арматуры;

Стержни берем стальные марки Ст. 3 с пределом текучести $\sigma_т = 2850$ *кгс/см*^{2}.

При расчете на водонепроницаемость исходим из того, что нельзя допускать волосные трещины в стенках.

При таком условии для сохранения монолитности элемента удлинение бетона и арматуры в трубе должно быть одинаковым, то есть $\varepsilon_б = \varepsilon_а$.

Предполагая, что к моменту образования трещин предельное относительное удлинение бетона составляет $\varepsilon_б \doteq 0{,}0001$, определим напряжение в стержнях арматуры:

$$\sigma_а = \varepsilon_а E_а = \varepsilon_а E_б = 2100\,000 \cdot 0{,}0001 = 210 \ кгс/см^2,$$

округленно 200 $кгс/см^2$.

Следовательно, предельное усилие $T_{тр}$, при котором появляются трещины, равно:

$$T_{тр} = K_{тр} T = R_р F_б + 200 F_а. \qquad (51)$$

При коэффициенте запаса прочности против появления трещин допустимое усилие равно:

$$T = \frac{T_{тр}}{K_{тр}} = \frac{R_р F_б + 200 F_а}{K_{тр}}. \qquad (52)$$

Отсюда

$$F_б = 1a = \frac{T K_{тр} - 200 F_а}{R_р}; \qquad (53)$$

$$a = \frac{T K_{тр} - 200 F_а}{R_р}, \qquad (53а)$$

где $K_{тр}$ — коэффициент запаса прочности против появления трещин;

$F_б$ — площадь сечения бетона;

$R_р$ — расчетный предел прочности бетона на растяжение;

a — толщина стенки трубы.

Остальные обозначения были приведены ранее. По формуле (53а) рассчитывают толщину стенок фасонных частей. После проверки ослабленного сечения окончательно принимают толщину стенки и площадь сечения арматуры.

Полученный коэффициент армирования μ должен быть не больше допустимого $\mu_{доп}$

$$\mu_{доп} = \frac{R_р}{\frac{K_{тр}}{K} \sigma_т - \varepsilon_д \varepsilon_б} \qquad (54)$$

ЗАДВИЖКИ

На трубопроводах оросительных систем в основном применяют водопроводную чугунную арматуру, которая рассчитана, как правило, на большее давление, чем давление в трубопроводах закрытой оросительной сети.

Чугунные задвижки (ГОСТ 3706—54) рассчитаны на условное давление от 1 до 25 *кгс/см²* при диаметрах условного прохода от 50 до 1200 *мм*. Они имеют плоский или овальный корпус.

При малых и средних диаметрах применяют параллельные задвижки с выдвижным шпинделем (рис. 56, табл. 22), позволяющим легко контролировать степень открытия задвижек.

Таблица 22

Размеры (*мм*) и вес (*кг*) чугунных параллельных задвижек

Диаметр условного прохода D	L	$D_ф$	D_1	D_o	H	H_1	Вес
50	180	160	125	160	294	350	18,4
80	210	195	160	160	350	438	34,4
100	230	215	180	160	404	510	42,5
125	255	245	210	240	496	630	61,5
150	280	280	240	240	558	715	75,0
200	330	335	296	280	690	897	130,0
250	450	390	350	320	825	1084	190,0
300	600	440	400	360	955	1265	262,6
350	550	500	460	400	1150	1500	357,0
400	600	565	515	450	1315	1715	494,5
500	700	670	620	600	1350	—	882,0
600	800	780	720	640	1725	—	1255,0
800	1000	1010	950	640	2385	—	2560,0
1000	1200	1220	1160	1000	2805	—	4722,0
1200	1400	1450	1380	—	—	—	7600,0

При диаметрах 400 *мм* и выше применяют задвижки с невыдвижным шпинделем, а при диаметре 500 *мм* и более задвижки снабжают обводной линией, чтобы их легче было открывать и закрывать.

Задвижки диаметром 600 *мм* и более имеют зубчатую коническую передачу, которая значительно облегчает управление ими.

Задвижки, требующие больших усилий для открытия, снабжают электродвигателями трехфазного тока мощностью 1—2 *квт*, напряжением 220/320 *в* с числом оборотов 1450 в минуту и рассчитывают на открытие за 1—3 *мин*.

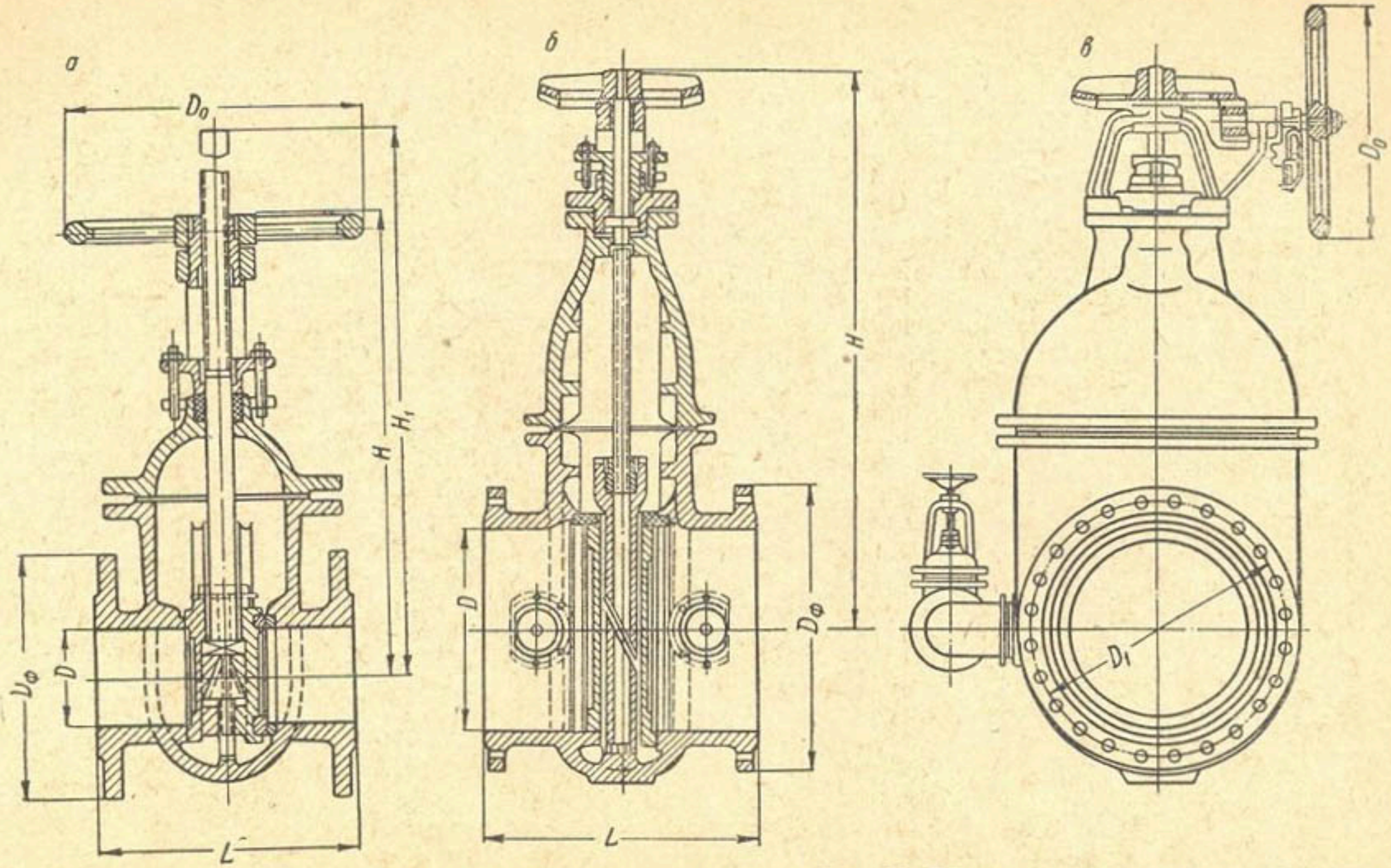


Рис. 56. Параллельные чугунные задвижки:

а — с выдвижным шпинделем; *б* — с невыдвижным шпинделем; *в* — с обводом и зубчатой передачей.

ВАНТУЗЫ

Приборы, устанавливаемые на трубопроводах для выпуска и впуска воздуха,— вантузы — в зависимости от назначения подразделяются на три группы:

эксплуатационные — для постоянного удаления воздуха, выделяющегося из воды; для выпуска воздуха при заполнении трубопроводов водой; для выпуска воздуха при опорожнении трубопроводов.

На полевых трубопроводах закрытых оросительных систем вместо вантузов можно использовать гидранты.

Необходимо следить за тем, чтобы задвижки гидрантов, расположенных на повышенных участках, были открыты при наполнении и опорожнении трубопроводов.

На полевых трубопроводах закрытой сети устанавливают только эксплуатационные вантузы.

На распределительных и хозяйственных трубопроводах, кроме эксплуатационных, устанавливают вантузы для выпуска и впуска воздуха. В среднем расстояние между эксплуатационными вантузами на трубопроводах среднего и малого диаметров принимается от 1 до 2 *км*.

В трубопроводах диаметром больше 1000 *мм* это расстояние обычно уменьшают.

Для обеспечения правильной и безотказной работы вантузов следует постоянно наблюдать за ними.

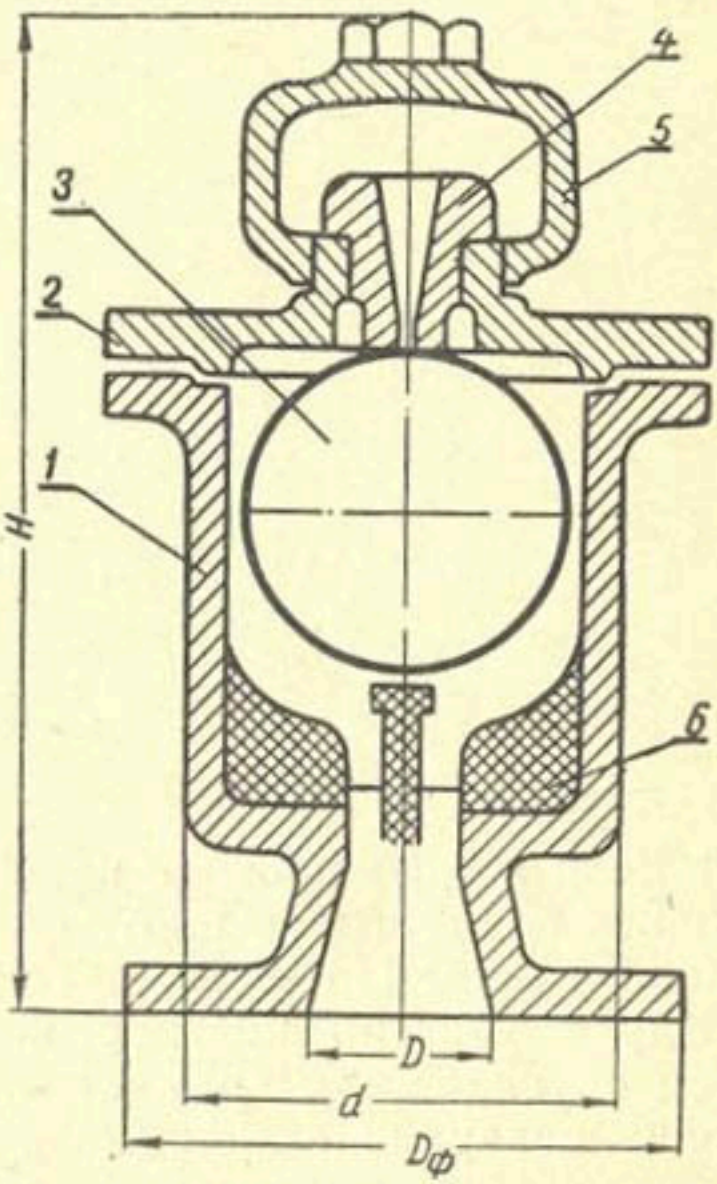


Рис. 57. Эксплуатационный вантуз:
1 — цилиндрический чугунный корпус; *2* — чугунная крышка; *3* — плавающий шар; *4* — бронзовая гайка с диаметром 3—5 *мм*; *5* — колпачок; *6* — приливы, на которые помещается шар в нижнем положении.

Для трубопроводов оросительной сети рекомендуют вантузы двух типов — эксплуатационный вантуз обычного типа и вантуз с двойным клапаном — импульсным и основным.

Обычный эксплуатационный вантуз (рис. 57) состоит из цилиндрического чугунного корпуса, чугунной крышки и плавающего шара. В чугунную крышку вставляется бронзовая гайка диаметром 3—5 *мм*. Это отверстие от сора прикрыто сверху колпачком *5* со щелями для выхода воздуха. Плавающий шар изготовляют из дерева, обтягивая резиной, или из металла, а иногда из стекла. Внутри корпуса имеются приливы *6*, на которые помещается шар в нижнем своем положении.

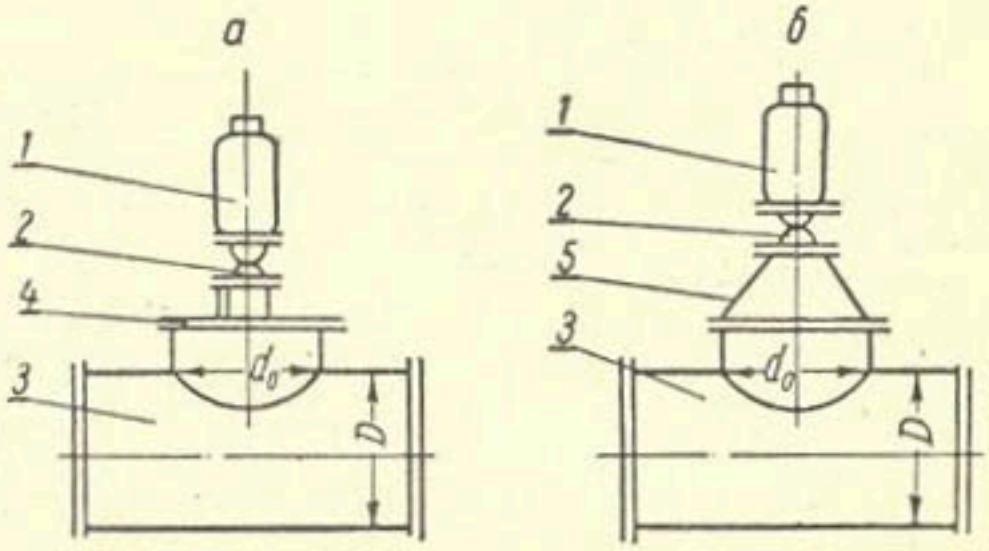


Рис. 58. Схема установки вантузов на подземных трубопроводах:

а — на тройнике с фланцем; *б* — на тройнике с переходом; *1* — вантуз; *2* — задвижка; *3* — тройник; *4* — фланец; *5* — переход.

Если в трубопроводе нет воздуха, корпус вантуза заполнен водой и шар плотно прижат к отверстию в бронзовой гайке. По мере накопления в корпусе вантуза воздуха уровень воды в нем снижается, плавающий шар опускается, открывает отверстие, через которое выходит воздух. После выхода воздуха шар снова занимает прежнее положение. Такой вантуз применяют при рабочем движении до 10 *ат* и небольшом количестве отводимого воздуха.

В таблице 23 приведены размеры и вес вантузов.

Для отвода значительного количества воздуха применяют вантуз с двойным клапаном. В этом вантузе,

помимо основного клапана с выпускным отверстием диаметром 15 *мм*, имеется импульсный клапан с отверстием диаметром 3 *мм*. Импульсный клапан закрывает отверстие, имеющееся в основном клапане.

Таблица 23

Размеры (*мм*) и вес (*кг*) вантузов

Диаметр условного прохода $D_у$	H	$D_ф$	d	Вес
50	407	165	150	16
75	487	200	165	20

Вантузы устанавливают на тройниках (рис. 58). Чтобы воздух лучше поступал в отросток тройника, диаметр отростка принимают не менее 0,5—0,75 диаметра трубопровода. Для снятия вантуза без выключения трубопровода между отростком тройника и вантузом устанавливают задвижку.

ГИДРАНТЫ-ВОДОВЫПУСКИ

Выпуск воды из подземных трубопроводов для полива осуществляют с помощью гидрантов. Расстояние между гидрантами зависит от типа дождевальных машин и техники полива. Гидранты бывают наружные и подземные. Наружные гидранты размещают над поверхностью земли, подземные — на глубине 0,4—0,5 *м* от поверхности.

Наружные гидранты следует устанавливать так, чтобы они не мешали механизированной обработке почвы. Как правило, их устраивают на распределительных трубопроводах, где расстояние между гидрантами большое. Однако их применяют и на внутрихозяйственной закрытой сети, хотя по условиям механизированной обработки почвы здесь больше всего подходят гидранты подземного типа. Это объясняется тем, что к наружным гидрантам всегда имеется свободный доступ, а подземные гидранты на время обработки почвы засыпают землей и перед поливом откапывают, причем эти работы выполняют вручную. Поэтому в оросительной практике подземные гидранты не нашли широкого применения.

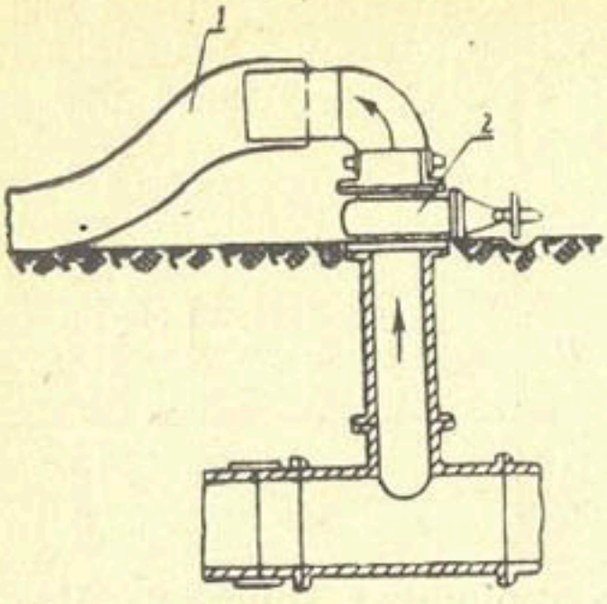


Рис. 59. Схема наружного гидранта без колодца:
1 — гибкий шланг; *2* — задвижка Лудло.

На рисунке 59 показана конструкция гидранта с задвижкой на поверхности земли. При поливе задвижку соединяют с гибким поливным шлангом, из которого вода подается в борозду.

На распределительных трубопроводах в совхозе «Фархад» (Голодная степь) применен открытый гидрант-водовыпуск (рис. 60). Он забирает воду из асбестоцементного распределительного трубопровода *1* и подает ее в открытые оросители. Гидрант состоит из монолитной железобетонной тумбы *2*, соединяющей стояк с асбестоцементной трубой, чугунного стояка с коленом *3*, подающего воду из распределителя в колодец, задвижки типа Лудло *4*, водоприемного колодца *5*, служащего для гашения и успо-

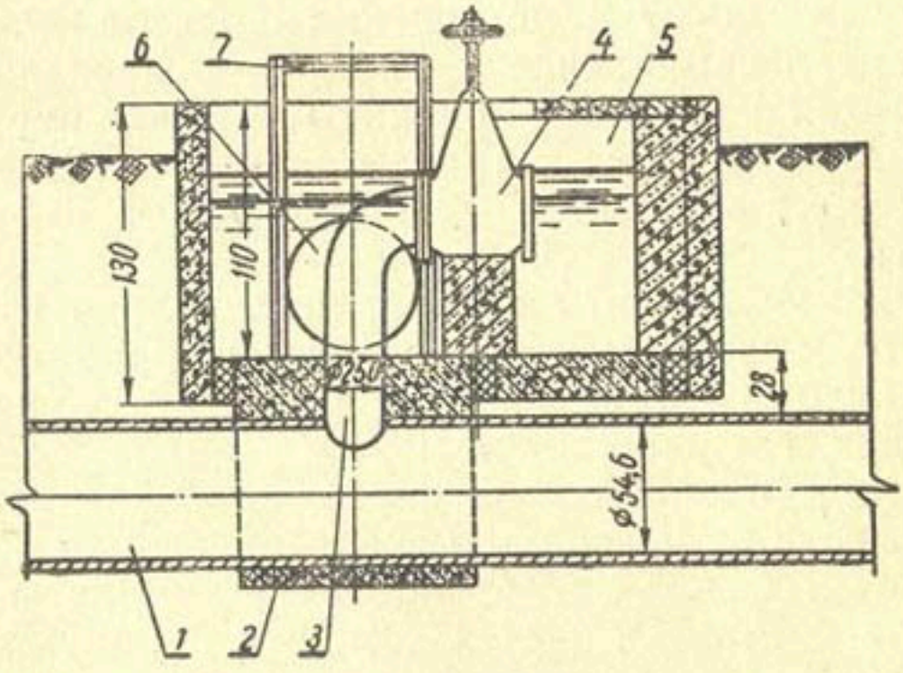


Рис. 60. Открытый гидрант-водовыпуск на расход 220 *л/сек*:

1 — трубопровод; *2* — железобетонная гумба; *3* — чугунный стояк с коленом; *4* — задвижка Лудло; *5* — водоприемный колодец; *6* — водовыпускное отверстие; *7* — плоский металлический щит.

коения потока, водовыпускного отверстия *6* и плоского металлического щита *7*. Из приемного колодца вода через водовыпускное отверстие поступает в открытые оросители.

Для подключения гибких трубопроводов к гидрантам применяют металлические сварные вентили (рис. 61).

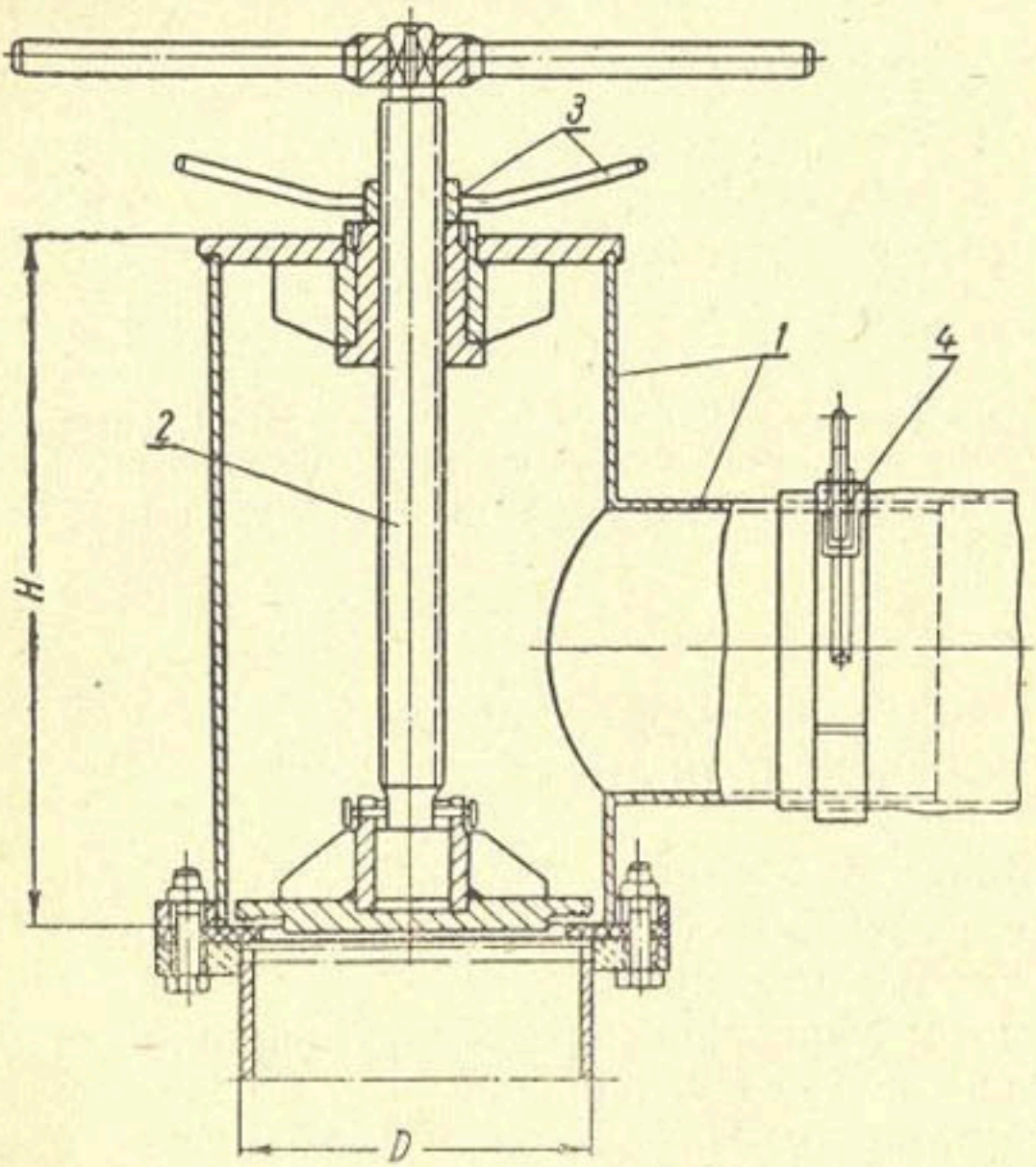


Рис. 61. Вентиль для подключения гибких трубопроводов:

1 — тройник; *2* — грузовой винт; *3* — гайка; *4* — бандаж для крепления гибкого шланга.

Вентили служат запорными устройствами гидрантов; их также используют для регулирования расхода воды, поступающего из гидранта в гибкий трубопровод. Состоит вентиль из следующих основных частей: сварного корпуса в виде тройника *1* с грузовой гайкой и фланцем, грузового винта *2* с тарелкой и рукояткой привода, рукоятки с гайкой *3* для зажима грузового винта, банда-

жа *4* для крепления на корпусе вентиля гибкого трубопровода. Вентили рассчитаны на рабочее давление 2,5 и 6 *кгс/см²* (табл. 24).

Таблица 24

Основные показатели вентилей

Вентили	*D*, *м*	*H*, *м*	Рабочее давление, *кгс/см²*	Вес, *кг*
ВГ-200—2,5	0,20	0,44	2,5	39,0
ВГ-250—2,5	0,25	0,50	2,5	52,0
ВГ-300—2,5	0,30	0,54	2,5	74,7
ВГ-325—2,5	0,325	0,58	2,5	82,7
ВГ-200—6,0	0,20	0,44	6,0	45,5
БГ-250—6,0	0,25	0,50	6,0	60,6

Примечание. Шифры обозначают: ВГ — вентиль гидранта для подключения гибкого трубопровода; первая цифра — диаметр условного прохода стояка гидранта, *мм*; вторая цифра — рабочее давление, *кгс/см²*.

ПЕРЕХОДЫ ЧЕРЕЗ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ И ШОССЕЙНЫЕ ПУТИ

Трубопроводы закрытой оросительной сети при пересечении с железнодорожными и шоссейными путями прокладывают под ними.

На всем участке перехода трубопровод заключают в стальной кожух-футляр (рис. 62), по концам которого сооружают колодцы. В нижнем колодце устанавливают водовыпуск. Кожух предохраняет трубопровод от раздавливания, а в случае аварии трубопровода воду через кожух отводят в колодцы, а из колодцев в зависимости от местных условий сбрасывают либо самотеком, либо откачивают. Диаметр кожуха обычно принимают на 200—300 *мм* больше диаметра трубопровода.

На переходном участке трубопровод обычно монтируют из стальных труб. На трубы стальными хомутами прикрепляют ползунки из круглой арматурной стали. Ползунки облегчают передвижение трубопровода при укладке его в кожухе.

Кожух прокладывают открытым способом или продавливанием. Открытый способ наиболее прост. Однако

его применяют только при пересечении трубопроводом малоответственных участков железнодорожных путей и автомагистралей с небольшой интенсивностью движения. Существенный недостаток открытого способа прокладки трубопровода — неизбежная осадка грунта после засыпки траншеи и, как следствие этого, просадка пути.

В тех случаях, когда при прокладке трубопровода нельзя нарушать движения через железнодорожный или шоссейный путь, устраивают проходной туннель или кожухом продавливают грунт с помощью мощных домкратов. На переходе через дорогу по обеим его сторонам устанавливают задвижки.

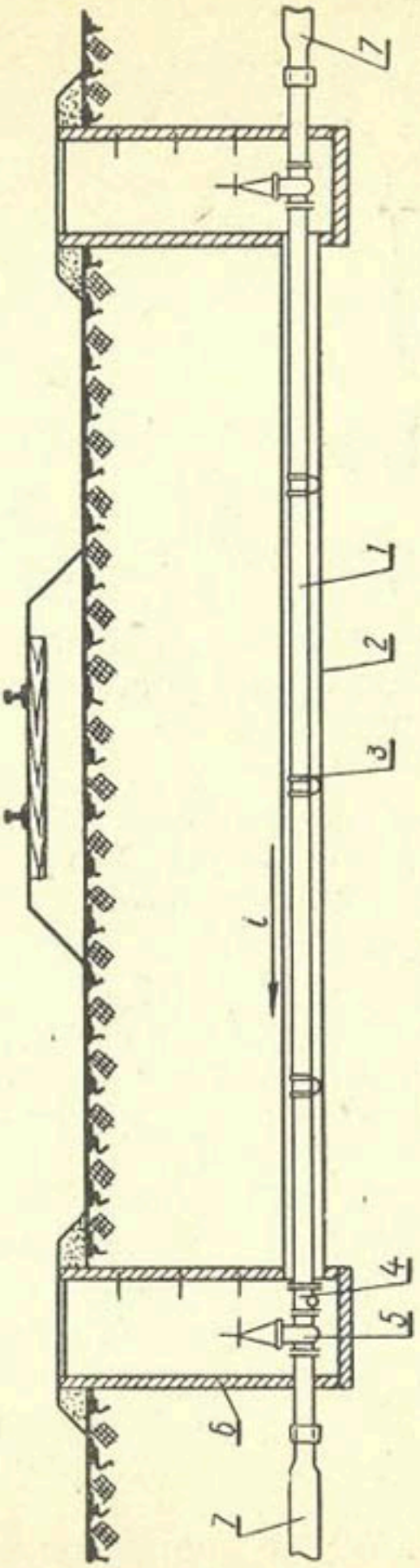


Рис. 62. Переход через железнодорожный путь:
1 — стальная труба; *2* — стальной кожух; *3* — ползунок; *4* — выпуск; *5* — задвижка; *6* — колодец; *7* — асбестоцементный трубопровод.

УПОРЫ

Упоры предусматривают в том случае, когда действующие на трубопровод силы могут раскрыть стыки. В асбестоцементных и железобетонных трубопроводах упоры устанавливают на крутых поворотах в горизонтальной и вертикальной плоскостях и на концах тупиков. Иногда упоры нужны на тройниках со стороны, противоположной отростку, для восприятия реактивного усилия. В трубопроводах со сварными соединениями, обычно достаточно прочными, упоры необходимы лишь в исключительных случаях.

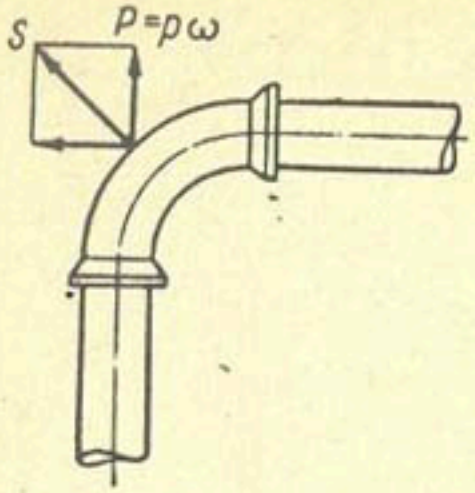


Рис. 63. Схема действия сил на упор.

При повороте трубопровода упоры воспринимают усилие от гидростатического (рис. 63) и скоростного напоров. Усилие от гидростатического напора S в месте поворота определяют по формуле:

$$S = 2P \sin\frac{\alpha}{2} = 2p\omega \sin\frac{\alpha}{2}, \qquad (55)$$

где P — наиболее возможное внутреннее давление;

α — угол поворота;

p — внутреннее давление, отнесенное к единице площади сечения трубы;

ω — площадь поперечного сечения трубы.

Усилие от скоростного напора невелико, и им можно пренебречь.

При малых углах поворота (5—10°) давление на упор обычно настолько мало, что его воспринимает грунт в пределах допустимых напряжений. В таких случаях упоры не устраивают.

Упоры делают из бута, бетона, железобетона и кирпича.

Упоры должны вплотную примыкать к ненарушенному грунту, передавая на него усилия. Если между упором и грунтом образуется щель, ее заполняют бетоном. Щели между трубой и упором не допустимы.

На рисунке 64 показана конструкция упора при повороте трубопровода в горизонтальной плоскости. Упор собственным весом противодействует возникающему на повороте трубопровода усилию S.

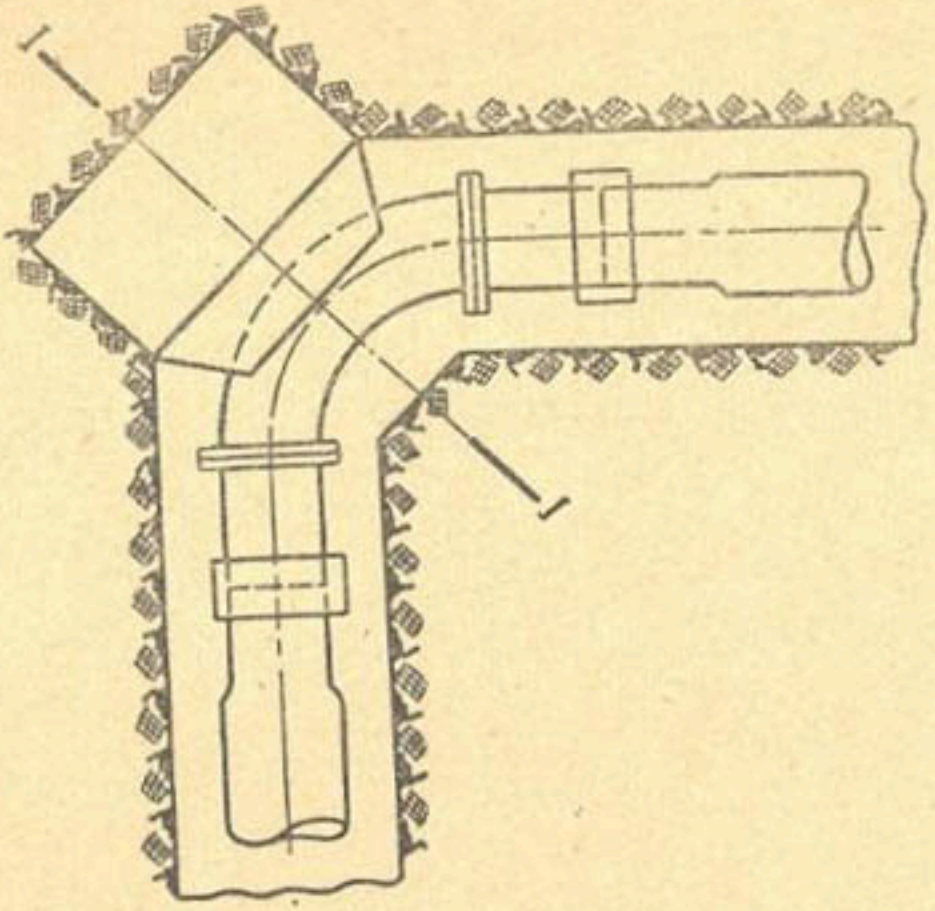
Рассчитывать упоры принято, исходя из условий [3]:

1) давление на грунт, передаваемое рабочей плоскостью упора, не должно превышать допускаемое (табл. 25);

2) давление упора должно быть не более пассивного отпора грунта;

3) толщина упора и остальные его размеры должны быть такими, чтобы напряжения в кладке не превышали допускаемые;

4) при деформации грунта под действием упора не должны нарушаться плотность и прочность стыков;



I-I

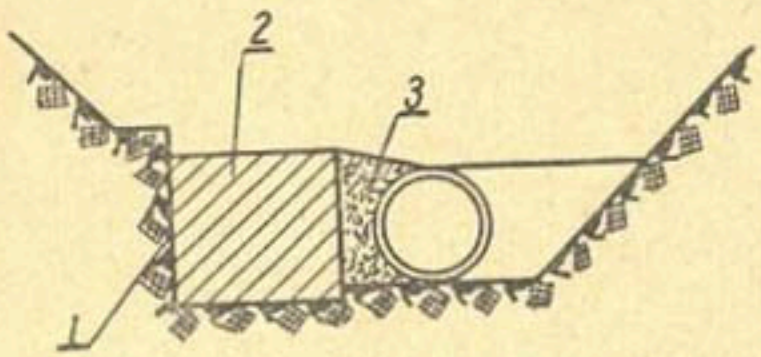


Рис. 64. Упор на повороте трубопровода в горизонтальной плоскости:

1 — ненарушенный грунт; *2* — бутовая кладка или бетон; *3* — бетон.

Таблица 25

Допускаемое давление на грунт, *кгс/см²*

Грунты	Во время работы	При испытаниях
Скальный сильно трещиноватый . .	15,0—6,0	18—7
Мергель	7,5—2,5	9—3
Шебенистый и галечниковый	4,0—2,5	5 3
Песок:		
средней крупности	2,5	3,0
мелкий влажный	1,5	1,8
пылеватый, насыщенный водой .	1,0	1,2
Супесь при коэффициенте пористости:		
0,5	3,0—2,5	3,5—3,0
0,7	2,5—1,5	3,0—1,8
Суглинок при коэффициенте пористости:		
0,5	3,0—2,5	3,5—3,0
0,7	2,5—1,8	3,0—2,0
Глина при коэффициенте пористости:		
0,6	5,0—3	6,0—3,5
0,8	3,0—2	3,5—2,5
1,1	2,5—1	3,0—1,2

5) при направлении силы вверх от гидростатического напора вес упора и лежащей на нем земли должен превышать эту силу.

При повороте трубопровода в горизонтальной плоскости размеры рабочей плоскости упора, непосредственно примыкающей к грунту, можно определять по формуле:

$$F=\frac{P}{\sigma}, \qquad (56)$$

где F — площадь рабочей плоскости упора;

σ — допускаемое давление на грунт.

Пассивный отпор грунта (второе условие) при вертикальном расположении рабочей плоскости упора можно определить по формуле:

$$T=Qf+\operatorname{tg}^2\left(45°-\frac{\varphi}{2}\right)\gamma(h_2^2-h_1^2)fb+$$

$$+\frac{1}{2}\operatorname{tg}^2\left(45°+\frac{\varphi}{2}\right)\gamma(h_2^2-h_1^2)l, \qquad (57)$$

где Q — вес упора с лежащей на нем землей, $т$;
f — коэффициент трения кладки о грунт (в среднем 0,4—0,5);
φ — угол внутреннего трения грунта (в среднем 20—30°);
γ — объемный вес грунта (в среднем 1,6 $т/м^3$);
b — толщина упора, $м$;
h_1 — расстояние от верха упора до поверхности грунта, $м$;
h_2 — глубина заложения подошвы упора от поверхности грунта, $м$.
l — длина упора, $м$;

Чтобы не происходило выпирания грунта, должно быть выполнено требование

$$\frac{T}{P} \geqslant 1{,}2. \qquad (58)$$

Напряжение, возникающее в упоре (третье условие), не должно превышать предел прочности материала, деленный на коэффициент запаса.

Пределы прочности кладки ($кгс/см^2$) следующие [3]:

	При сжатии
Кирпич и камни правильной формы марки 200 на растворе марки 50	40
То же, марки 100 на растворе марки 50	30
Бут из камня марки 200 на растворе марки 50	18
Камень слабой породы марки 15 на растворе марки 10	8
	При растяжении (при изгибе)
Кладка из камней правильной формы на растворе марки 50	6
Бутовая кладка на растворе марки 50	4
Бетон марки:	При сжатии
110	88
70	56
50	40
	При растяжении (при изгибе)
110	11
70	8,5
50	6,5

При расчете упора на усилия от внутреннего рабочего давления можно принимать коэффициент запаса равным 3—3,5, а от испытательного давления — 2—2,5.

Деформация грунта у рабочей плоскости упора не должна превышать допускаемое перемещение крайнего стыка (четвертое условие). Необходимо также, чтобы давление на грунт не превышало 0,3 коэффициента постели грунта.

При повороте трубопровода вниз размеры упора подбирают таким образом, чтобы коэффициент запаса был в пределах 1,4—1,5.

При повороте трубопровода вверх упор рассчитывают так же, как фундамент зданий.

ГАСИТЕЛИ НАПОРА НА ТРУБОПРОВОДАХ

Гасители напора в самотечно-напорных трубопроводах необходимы в тех случаях, когда статический напор больше допустимого для данных труб. Такие случаи, как показали подсчеты и опыт, бывают, если трасса самотечно-напорного трубопровода проходит по местности с уклоном более 0,008.

Гибкие поливные трубопроводы (шланги) выдерживают давление до 3—5 *м вод. ст.*, а в подземных транспортирующих трубопроводах внутреннее давление может доходить до 50 *м*. Поэтому требуется гаситель напора, который снимал бы излишнее давление с таким расчетом, чтобы в поливном трубопроводе был постоянный напор. Такие гасители ставят на гидрантах. Этот узел в дальнейшем называется гидрантом-водовыпуском с гасителем напора для подачи воды в гибкие поливные шланги.

Существующие конструкции подземных гасителей напора и принципы их работы. Все известные конструкции гасителей напора работают по следующему принципу.

Вода из трубопровода подается в резервуар (колодец), в котором происходит гашение напора (резервуар сообщен с атмосферой). Затем под напором, равным глубине воды в резервуаре, вода поступает в нижележащий трубопровод. Такие гасители полностью гасят создающийся напор и разгружают трубопровод от избыточного давления; после этого напор в трубопроводе создается вновь за счет естественного уклона местности.

Подачу воды регулируют задвижкой, установленной на подводящем трубопроводе перед резервуаром, вруч-

ную. Ручное регулирование расходов воды, забираемой трубопроводами из резервуара, требует постоянного наблюдения за гасителем, что усложняет его эксплуатацию. Поэтому гасители такого типа можно применять только как временные. В качестве постоянных нужно предусматривать такие конструкции, которые позволяют автоматически регулировать подачу воды из вышерасположенного трубопровода в нижерасположенный.

В Советском Союзе автоматические гасители напора применяют только двух конструкций, и обе они работают по принципу, изложенному выше.

Гасители напора с цилиндрическим затвором. В Крыму на Салгирской оросительной системе (площадь орошения 8000 *га*) построено три гасителя напора конструкции, показанной на рисунке 65. Такой гаситель напора на расход 1400 *л/сек* состоит из железобетонного резервуара емкостью 49 $м^3$, автоматически действующего поплавкового клапана, аварийного сброса и подводящего металлического трубопровода диаметром 600 *мм*.

Резервуар поставлен так, чтобы горизонт воды в нем не превышал фиксированной отметки (1,45 *м* над поверхностью земли). Последнее достигается автоматическим клапаном, который при горизонте воды в резервуаре выше 0,2 *м* над поверхностью земли начинает прикрывать выходное отверстие напорного трубопровода и при горизонте 1,45 *м* полностью закрывает его. При понижении уровня воды в резервуаре поплавковый клапан автоматически приоткрывает отверстие в подводящей трубе, а при отметке 0,2 *м* над поверхностью земли полностью открывает его.

Затвор соединен при помощи системы рычагов с поплавком. Назначение последнего — открывать и закрывать затвор, регулируя расход. Это была первая попытка оборудовать закрытые самотечно-напорные оросители системы сооружениями такого типа.

Конструкции этих сооружений, как показал опыт эксплуатации, имеют следующие недостатки.

Гаситель напора полностью гасит напор, создавшийся в вышележащем трубопроводе, а в нижележащем трубопроводе напор создается вновь за счет естественного уклона местности. Поэтому, чтобы образовавшегося напора было достаточно для выхода воды из подзем-

ного трубопровода на поверхность, первый гидрант-водовыпуск ставят на довольно большом расстоянии (300 *м*) от гасителя. Чтобы приблизить гидрант-водовыпуск к гасителю напора, успокоительный колодец поднимают над поверхностью земли и значительно увеличивают диаметр нижележащего трубопровода по сравнению с диаметром вышележащего. Так, например, на Салгирской системе диаметр вышележащего трубопровода 762 *мм*, а нижележащего 960 *мм*. Все это привело к тому, что гаситель напора получился очень громоздким, и поэтому большой объем строительных работ.

Большие габариты сооружения обусловливаются принципом работы сооружения. Весь расход трубопровода (1400 *л/сек*) под сравнительно большим давлением (3—4 *ат*) поступает в успокоительный колодец, где гасится энергия потока. Успокоившись и потеряв всю энергию, вода снова поступает в нижележащий трубопровод. В воде, поступающей в нижележащий трубопровод, не должно быть воздуха, так как поступление его в трубопровод недопустимо. В связи с этим размеры успокоительного колодца еще увеличиваются.

Конструкция цилиндрического затвора с поплавком в существующем гасителе довольно громоздка и сложна. Усилие от поплавка на рабочий орган затвора (на цилиндр) передается при помощи системы рычагов, имеющих три оси, вокруг которых происходит вращение и качание. Сам цилиндр дополнительно еще имеет четыре пары роликов, которые движутся по специальным направляющим. Все эти движущиеся, вращающиеся и трущиеся части находятся в воде, и поэтому они подвержены коррозии и часто выходят из строя.

Эксплуатация гасителей напора на трубопроводах Салгирской оросительной системы показала, что они нередко вызывают в трубопроводах гидравлические удары, от которых разрушаются трубы. Это происходит в тех случаях, когда в затвор попадает песок, трава, мусор и его заклинивает. Движение цилиндра приостанавливается, вода из колодца продолжает поступать в нижележащий трубопровод, и поплавок оказывается выше уровня воды в колодце. В это время на цилиндр действует максимальное усилие, происходит срыв цилиндра, и мгновенно затвор открывает трубопровод, а

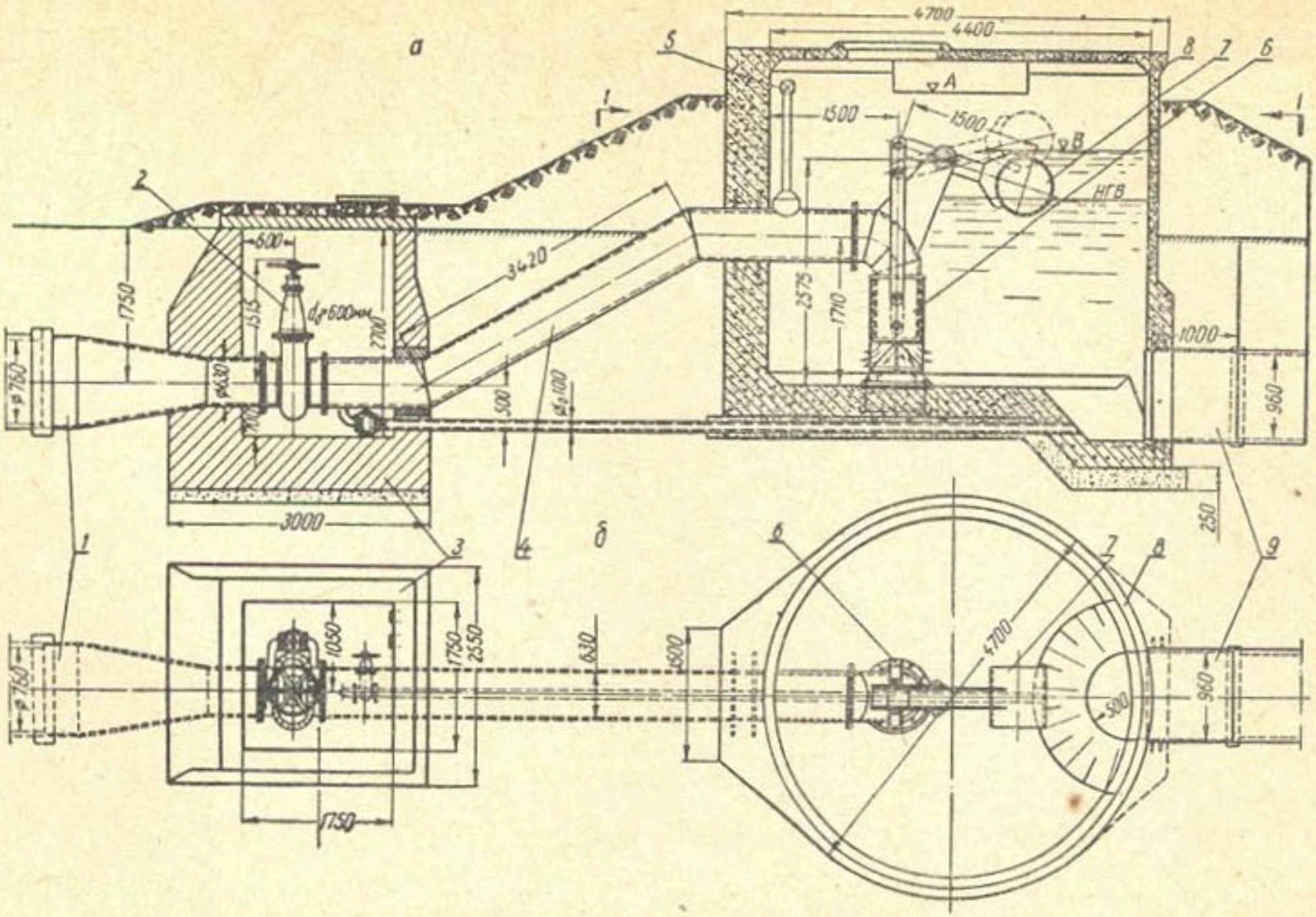


Рис. 65. Гаситель напора с цилиндрическим затвором:

а — разрез по оси сооружения; *б* — план; *1* — вышерасположенный трубопровод; *2* — задвижка; *3* — сухой колодец; *4* — металлическая подводящая труба; *5* — вантуз; *6* — цилиндрический затвор; *7* — поплавок; *8* — успокоительный колодец; *9* — нижерасположенный трубопровод. ▽ *А* — порог сброса; ▽ *В* — горизонт полного закрытия клапана.

иногда по той же причине резко закрывает его. В том и другом случае в трубопроводе возникает гидравлический удар, причем величина его часто превышает допустимую.

Несмотря на недостатки, такие гасители можно рекомендовать на расходы 600 *л/сек* и больше.

Гасители напора с дроссельным затвором. В настоящее время при расходах до 500 *л/сек* применяют гасители напора с дроссельным поплавковым клапаном (рис. 66).

Когда в трубопроводе, расположенном ниже гасителя напора, начинается разбор воды для полива, то вода из колодца *4* поступает в трубопровод *5*. Уровень воды в колодце понижается, поплавок, опускаясь, открывает дроссельный затвор, и вода поступает в нижерасположенный трубопровод. Если в этом трубопроводе прекращается разбор воды, она поступает через конусный патрубок *3* в колодец и поднимает поплавок *2* вверх до тех пор, пока он не поднимется до крайнего верхнего положения, при котором дроссель полностью перекроет сечение трубопровода. Таким образом, нижерасположенный трубопровод автоматически отключается и статическое давление на него не передается. Гасители такого типа построены на самотечно-напорных трубопроводах в Таджикской части Голодной степи в зоне канала ТМ-2; затвор этой конструкции более совершенный, чем предыдущей. Действующие на затвор в закрытом положении закрывающие и открывающие усилия примерно одинаковы. Поэтому поплавок получается меньших размеров. Конструкция поплавка довольно проста, так как он имеет один рычаг и одну ось.

Данные для проектирования колодца:

расход, $м^3/сек$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
диаметр колодца, *м* . .	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0	3,0
минимальная глубина *h*, обеспечивающая гашение потока в колодце, *м*	1,2	2,0	2,5	2,8	3,1	3,5	3,9	3,7	4,0	4,4

Однако в целом сооружение получается еще громоздким, так как вся вода поступает в колодец, где гасится ее энергия. Принцип работы тот же, что и гасителя с цилиндрическим затвором, поэтому и недостатки те же.

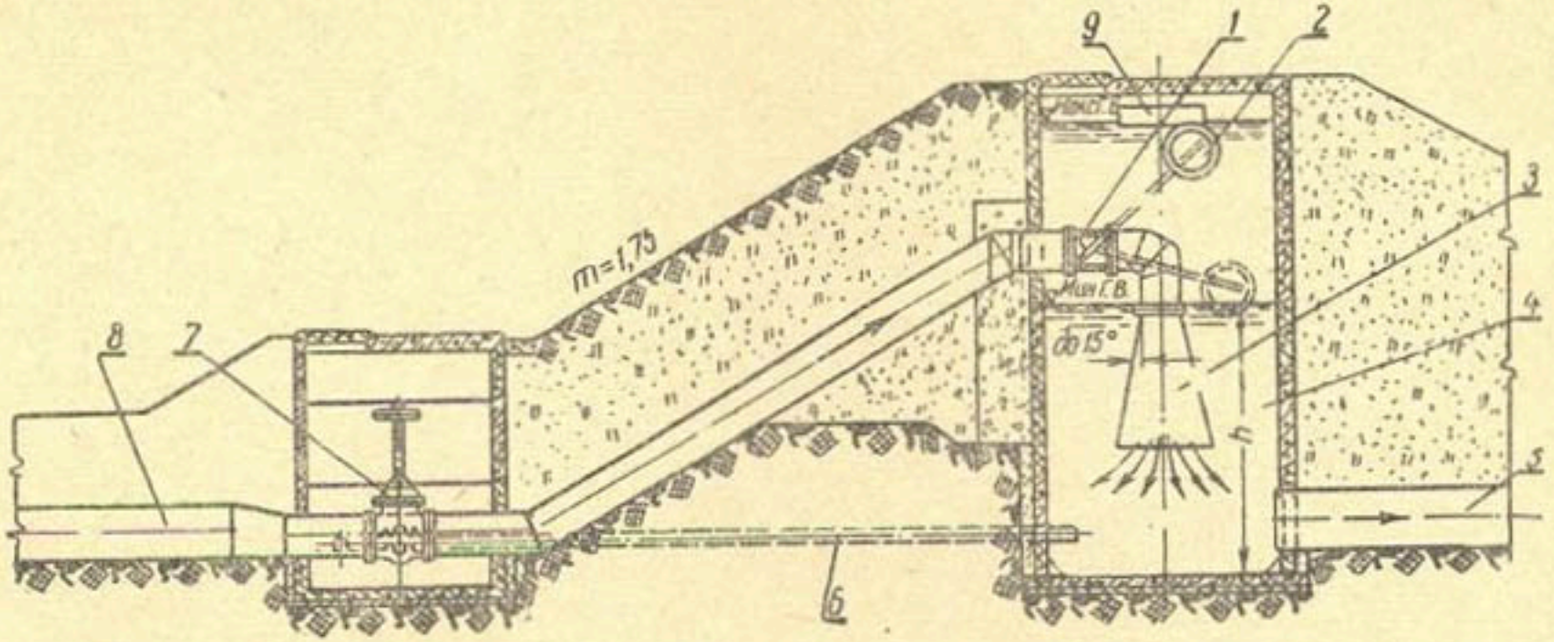


Рис. 66. Гаситель напора с дроссельным затвором:

1 — дроссельный затвор; *2* — поплавок; *3* — конусный выходной патрубок; *4* — колодец; *5* — нижерасположенный трубопровод; *6* — водовыпускная труба; *7* — задвижка; *8* — вышерасположенный трубопровод; *9* — водосливное отверстие.

Гасители напора с патрубком-отводом. Принцип работы гасителя и его конструкция. Для подземных трубопроводов оросительных систем нами разработан [4], испытан и в настоящее время внедряется автоматический гаситель напора нового типа. Он работает по другому принципу и не имеет недостатков существующих гасителей.

Гаситель напора (рис. 67) состоит из автоматически действующего дроссельного клапана *2*, патрубка-отвода *3* и колодца *4*.

Когда в нижерасположенном трубопроводе (в трубопроводе, находящемся по уклону местности ниже гасителя) прекращается разбор воды, последняя поступает через отвод *3* в колодец и поднимает поплавок клапана *2* до крайнего верхнего положения, при котором дроссель полностью перекрывает сечение трубопровода. Таким образом автоматически отключается нижерасположенный трубопровод и прекращается поступление воды в колодец. Если из трубопровода забирают воду для полива или для других нужд, то она из колодца *4* начинает поступать в трубопровод через патрубок *3*. Уровень воды в колодце понижается, поплавок, опускаясь, открывает дроссель, и вода поступает в нижерасположенный трубопровод. Уровень воды в колодце понижается до тех пор, пока расход, проходящий через затвор, не станет равным расходу нижерасположенного трубопровода. При уменьшении расхода в нижерасположенном трубопроводе уровень воды в колодце повышается, поднимая поплавок, который прикрывает дроссель, уменьшая поступление воды через затвор. Так автоматически регулируется подача воды.

Таким образом, в предлагаемой конструкции расход, подаваемый из вышерасположенного трубопровода, не поступает в колодец, как в существующей конструкции, применяемой на асбестоцементных трубопроводах, а проходит транзитом в нижерасположенный трубопровод. При этом поток гасит не всю энергию. Сохраняется скоростной напор $\frac{v^2}{2g}$. Это позволяет не увеличивать диаметр нижерасположенного трубопровода, как в существующей конструкции, а оставлять его равным или несколько больше диаметра вышерасположенного трубопровода. Размеры колодца определяют конструктив-

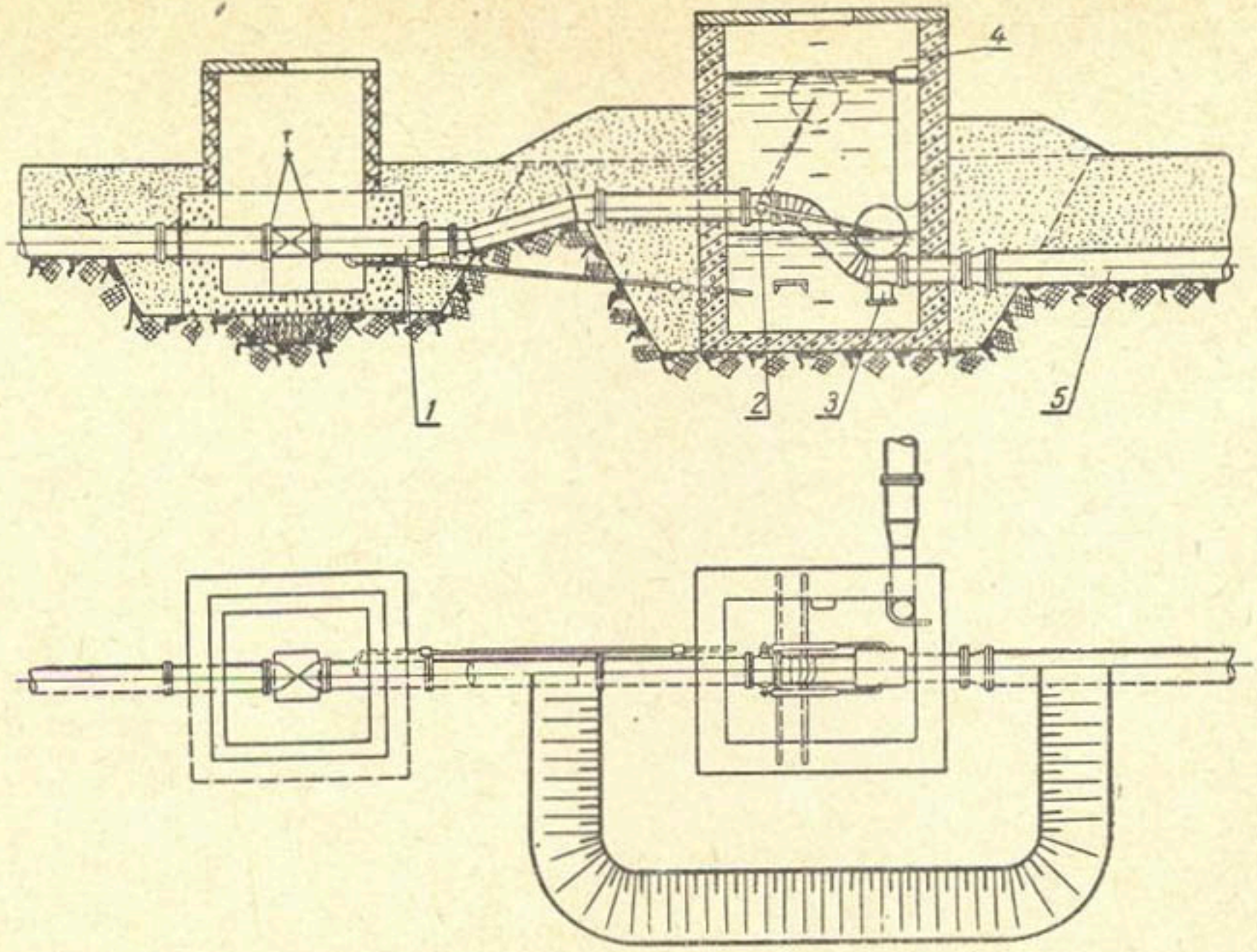


Рис. 67. Гаситель напора с патрубком-отводом:
1 — вышерасположенный трубопровод; *2* — дроссельный клапан; *3* — патрубок-отвод; *4* — колодец; *5* — нижерасположенный трубопровод.

но. Они должны быть такими, чтобы в колодце можно было установить дроссельную задвижку и поплавок. При этом колодец получается значительно меньших размеров, чем колодец существующих конструкций.

Применение такого типа сооружений позволит значительно уменьшить затраты материалов и средств на строительство и улучшить водообеспеченность прилегающих к сооружению гидрантов-водовыпусков.

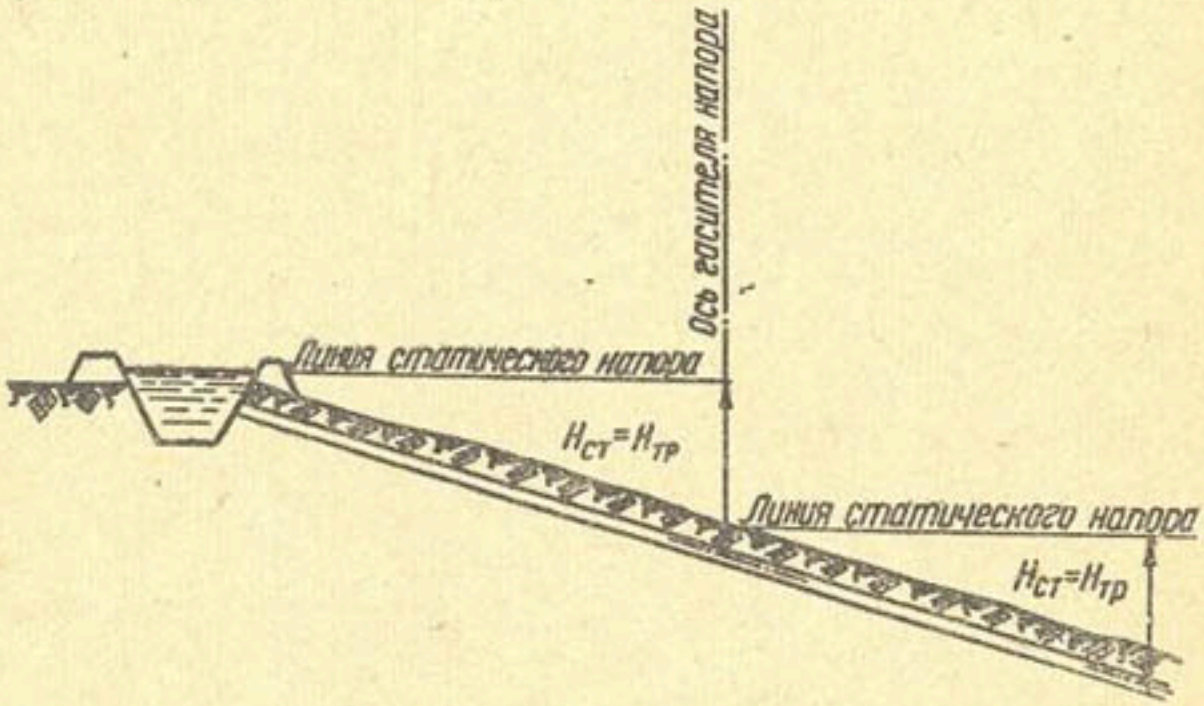


Рис. 68. Схема к определению места установки гасителя напора:
$H_{ст}$ — статический напор; $H_{тр}$ — допустимый рабочий напор для данных труб.

На опытном участке орошения в Таджикской части Голодной степи (ТМ-2, Х-1-1) построено два таких гасителя напора. Проведенные полевые исследования этих сооружений показали, что они надежны в работе и не имеют недостатков гасителей с цилиндрическим и дроссельным затвором.

Метод расчета автоматического гасителя напора с патрубком-отводом. При проектировании необходимо выполнить следующие гидравлические и статические расчеты.

1. Определить места установки гасителей напора на подземном транспортирующем трубопроводе.

Гаситель напора устанавливают в той точке подземного трубопровода, где статический напор равен допускаемому рабочему давлению для данных труб (рис. 68). Из рисунка видно, что линия статического напора трубо-

провода получается ступенчатой. Статический напор в месте установки гасителя падает до нуля. За гасителем напор в трубопроводе создается вновь за счет естественного уклона местности.

2. Определить напор, необходимый для транспортирования воды от колодца гасителя до выпуска из первого гидранта.

При транспортировании воды участок трубопровода перед гасителем работает под гидродинамическим напором, который образовался за счет уклона поверхности земли от водозабора до гасителя. Этот напор обычно превышает требуемый напор на гидранте перед гасителем. После гасителя трубопровод работает под напором, создаваемым уровнем воды в колодце и скоростным напором.

Первый от гасителя гидрант ставят на расстоянии примерно 120 *м*. Напор, создаваемый за счет уклона поверхности земли, небольшой — 0,6—1,2 *м*. Поэтому нужно обязательно определять потребный напор H для транспортирования потока от гасителя до первого гидранта и ставить гаситель на отметке, которая обеспечит этот напор при проектном расходе трубопровода. Обеспеченность напором последующих гидрантов определяется путем построения графика гидродинамического напора.

Потребный напор H (рис. 69) можно определить по следующей зависимости.

$$H = h_w + \Sigma h_{\text{мест}} + h_{\text{св}} - i_{\text{п}} l - \frac{v^2}{2g}, \qquad (59)$$

где h_w — потери напора по длине трубопровода от патрубка-отвода гасителя до первого гидранта;

$\Sigma h_{\text{мест}}$ — местные потери напора в трубопроводе на том же участке;

$h_{\text{св}}$ — свободный напор на гидранте;

$i_{\text{п}}$ — уклон поверхности земли на том же участке;

l — расстояние между гасителем напора и первым гидрантом в горизонтальной проекции;

$\frac{v^2}{2g}$ — скоростной напор при проектном расходе подземного трубопровода.

3. Определить отметку уровня воды в колодце гасителя напора при проектном расходе подземного трубопровода.

После определения напора H, необходимого для транспортирования воды от колодца гасителя до выпуска из первого гидранта, определяют отметку уровня

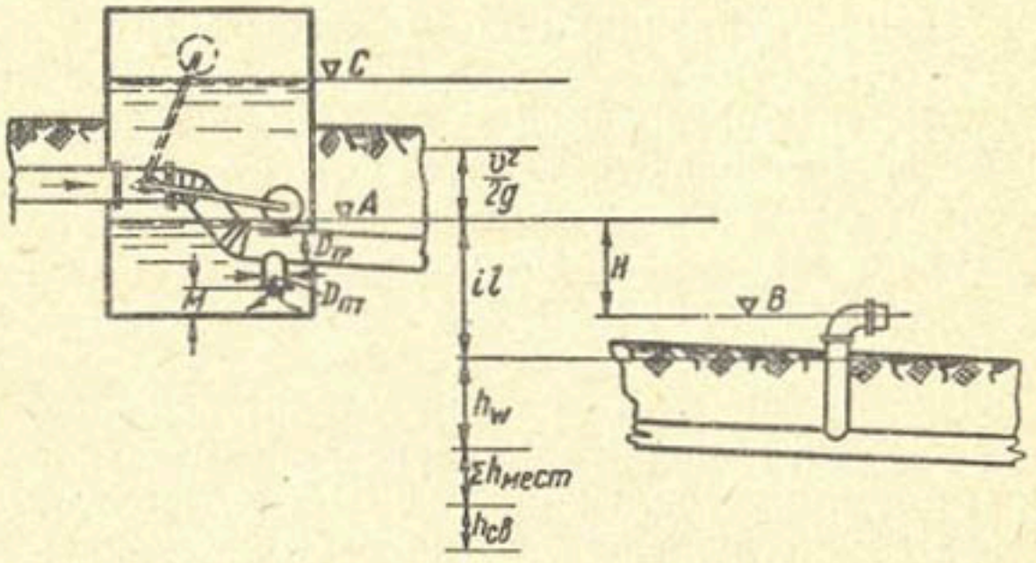


Рис. 69. Схема к гидравлическому расчету:
▽A — рабочий горизонт; ▽B — ось водовыпускного патрубка; C — горизонт полного закрытия клапана.

воды в колодце гасителя ▽A (рис. 69) при пропуске проектного расхода. Эта отметка оси равна отметке водовыпускного патрубка ▽B плюс напор H, определенный по (59).

$$\nabla A = \nabla B + H. \qquad (60)$$

Определив отметку ▽A, можно привязать все сооружение.

4. Установить диаметр трубопровода, проходящего через колодец гасителя.

Диаметр трубопровода принимается равным диаметру дроссельного затвора. Последний устанавливают в зависимости от пропускной способности затвора. Обычно гидродинамического напора перед дросселем достаточно, чтобы пропустить расход со скоростью 3—4 *м*. Приняв такую скорость, проверяют дроссельный затвор на пропуск заданного расхода.

5. Установить диаметр патрубка-отвода.

Диаметр патрубка-отвода $D_{пт}$, как показали лабораторные исследования, может находиться в пределах 0,25—1 диаметра трубопровода $D_{тр}$. Патрубок-отвод таких диаметров обеспечивает регулирование горизонта воды в колодце при изменении расхода в нижерасположенном трубопроводе. Исходя из конструктивных соображений, принимаем:

$$D_{пт}=(0{,}5-0{,}75)D_{тр}\,.$$

6. Рассчитать поплавок дроссельного затвора.

При расчете поплавка определяют объем поплавка и длину рычага (тяги), соединяющего поплавок с осью

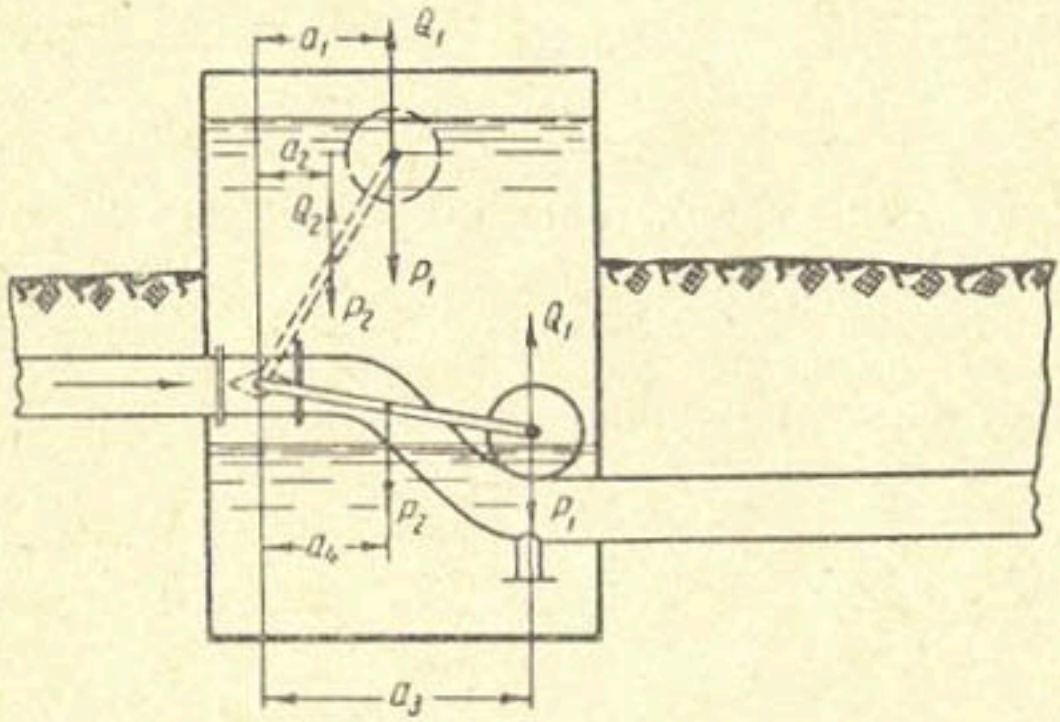


Рис. 70. Схема к расчету поплавка дроссельного затвора.

дросселя (рис. 70). Эти расчеты нужно выполнить для двух положений поплавка — при закрытом клапане и когда дроссельный клапан находится в горизонтальном положении (при пропуске максимального расхода).

Силы, направленные вниз: P_1 — вес поплавка, P_2 — вес рычага.

Силы, направленные вверх: $Q_1=V_1\gamma$ — подъемная сила поплавка, где V_1 — объем поплавка; $Q_2=V_2\gamma$ — подъемная сила рычага, погруженного в воду, где V_2 — объем рычага.

Момент сил, удерживающих клапан в закрытом состоянии:

$$Q_1 a_1 = M_1$$

$$\frac{Q_2 a_2 = M_2}{M_{уд} = \Sigma M}$$

Момент сил, открывающих клапан (движущих поплавок вниз):

$$P_1 a_1 = M_1$$

$$\frac{P_2 a_2 = M_2}{M_{дв} = \Sigma M}$$

Соотношение удерживающего и открывающего (движущего) моментов:

$$K_1 = \frac{M_{уд}}{M_{дв}} \approx 1{,}5 . \qquad (61)$$

Момент сил, удерживающих дроссель в горизонтальном положении:

$$Q_1 a_3 = M_{уд} .$$

Момент сил, движущих поплавок вниз:

$$P_1 a_3 = M_1$$

$$\frac{P_2 a_4 = M_2}{M_{дв} = \Sigma M}$$

Соотношение моментов — удерживающего и движущего:

$$K_2 = \frac{M_{уд}}{M_{дв}} \approx 1{,}5 . \qquad (61а)$$

Дроссельный затвор с поплавком, как показали лабораторные испытания, работает устойчиво, если коэффициенты K_1 и K_2 не менее 1,5. Исходя из этого условия, определяют объем поплавка и длину рычага.

7. Определить сбросной расход из колодца при закрытом клапане.

В настоящее время выпускаемые нашей промышленностью дроссельные затворы не имеют герметического уплотнения. Поэтому при закрытом дросселе вода будет фильтровать через затвор и наполнять колодец. Необходимо воду, профильтровавшуюся в колодец из дрос-

селя, сбросить. Сбросной расход будет равен расходу утечки через закрытый затвор.

Расход утечки можно определять по формуле, полученной нами при исследованиях такого типа клапана:

$$P = \frac{\sqrt{H}}{3{,}6} 2\%, \qquad (62)$$

где P — процент утечки проектного расхода через закрытый дроссельный клапан типа ВТ-688;

H — напор в трубопроводе, *м вод. ст.*

По проценту утечки P определяют величину сбросного расхода.

8. Размеры колодца определяют конструктивно. Их принимают такими, чтобы в колодце можно было поместить дроссельный затвор с поплавком, патрубок-отвод и отверстие для сброса профильтровавшейся воды, а также свободно проводить монтажные и демонтажные работы.

Длину патрубка-отвода можно принимать в пределах 10—20 *см*, расстояние от патрубка до дна колодца — 10—15 *см*.

При внутреннем давлении в трубопроводах до 2,5 *ат* можно принимать типовой дроссельный клапан, например типа ВТ-688 (институт Водоканалпроект).

Если напор в трубопроводе больше 2,5 *ат*, следует, не меняя конструкции клапана в целом, усилить отдельные узлы, а именно: а) увеличить толщину дросселя и рычагов поплавка; б) конструкцию крепления поплавка с осью дросселя заменить шлицевым соединением.

Гидрант-водовыпуск с гасителем напора для подачи воды в гибкие поливные трубопроводы. Для работы гибких поливных трубопроводов (шлангов) требуется напор на гидранте 1—2 *м*. При этом напор должен быть постоянный. Шланги выдерживают давление до 5 *м вод. ст.*, а в подземных транспортирующих трубопроводах внутреннее давление может доходить до 30, а иногда и до 50 *м вод. ст.* Поэтому на каждом гидранте следует устанавливать специальное приспособление (гаситель напора), которое снимало бы излишний напор и в то же время поддерживало в поливном трубопроводе постоянный напор.

Конструкция такого гасителя напора показана на рисунке 71. Гаситель состоит из вертикальной трубы

диаметром 200—300 *мм*, длиной 1,5—2,0 *м*, через нее проходит горизонтальная труба, которая одним концом соединена с гидрантом, а другим — с поливным трубопроводом. На этой трубе установлен патрубок-отвод, соединяющий ее с вертикальной.

Патрубок-отвод имеет диаметр 0,5—0,75 диаметра горизонтальной трубы. Поток из гидранта, проходя по

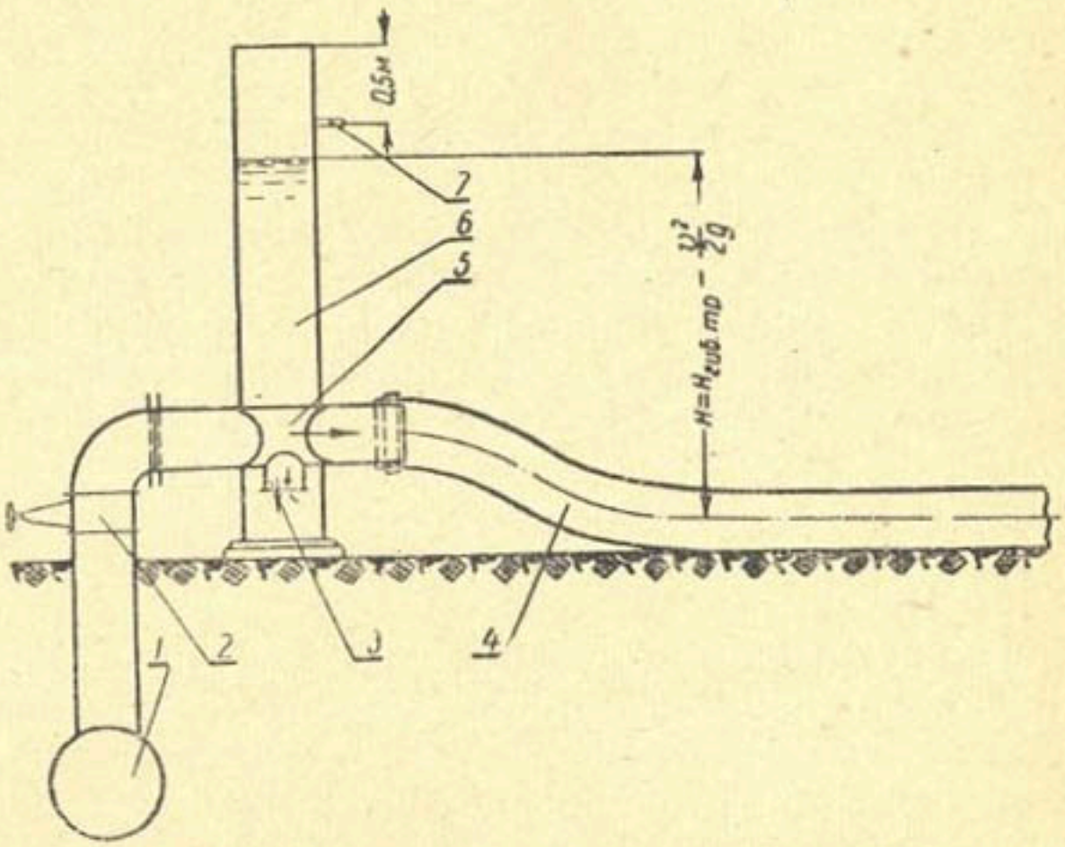


Рис. 71. Схема гидранта-водовыпуска с гасителем напора для подачи воды в гибкий поливной трубопровод:

1 — подземный трубопровод; *2* — задвижка на стояке гидранта; *3* — патрубок-отвод; *4* — гибкий поливной шланг; *5* — горизонтальная труба; *6* — вертикальная труба; *7* — сигнальная трубка.

горизонтальной трубе, через патрубок-отвод поступает в вертикальную трубу и наполняет ее до уровня, при котором достаточно напора для транспортирования воды по гибкому поливному шлангу. При этом уровне напор, создаваемый в вертикальной трубе, равен потерям напора в поливном трубопроводе, поэтому поток больше не идет в патрубок-отвод, а транзитом проходит через горизонтальную трубу в гибкий поливной трубопровод, сохраняя скоростной напор. Расход, подаваемый в гибкий поливной трубопровод, регулируют задвижкой, установленной на стояке гидранта-водовыпуска.

Патрубок-отвод соединяет горизонтальный трубопровод с атмосферой, поэтому в гибкий поливной трубопровод передается не весь напор подземного трубопровода $H_{гид}$.

Напор в гибком поливном трубопроводе складывается из напора в вертикальной трубе H и скоростного напора $\frac{v^2}{2g}$, где v — скорость потока в горизонтальной трубе гасителя. Остальной напор h гасится задвижкой, установленной перед гасителем напора.

$$H_{гид} - h = H + \frac{v^2}{2g}. \qquad (63)$$

Правая часть этого уравнения равна величине гидравлических потерь напора $H_{гиб.\,тр}$ в поливном трубопроводе:

$$H + \frac{v^2}{2g} = H_{гиб.\ тр}, \qquad (64)$$

отсюда:

$$H = H_{гиб.\ тр} - \frac{v^2}{2g}. \qquad (65)$$

Конструкция такого гасителя напора проста и компактна, поэтому его можно изготовить в любом хозяйстве.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И МОНТАЖНЫЕ РАБОТЫ ПРИ СООРУЖЕНИИ ЗАКРЫТЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

ПРИНЦИПЫ ТРАССИРОВАНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

При выборе трассы трубопровода стремятся к тому, чтобы обеспечивался свободный доступ к трубопроводу как при его строительстве, так и при эксплуатации; число пересечений трубопровода с железнодорожными линиями, шоссе и дорогами было минимальным; чтобы обеспечивались спуск воды и выпуск из труб воздуха.

Не следует допускать значительных переломов в профиле трубопровода, так как они вызывают в трубах и основании дополнительные напряжения, для восприятия которых нужны специальные сооружения. Кроме того, в точках перегиба профиля трубопровода накапливаются выделившиеся из воды воздух и пар, уменьшающие расчетное поперечное сечение трубопровода и его пропускную способность. При значительных скоплениях воздуха и пара могут возникать гидравлические удары, расшатывающие стыки и выводящие из строя отдельные трубы.

Если закрытую оросительную сеть намечают использовать также и для водоснабжения, то трасса трубопроводов должна удовлетворять всем санитарным требованиям.

При пересечении трубопроводов закрытой оросительной сети с другими трубопроводами вертикальное расстояние между ними принимают не менее 0,2 *м*.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В СТЕНКАХ ТРУБОПРОВОДОВ

Напряжения, возникающие в стенках труб, можно определять по энергетической теории прочности [5]. Согласно этой теории, общая величина действующих в стенках трубы напряжений равна:

$$\sigma_0 = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - (\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)} \ кгс/см^2. \quad (66)$$

где σ_1 — кольцевые напряжения от внутреннего и внешнего давления;

σ_2 — продольные напряжения, возникающие преимущественно вследствие изменения температуры;

σ_3 — радиальные напряжения от внутреннего давления.

Кольцевые напряжения σ_1 определяются по уравнению:

$$\sigma_1 = \frac{pD}{2\delta} + \frac{6M}{\delta} \ кгс/см^2, \quad (67)$$

где p — внутреннее давление, *кгс/см²*;

D — расчетный диаметр трубы, *см*;

δ — толщина стенки, *см*;

M — изгибающий момент, появляющийся в результате давления грунта и подвижной нагрузки, *кгс/см*.

Продольные напряжения σ_2 в трубах, полностью защемленных грунтом, равны:

$$\sigma_2 = \alpha E(t_{св} - t_э) \ кгс/см^2, \quad (68)$$

где α — коэффициент линейного расширения материала трубы;

E — модуль упругости материала трубы;

$t_{св}$ — температура при сварке;

$t_э$ — температура при эксплуатации.

Напряжения σ_2 возникают в сварных трубах. В трубах с несварными стыковыми соединениями их практически нет.

Радиальные напряжения σ_3 невелики, поэтому при практических расчетах их можно не учитывать.

В результате для труб с несварными стыковыми соединениями получаем:

$$\sigma_0 = \sigma_1. \quad (69)$$

Величина кольцевых напряжений σ_1, определенных по формуле (67), зависит от рода нагрузок, от диаметра и толщины стенок труб. Величина давления грунта связана с глубиной прокладки и в большой степени зави-

сит от плотности и величины отпора окружающего грунта, а также от вида основания.

Подвижные нагрузки оказывают сильное влияние на прочность труб при глубине заложения до 0,8—1 *м*. При глубине заложения от 1 до 2,5 *м* соответствующее изменение напряжений, возникающих в стенках труб малого и среднего диаметра (примерно до 500—600 *мм*), обычно составляет 3—8% общей допускаемой величины, что практического значения не имеет.

Степень уплотнения грунта, окружающего трубу (трамбовка), существенно влияет на величину напряжений. В трубах, уложенных в хорошо уплотненном грунте (с тщательной затрамбовкой пазух у основания), возникают значительно меньшие напряжения, чем в трубах, уложенных без надлежащего уплотнения пазух. Количество аварий в первом случае меньше, чем во втором.

ПРОМЕРЗАНИЕ ГРУНТОВ

Глубина промерзания грунтов зависит от внешних температур, состояния поверхности грунта, изменения его состава по глубине, влажности и прочих условий. Чем больше в грунте связанной и капиллярной воды, тем ниже температура замерзания. Это свойственно особенно мелкодисперсным глинистым грунтам. В песчаных грунтах основная часть воды переходит в лед при температуре — 0,3°, в суглинистых — при 0,6° и в глинистых — при температуре от —1 до —1,5°.

Для определения глубины промерзания грунтов (*см*) можно пользоваться формулой [3]:

$$h = 60(4P - P^2)K'' - 2h_{ср}, \qquad (70)$$

где h — глубина промерзания грунта, *см*;

$P = \frac{zT_0}{1000}$ (z — число дней с отрицательными температурами; T_0 — среднегодовая температура воздуха);

K'' — коэффициент, равный для глин 1, суглинка 1,06, супеси 1,1 и для песка 1,12;

$h_{ср}$ — средняя толщина снежного покрова за период с отрицательными температурами.

Глубина промерзания грунта может сильно отличаться от расчетной величины, так как это в значительной мере зависит от характера зимы. В короткие, но суровые зимы эта глубина больше, чем в мягкие продолжительные, даже если общее число дней с отрицательной температурой одинаково в обоих случаях. Поэтому данные о температуре грунтов следует брать по уточненным материалам наблюдений местных метеорологических станций. Эмпирическими формулами можно пользоваться лишь для предварительных расчетов.

Замерзание и оттаивание грунта иногда вызывают его пучение, которому подвержены в основном верхние слои грунта. В песчаных грунтах при их замерзании и оттаивании пучения, как правило, не наблюдается.

На глубине 1—1,25 *м* и ниже величина деформаций замерзающего и оттаивающего грунта небольшая.

Следовательно, трубопроводы закрытой оросительной сети с гибкими стыками можно прокладывать на глубине 1—1,25 *м*.

ГЛУБИНА ЗАЛОЖЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Трубопроводы закрытых оросительных систем укладывают на естественный грунт. Естественным основанием могут служить песчаные, гравелистые или глинистые грунты, а также грунты, не подверженные пучению и просадочности. Трубы в траншее укладывают на ненарушенный грунт. Для этого дно траншей зачищают до проектной отметки непосредственно перед укладкой труб (рис. 72, *а*).

В грунтах, подверженных пучению в незначительной степени, трубопроводы укладывают на песчаную подушку высотой не менее 20 *см* (рис. 72, *б*). При небольших деформациях основания песок выдавливается из-под трубы, благодаря этому труба сохраняет свое прежнее положение и не разрушается.

При укладке трубопроводов в заболоченных местах и на участках с грунтами, не выдерживающими нагрузки более 0,25 *кгс/см*^{2}, устраивают искусственное основание, чтобы уложенный на него трубопровод не давал просадок после засыпки его грунтом.

Определение глубины заложения трубопроводов представляет собой комплексную задачу, которая разрешается в результате анализа климатических и грунтовых факторов, а также исследований и расчетов, охватывающих гидравлические и статические условия работы трубопроводов.

Изменение глубины прокладки трубопроводов в большой степени влияет на стоимость работ. Поэтому

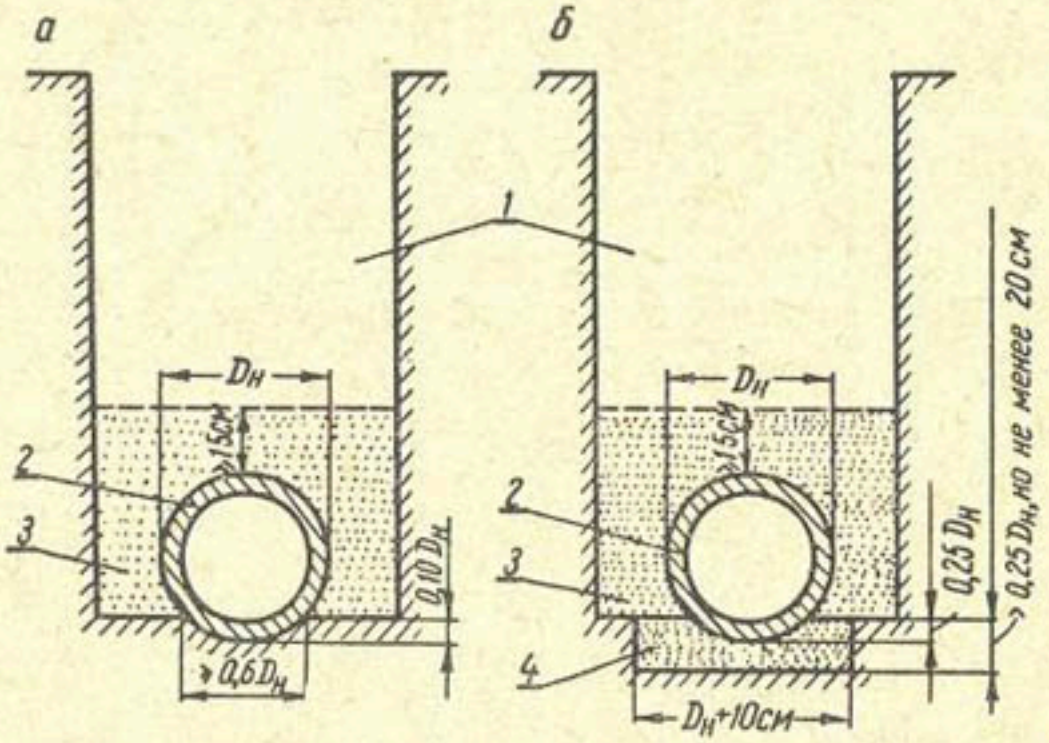


Рис. 72. Способы укладки напорных трубопроводов.

а — на естественном основании; *б* — на песчаном основании; *1* — траншея; *2* — труба; *3* — утрамбованная засыпка; *4* — песчаное основание.

при проектировании, соблюдая все технические требования, предъявляемые к трубопроводам, следует принимать минимальную глубину заложения их — 0,8—1 *м* (при этом изотерма 0° должна находиться выше трубопровода) и 1—1,25 *м* при более глубоком промерзании грунта. Если трубопровод находится ниже изотермы 0°, предусматривают опорожнение его на зимний период.

В просадочных или сильно пучинистых и болотистых грунтах глубину заложения трубопроводов определяют на основании специальных геотехнических исследований и экономических сравнений различных вариантов.

УКЛАДКА И МОНТАЖ ТРУБОПРОВОДОВ

Асбестоцементные и железобетонные трубы при погрузке, разгрузке, транспортировании или падении на твердое основание теряют до 50% первоначальной прочности. Поэтому абсестоцементные и железобетонные трубы перед укладкой в траншею подвергают гидравлическому испытанию в полевых условиях на специальном переносном стенде. При этом концы испытываемых труб закрывают заглушками, а в трубы нагнетают воду до испытательного давления.

Разбросанные по трассе асбестоцементные и железобетонные трубы трудно предохранить от повреждений и засорения. Поэтому доставлять трубы на место работы следует перед самой укладкой их в траншею.

Трубы можно хранить и на трассе трубопроводов, но в штабелях, размещаемых недалеко от траншеи. Траншеи для трубопровода оросительной сети роют многоковшовым экскаватором (рис. 73).

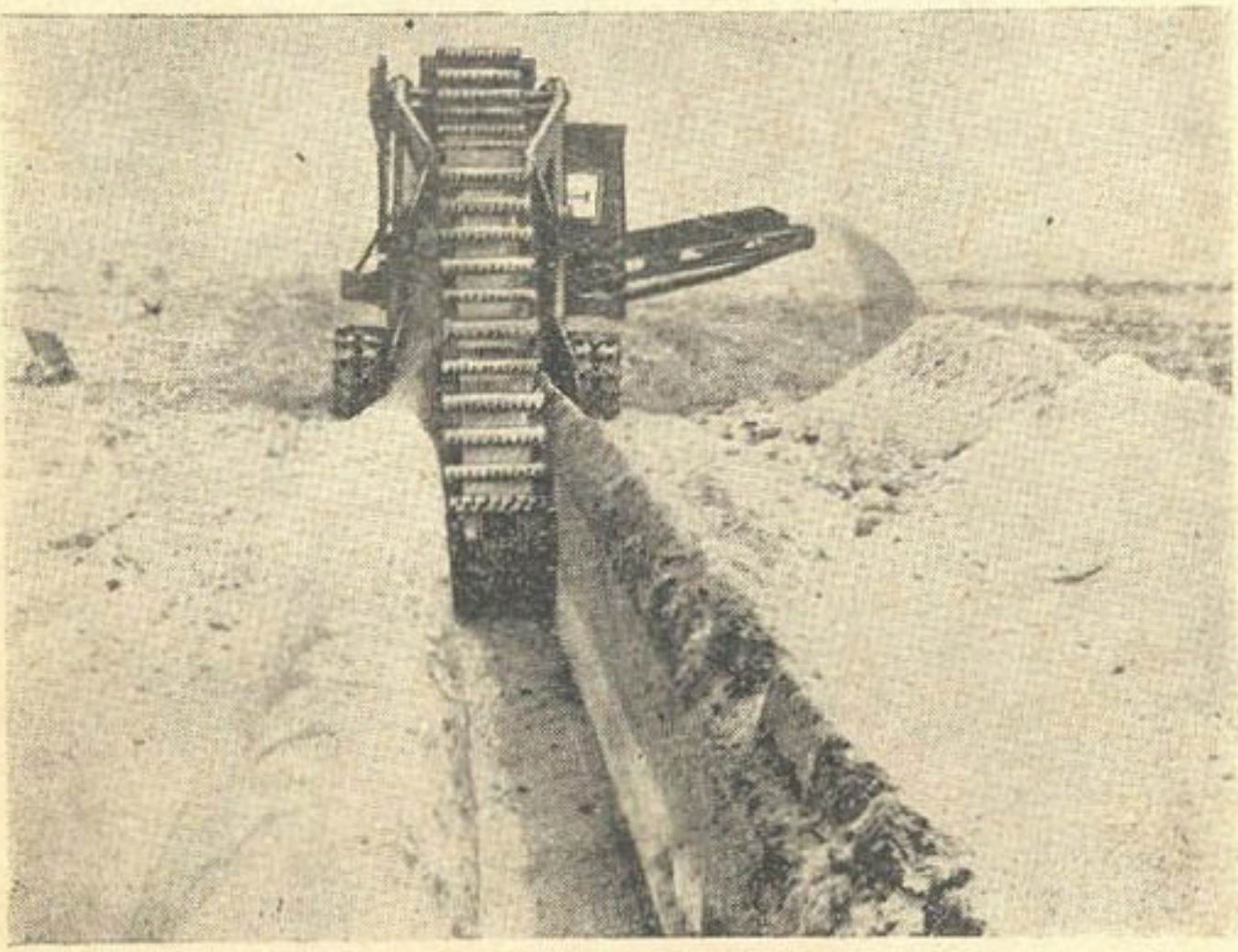


Рис. 73. Рытье траншеи для трубопровода закрытой оросительной сети многоковшовым экскаватором.

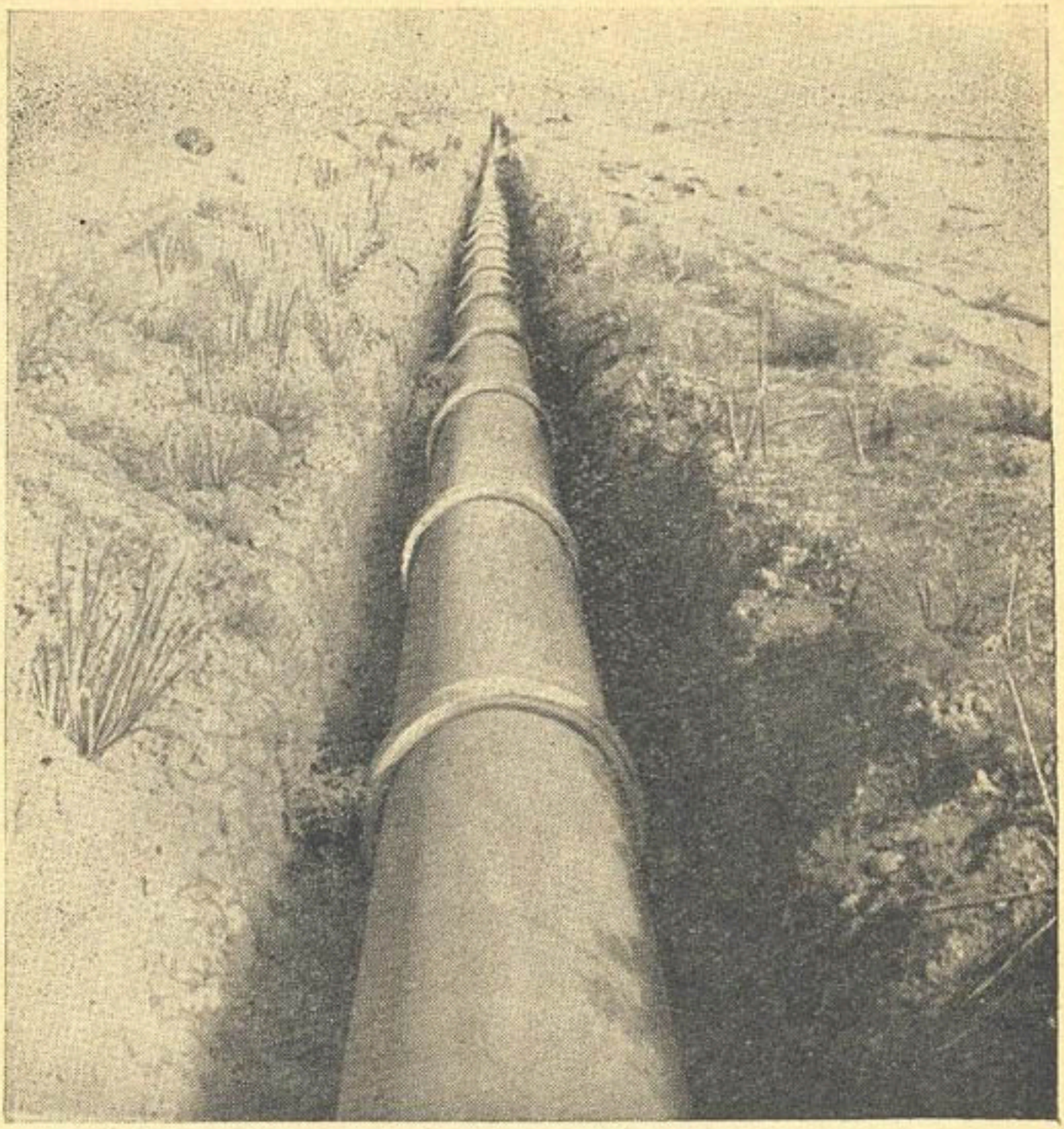


Рис. 74. Асбестоцементный трубопровод закрытой оросительной сети, уложенный в траншею (Голодная степь).

Трубы диаметром до 200 *мм* опускают в траншею вручную, а диаметром выше 200 *мм* — с помощью канатов, мягких тросов, талей, автокранов и других приспособлений. При опускании труб в траншею нужно строго следить за тем, чтобы не повредить их.

Ширину траншеи по дну для асбестоцементных и железобетонных труб принимают в зависимости от их диаметра (табл. 26).

Чтобы было удобнее выполнять работы по устройству стыковых соединений асбестоцементных труб, в дне

траншеи устраивают приямки. Ширина приямков равна ширине траншеи по дну, глубина 0,3 *м* и длина 0,6—0,7 *м*. Для монтажа стыковых железобетонных труб также предусматривают приямки, размеры которых назначают из условия свободной работы с инструментом.

Таблица 26

Ширина траншеи для асбестоцементных и железобетонных труб

Внутренний диаметр труб, *мм*	Ширина траншеи по дну, *м*	Внутренний диаметр труб, *мм*	Ширина траншеи по дну, *м*
300	0,9	800	1,7
400	1,1	900	1,8
500	1,4	1000	1,9
600	1,5	1200	2,1
700	1,6	1500	2,4

Соединение звеньев асбестоцементных труб муфтами с внутренними буртами и резиновыми кольцами осуществляют натяжными домкратами различных систем и конструкций. Наиболее распространены винтовые и рычажные домкраты.

Асбестоцементные трубы диаметром до 200 *мм* соединяют рычажными домкратами (рис. 75), а диаметром свыше 200 *мм* — винтовыми (рис. 76 и 77).

При засыпке траншей нужно соблюдать осторожность. Засыпают траншею в два приема: сначала подбивают трубопровод землей и частично присыпают его, а затем уже окончательно засыпают.

Подбивкой закрепляют трубопровод, предотвращают его просадку и сдвиг и уменьшают нагрузку, передаваемую на трубу засыпанным грунтом. Подбивку уложенного трубопровода землей и частичную присыпку его проводят сейчас же после укладки труб между гидрантами.

Трубы (кроме стыков) присыпают грунтом равномерными слоями толщиной не более 20 *см*. Грунт в пазухах между трубой и стенками траншей тщательно утрамбовывают. Последнее чрезвычайно важно с точки зрения прочности трубопровода, так как при недостаточно плотной утрамбовке в пазухах значительно повышаются напряжения в стенках трубопровода, что может привести к авариям.

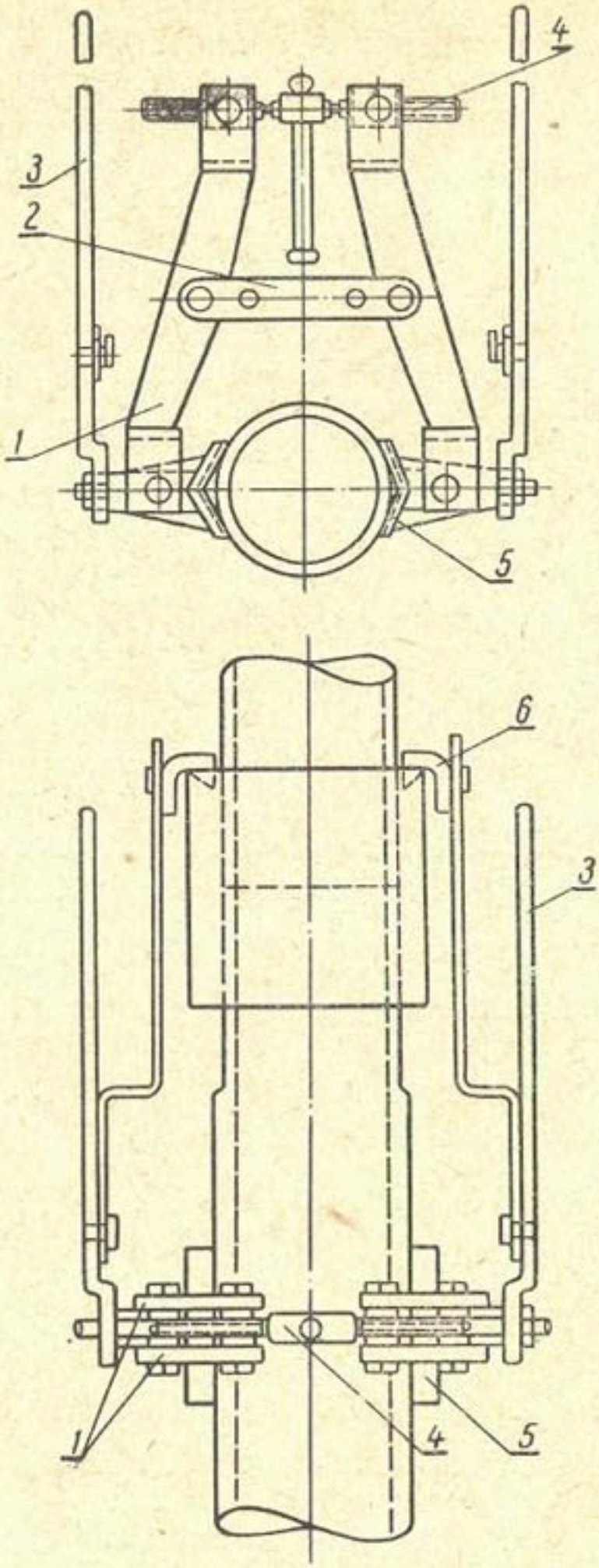


Рис. 75. Рычажный натяжной домкрат:

1 — станина; *2* — планка распорная; *3* — рычаг; *4* — винт зажимный; *5* — лапка зажимная; *6* — лапка натяжная.

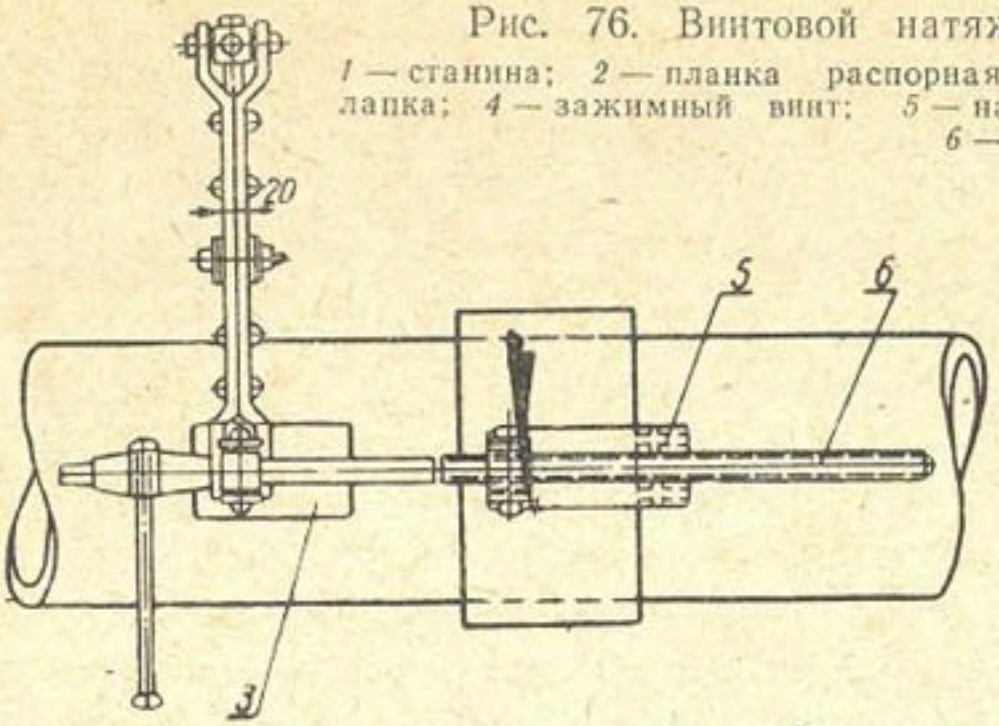
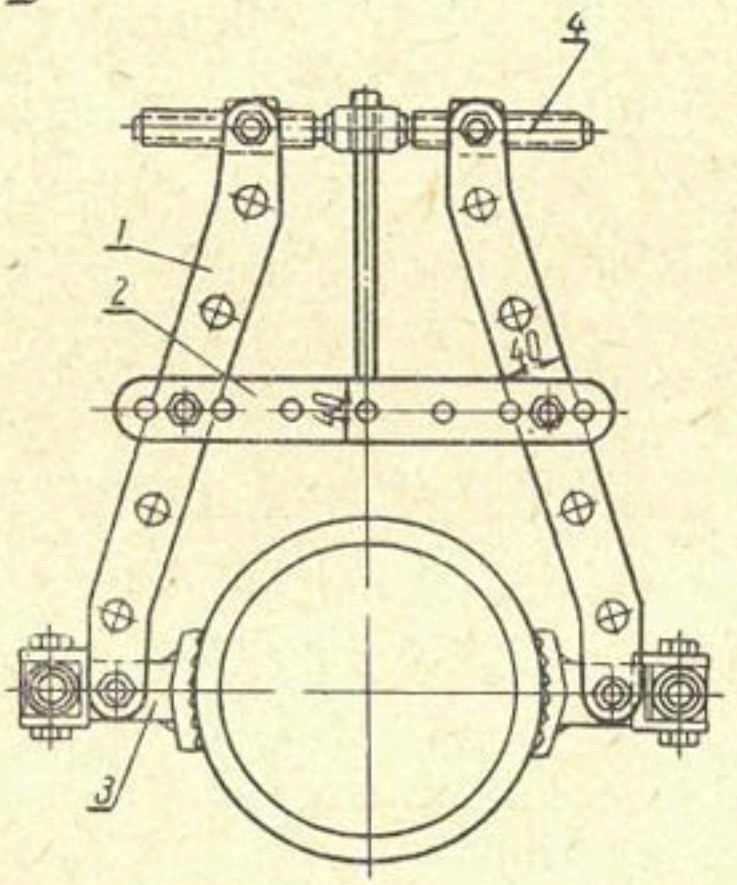


Рис. 76. Винтовой натяжной домкрат:
1 — станина; *2* — планка распорная; *3* — зажимная лапка; *4* — зажимный винт; *5* — натяжная лапка; *6* — натяжной винт.



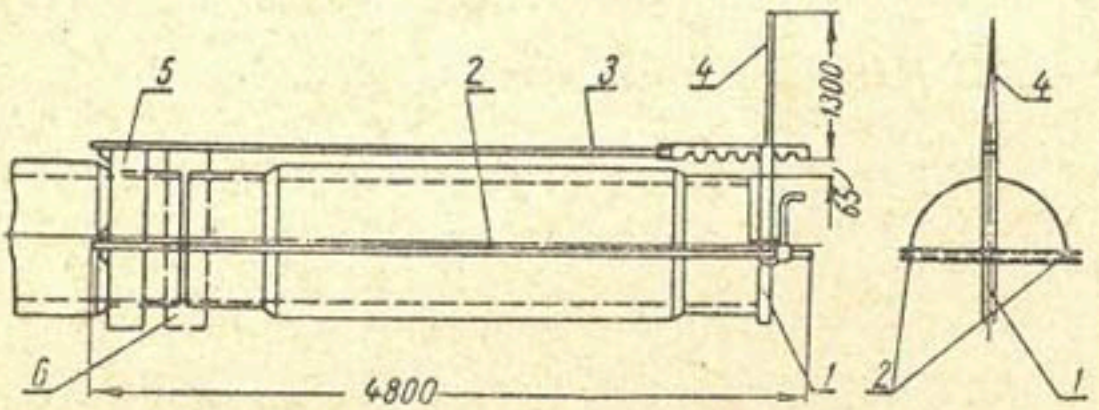


Рис. 77. Соединение труб больших диаметров винтовым домкратом:
1 — крестовина из швеллера; *2* — боковые штанги; *3* — верхняя штанга; *4* — рычаг для передвижки верхней штанги; *5* — муфта перед натяжкой; *6* — муфта после натяжки.

Нельзя уплотнять грунт над трубой трамбовками, так как можно повредить трубу.

Окончательно засыпают траншею лишь после испытания уложенного трубопровода, при этом целесообразно применять бульдозеры.

ИСПЫТАНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Трубопроводы закрытых оросительных систем перед сдачей их в эксплуатацию испытывают под давлением для проверки их прочности и герметичности. Асбестоцементные, полиэтиленовые и железобетонные напорные трубопроводы обычно подвергают двойному испытанию: предварительному — при открытых траншеях и окончательному — после засыпки траншей и завершения всех работ на данном участке.

Испытывают подземные напорные трубопроводы гидравлическим или пневматическим способом: при гидравлическом — требуемое давление в трубопроводе создают давлением воды, при пневматическом — нагнетанием воздуха.

Обычно подземные трубопроводы испытывают гидравлическим способом, и только в последнее время строители стали применять пневматический способ.

Пневматический способ испытания трубопроводов опасен для жизни обслуживающего персонала и строителей. Поэтому только при строгом соблюдении ряда мер предосторожности можно применять его.

Герметичность трубопроводов проверяют:

при предварительном испытании — осматривая находящийся под давлением трубопровод и наблюдая за падением давления по манометру;

при окончательном испытании — определяя утечку воды при гидравлическом испытании или величину падения давления при пневматическом испытании.

Испытательное давление для подземных трубопроводов принимается согласно проекту в зависимости от рабочего давления, материала, из которого сделаны трубы, условий работы трубопровода и пр.

Воду при испытаниях лучше подводить к пониженному концу наполняемого участка трубопровода, чтобы она постепенно заполняла трубопровод, вытесняя воздух.

В отдельных случаях воду можно подводить к начальному участку трубопровода. При этом, чтобы не произошло закупорки трубы скопившимся воздухом, заполнять трубопровод водой следует медленно, а если ее достаточно, то пропустить через испытываемый участок транзитный расход.

Опрессовочный узел (рис. 78) состоит из трубопровода, подводящего воду, манометров для измерения давления, мерного сосуда и вентилей для впуска и выпуска воздуха.

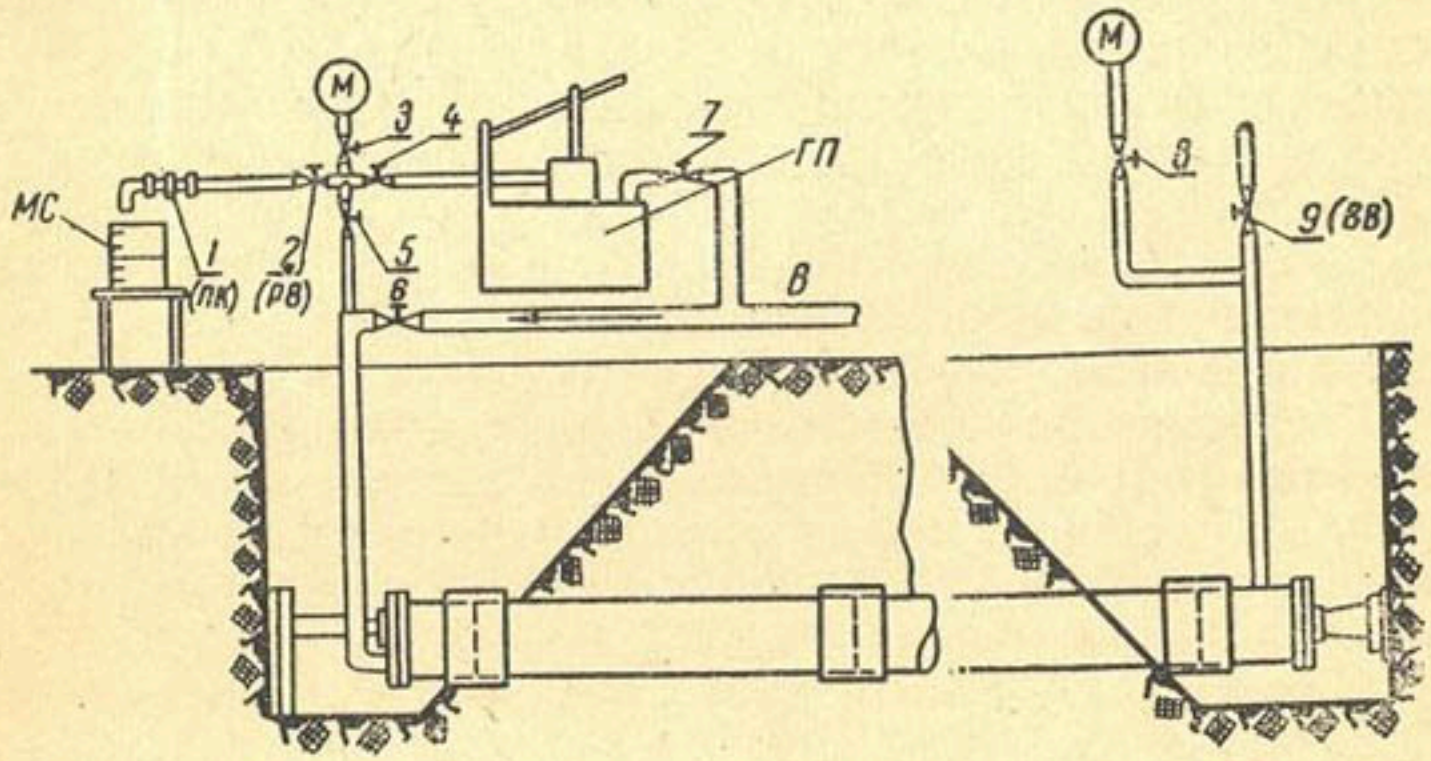


Рис. 78. Схема опрессовочного узла при гидравлическом испытании трубопроводов:

МС — мерный сосуд; *ПК* — пробочный кран; *РВ* — регулировочный вентиль; *М* — манометр; *ГП* — гидравлический пресс; *В* — водовод; *ВВ* — вентиль для выпуска воздуха. *1* — *9* — вентили.

Для наполнения испытываемого трубопровода водой открывают краны *6* и *9*, остальные краны и вентили — *1, 2, 3, 4, 5, 7, 8* — закрыты. Когда давление поднимается, открывают краны *3, 4, 5, 8* и закрывают *1, 6* и *9*. При снижении давления без дополнительной утечки должны быть открыты краны *3, 4, 5* и *8* и закрыты *1, 6* и *9*.

Манометры устанавливают в начале и в конце испытываемого участка.

Для создания давления применяют механизированные гидравлические прессы или поршневые насосы. В последнем случае устанавливают предохранительные

клапаны, чтобы давление в трубопроводе не превышало допускаемое.

Ручные гидравлические прессы применяют лишь для испытания трубопроводов малых диаметров и небольшой длины.

Предварительные испытания рекомендуется проводить на участке трубопровода длиной не более 1 *км*. Трубопровод испытывают после утрамбовки грунта в пазухах и частичной засыпки его землей — на 15—30 *см* над верхом трубы (частичная засыпка предохраняет трубопровод от смещения). Стыковые соединения оставляют открытыми, чтобы можно было наблюдать за ними. Испытание трубопровода при частичной засыпке траншеи дает возможность обнаруживать все неправильности укладки, дефекты монтажа стыковых соединений, трещины в трубах и т. п. Продолжительность испытания не менее 10 *мин*, после чего давление снижают до рабочего и осматривают трубопровод.

Трубопровод считается выдержавшим предварительное испытание, если не произошло разрыва труб и фасонных частей, не нарушились стыковые соединения, не обнаружено утечек и падение давления по манометру за 10 *мин* не превысило 0,5 *ат*.

Окончательное испытание проводят после всех работ по сооружению трубопровода на данном участке, то есть после укладки и монтажа всех труб, установки фасонных частей и арматуры, устройства колодцев, благоустройства трассы трубопровода, но не раньше чем через 24 часа после засыпки траншеи и заполнения трубопровода водой.

В зависимости от местных условий испытывают отдельный трубопровод или часть его в следующем порядке.

1. В испытываемом участке трубопровода прессом поднимают давление до требуемой нормами величины, после чего пресс отключают.

2. Фиксируют время T_1, за которое давление падает на 1 *ат*.

Для трубопроводов диаметром до 400 *мм* при падении давления за 10 *мин* не более чем на 0,5 *ат* испытание прекращают и трубопровод считают выдержавшим испытание. Если падение давления более 0,5 *ат*, то испытания продолжают.

3. Давление в трубопроводе снова поднимают до первоначального испытательного и отключают пресс.

4. Быстро открывают пробочный кран *1*, создавая дополнительную утечку, и отсчитывают время T_2 падения давления на 1 *ат*. При этом измеряют количество воды V, вытекающее за это время из крана *1*. Вентиль *2*, регулирующий интенсивность утечки воды, предварительно открывают так, чтобы количество вытекающей из него воды соответствовало допускаемой утечке из испытываемого трубопровода.

5. Утечку из трубопровода определяют по формуле:

$$q = \frac{V}{T_1 - T_2}, \qquad (71)$$

где q — утечка из трубопровода, *л/мин*;

V — объем воды, вытекающей из трубопровода через пробочный кран *1* за время падения давления на 1 *ат*, *л*;

T_1 — время падения давления на 1 *ат* без дополнительной утечки, *мин*;

T_2 — то же, при дополнительной утечке.

Асбестоцементные трубопроводы считают пригодными к эксплуатации, если утечка воды на 1 *км* длины его при испытании не превышает величин, указанных в таблице 27.

Таблица 27

Допускаемая утечка воды при гидравлическом испытании асбестоцементных трубопроводов

Внутренний диаметр труб, *мм*	Допускаемая величина утечки на 1 *км* длины трубопровода, *л/мин*	Внутренний диаметр труб, *мм*	Допускаемая величина утечки на 1 *км* длины трубопровода, *л/мин*
100	1,4	500	3,14
125	1,56	600	3,44
150	1,72	700	3,7
200	1,98	800	3,96
300	2,42	900	4,2
400	2,8	1000	4,42

Результаты испытания фиксируют актом, в котором указывают первоначальное давление, величину утечки воды, обнаруженные дефекты и способы их устранения.

ДЕФЕКТЫ АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ И МЕТОДЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

При гидравлических или пневматических испытаниях трубопроводов выявляются дефекты монтажа трубопровода, труб, муфт и резиновых колец.

Наиболее характерные дефекты:

сплющивание резиновых колец в двухбуртной муфте и потеря ими эластичности;

выпирание колец из муфт при повышении давления в трубопроводе;

неправильное положение колец в муфтах;

разрывы, каверны, трещины, выявляемые в трубах при повышении давления в трубопроводе;

неправильная (волнообразная) обточка концов труб или верхней поверхности двухбуртных муфт;

трещины и отломы концов труб, выявляемые при повышении давления в трубопроводе;

неправильное положение соединительной муфты на стыке, перекос при поднятии давления в трубопроводе;

просадка труб или искривление оси трубопровода по вертикали.

Сплющивание резиновых колец в двухбуртной муфте происходит из-за неудовлетворительной вулканизации резины. Резиновые кольца при вулканизации приобретают нужную эластичность, от которой зависят условия прохождения их через рабочие буртики. При повышении давления в трубопроводе в некоторых перекрученных или неправильно установленных во время монтажа кольцах образуются отверстия (сначала небольшие, а затем увеличивающиеся), через которые происходит утечка воды или воздуха.

В том случае, когда сплющенное резиновое кольцо не успело затвердеть, его заменяют новым, для чего демонтируют стыковое соединение. Если же кольцо затвердело, а так в большинстве случаев и бывает, то распиливают муфту по оси трубопровода, так как демонтировать соединение не удается. Для установки нового резинового кольца и новой муфты демонтируют еще одно соседнее соединение.

Если кольцо при монтаже полностью не зашло за рабочий выступ, то при повышении давления в трубопроводе воздух легко выдавливает его наружу. Это

происходит и в том случае, когда резиновые кольца более эластичны, чем требуется для создания герметичности соединения, а также при большей расточке внутренней поверхности муфты и концов труб, чем это допустимо по стандарту.

Если кольца были выдавлены из двухбуртной муфты потому, что они не заходили за рабочий выступ, то перемонтируют стык, не разбирая трубопровода.

Если резиновое кольцо было выдавлено вследствие его повышенной эластичности, то для замены кольца демонтируют два соседних соединения.

При переточке концов асбестоцементных труб или расточке муфты заменяют трубу или муфту; иногда удается смонтировать соединение, заменяя только резиновые кольца.

Перекосы резиновых колец возникают при неправильном натягивании муфты или неоднородной эластичности резинового кольца, вызывающей неравномерное передвижение его по трубе.

Иногда кольца имеют большие швы, искажающие круглое сечение кольца. При натягивании муфт такие кольца перекручиваются и в местах перекручивания образуют винтообразные пустоты — каналы для утечки воды.

Резиновые кольца попадают между стыками труб либо потому, что зазор между концами труб больше требуемого, либо потому, что двухбуртная муфта была перетянута.

В тех случаях, когда дефекты в стыковых соединениях вызваны неправильным положением резиновых колец, обычно перемонтируют только соединения, трубопровод не разбирают. Если неправильное положение колец объясняется плохим их качеством или для создания герметичности соединения нужно заменить резиновые кольца, то разборка трубопровода неизбежна.

Дефекты, возникающие при неправильном размещении на стыке двухбуртной муфты, появляются из-за того, что муфта во время монтажа была недотянута (или перетянута) или перекошена. Перетяжку муфты можно объяснить в большинстве случаев недостаточной внимательностью рабочих, монтирующих соединение.

Если траншею засыпают грунтом только по одну сторону трубопровода, может произойти смещение труб.

Просадка отдельных труб, если они уложены на неустойчивое основание или основание, размытое грунтовыми и атмосферными водами, также может вызвать перекос трубопровода.

В соединениях с перекошенными муфтами происходит весьма неравномерное сжатие резиновых колец. Та часть кольца, которая зажата более слабо, дает утечку воды из трубопровода.

Перекосы муфт возможны и в процессе испытания, так как при повышении давления возможны подвижки отдельных труб и искривление оси трубопровода на тех его участках, где трубопровод не засыпан грунтом или засыпан недостаточно.

Образование трещин и разрывов труб при повышении давления в трубопроводе объясняется или недоброкачественностью труб вообще, или ослаблением механической прочности их стенок, вызванным небрежным обращением с трубами при перевозках и на строительстве.

Все трубы, в которых при испытаниях обнаружены трещины, разрывы и обломы, нужно заменять.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗАКРЫТЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

ПОДГОТОВКА ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ К НАЧАЛУ ПОЛИВА

Закрытые оросительные системы ежегодно следует ремонтировать и опробовать в работе с таким расчетом, чтобы система была подготовлена к поливу не позднее чем за 7 дней до его начала.

В период ремонта и подготовки к поливу нужно устранить все неисправности, согласно дефектной ведомости, составленной при сдаче системы осенью на консервацию, а также устранить все неполадки, обнаруженные при тщательном осмотре системы весной. За время ремонта оросительную систему полностью подготавливают к поливу. Все металлические разборные узлы (насосы, всасывающие клапаны, задвижки, вентили, щиты и др.) осматривают; трущиеся части смазывают солидолом или автолом; места, подверженные ржавлению или поврежденные, закрашивают и реставрируют.

При опробовании закрытой сети весной необходимо учесть, что трубы могли оказаться в зоне промерзания и находящаяся в них вода в неподвижном состоянии могла замерзнуть. Поэтому опробование системы водой следует проводить, когда земля полностью оттает.

Открытые каналы системы также осматривают весной. Их очищают от ила, мусора и наносов. Восстанавливают подмытые части каналов и сооружения на них, после чего все каналы, кроме временных оросителей, опробывают водой и ремонтируют.

Насосно-силовое оборудование проверяют особенно тщательно, согласно специальной инструкции. После этого все оборудование проверяют под полной нагрузкой и составляют акт о ее готовности к эксплуатации.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДОЗАБОРНЫХ УЗЛОВ

В эксплуатации водозаборных узлов сети самотечно-напорных трубопроводов и с механической подачей воды имеется существенное различие.

Самотечно-напорные трубопроводы, как правило, забирают воду из открытых каналов, реже лотков. Водозаборный узел предназначен для забора воды из канала в один или несколько самотечно-напорных трубопроводов. Он состоит из входной части, сопрягающей канал с трубопроводом; головной задвижки или щита, перекрывающего вход в трубопровод; сороудерживающих решеток; расходомера и водомерного устройства.

Водозаборный узел должен быть снабжен прибором для определения расхода воды, забираемой трубопроводом из канала. В лучшем случае определяют расход в литрах в секунду и суммарный за вегетационный период или за данный полив. Но чаще всего водозаборный узел оборудован прибором только для определения расхода в единицу времени (*л/сек* или $м^3/час$). Водозаборный узел нужно оборудовать водомерами. Они необходимы, чтобы выдерживать заданный режим орошения (не допускать перерасхода воды или уменьшение ее). Регулируют подачу воды головной задвижкой или щитом.

Опыт эксплуатации регулирующих щитов на водозаборных сооружениях показал, что при помощи их нельзя получить герметичное перекрытие трубопровода. Как правило, при закрытых щитах утечка по периметру щита составляет от 10 до 30%. Поэтому на таких трубопроводах нельзя вести никакие ремонтные работы. В то же время в поливной период хотя и редко, но приходится очищать трубопровод от пробок — травы и наносов, попавших в подземный трубопровод через водозаборный оголовок. Иногда нужно ремонтировать задвижки гидрантов-водовыпусков и устранять другие неполадки. Чтобы выполнить эти работы, или ставят дополнительные временные деревянные щиты с брезентовым фартуком (для герметичности), или засыпают вход в подземный трубопровод грунтом. На это уходит много времени, что нарушает поливной режим. Поэтому все щиты на водозаборных узлах нужно заменить задвижками типа Лудло, которые дают герметичное уплотнение и

позволяют в любое время очень быстро отключать трубопровод и снова включать его в работу. Затраты на приобретение и установку таких задвижек невелики и всегда окупятся.

Кроме водомера, на водозаборном узле ставят водомерную рейку, по которой определяют глубину воды над входом в трубопровод. Если эта глубина меньше допускаемой, то над входом образуется глубокая воронка, через которую прорывается воздух в трубопровод. На водомерной рейке имеется специальная метка минимально допускаемого уровня воды в канале. Это определяется проектом в зависимости от диаметра трубопровода и его расхода. Если уровень воды в канале ниже метки, то нужно при помощи водоподпорных сооружений на канале соответственно поднять горизонт воды.

Решетки ставят перед входом в подземный трубопровод. Их назначение — не допускать плавающие предметы (мусор, траву и т. д.) в трубопровод. Обычно ставят одну решетку. Однако наблюдения показали, что одной решетки недостаточно, так как часть травы проходит через нее и попадает в трубопровод. Трава скапливается в местах перехода от большего диаметра к меньшему или в тройниках гидрантов и образует пробки. Найти их и удалить очень трудно и требуется много времени. Поэтому нужно ставить двойные решетки: первую с редким расположением вертикальных прутьев — 3—5 *см*, вторую с частым — 1—1,5 *см*. Решетки должны быть обязательно съемными. При поливе их нужно ежедневно осматривать и очищать от травы и мусора.

Если оросительную воду подают в закрытые трубопроводы насосными станциями, то последние эксплуатируются в соответствии со специальной инструкцией. Обслуживающий персонал обязан: строго выполнять инструкцию по пуску и выключению насосно-силового оборудования; содержать в исправности все оборудование и вовремя проводить профилактический и капитальный ремонты; особо следить за состоянием контрольно-измерительной аппаратуры насосных агрегатов; аккуратно вести необходимые наблюдения за показаниями приборов для измерения расхода и напора воды, подаваемой в подземный трубопровод, и вносить соответствующие записи в журнал.

Давление в трубопроводах, работающих от насосных станций, не должно превышать величину $P_{макс}$, которую можно определить по следующей зависимости:

$$P_{макс} = 0{,}5(P_р + P_и), \qquad (72)$$

где $P_р$ — рабочее давление в трубопроводе;
$P_и$ — испытательное давление.

Если определенное расчетом давление от гидравлических ударов превышает $P_{макс}$, то нужно применять меры, обеспечивающие снижение давления до 0,5 $(P_р + P_и)$. При этом необходимо учитывать условия работы трубопроводов и насосов, с тем чтобы требуемое снижение давления достигалось при наименьших затратах.

НАПОЛНЕНИЕ И ОПОРОЖНЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Очень важно с точки зрения сохранности подземных трубопроводов, как осуществляется их наполнение водой и опорожнение.

В принципе трубопроводы должны наполняться водой постепенно. Какой объем воды поступает в трубопровод, такой примерно объем воздуха должен уходить из трубопровода. При нарушении этого условия в трубопроводе происходит защемление некоторого объема воздуха, который при достижении определенного давления быстро уходит к месту его выпуска. В этот момент происходит разрыв сплошности потока, а затем соударение колонн воды. Это приводит к гидравлическому удару, величина которого нередко превышает допускаемое давление в трубопроводах. Тогда расстраиваются стыки, разрушаются трубы и т. п.

Во избежание этого перед заполнением подземных трубопроводов сети необходимо убедиться в исправности вантузов для выпуска воздуха и эксплуатационных вантузов, если такие имеются, а также задвижек гидрантов-водовыпусков. Убедившись в исправности воздуховыпускной арматуры, открывают головную задвижку водозаборного узла самотечно-напорной сети на $^1/_4$ диаметра начального участка трубопровода и наполняют трубопровод. Если нет воздуховыпускных ванту-

зов или их пропускная возможность недостаточна, то открывают задвижки гидрантов-водовыпусков из расчета, чтобы расстояние между ними не превышало 200—300 *м*. Практически получается, что нужно открывать водовыпуски через один. В этом случае перед заполнением открывают необходимые задвижки по всему трубопроводу. Один рабочий находится в конце трубопровода у последнего гидранта. После того как из этого гидранта перестанет выходить воздух и вода пойдет равномерно без видимых на глаз толчков и без примеси воздуха, рабочий закрывает задвижку гидранта и идет к следующему. После появления в нем воды он также закрывает задвижку и идет к следующему гидранту и так далее, пока не подойдет к головной задвижке. Таким образом постепенно заполняется подземный трубопровод. После заполнения трубопровода водой головную задвижку открывают полностью, и только после этого по трубопроводу можно пропускать проектный расход.

При заполнении подземных трубопроводов, питающихся от насосной станции, необходимо строго придерживаться инструкции по пуску насосно-силового оборудования данной насосной станции. Чаще всего задвижку напорного трубопровода открывают на $^1/_4$—$^1/_3$ диаметра и при этом положении задвижки заполняют трубопровод водой. Причем на трубопроводе предварительно открывают задвижки гидрантов-водовыпусков по методике, указанной выше. Если есть сбросная труба, то ее перед пуском насосов в работу открывают полностью, а после пуска насосно-силового оборудования и програмного открытия задвижки напорного трубопровода через нее сбрасывают расход в водоисточник. Затем медленно закрывают задвижку сбросной трубы и по очереди заполняют подземные трубопроводы водой. Рабочий в этом случае закрывает открытые гидранты после появления в них воды, начиная от насосной станции.

Опорожняют трубопровод перед ремонтом или после полива на всей площади, подвешенной к данному трубопроводу. Все остальное время вегетационного периода трубопровод должен быть заполнен водой.

При опорожнении самотечно-напорного трубопровода возможны два характерных случая: 1) в канале, питающем трубопровод, есть вода; 2) в канале воды нет. В первом случае перед опорожнением трубопровода гер-

метично перекрывают головную задвижку. Затем, если есть воздуховпускной вантуз, открывают концевую сбросную задвижку из расчета, чтобы сбросной расход составлял $^1/_4$ проектного расхода трубопровода. При этом сбросном расходе опорожняют трубопровод. Если трубопровод не оборудован воздуховпускным вантузом или он неисправен, то можно использовать задвижки гидрантов-водовыпусков. Вначале открывают первый гидрант-водовыпуск у головной задвижки, затем по мере опорожнения трубопровода открывают последующие гидранты. Рабочий, открывающий гидранты, двигается от головной задвижки к последнему гидранту в хвостовой части трубопровода.

Если в канале воды нет, то открывают полностью головную задвижку, а задвижку концевого сброса — на $^1/_4$ проектного расхода трубопровода и проводят опорожнение трубопровода. В этом случае задвижки гидрантов-водовыпусков можно не открывать.

ПОЛИВНЫЕ УЧАСТКИ КОМПЛЕКСНЫХ БРИГАД И ПРОВЕДЕНИЕ ПОЛИВОВ

Успешное проведение поливов во многом зависит от организации территории, обслуживаемой данным подземным трубопроводом,— расположения поливных участков комплексных бригад. Желательно, чтобы поливной участок бригады обслуживался бы отдельными (одним или несколькими) подземными трубопроводами. В этом случае не надо распределять расход одного трубопровода между бригадами, что, как показал опыт, упрощает организацию проведения полива.

Однако при большой длине подземного трубопровода (более 3 *км*) и расходе более 150 *л/сек* в районах хлопководства приходится на площади, обслуживаемой одним трубопроводом, размещать две бригады, а иногда и больше. В этом случае поливные участки бригад можно расположить по двум схемам (рис. 79): последовательно (*I* схема) и параллельно (*II* схема).

В первой схеме верхняя половина гидрантов-водовыпусков закреплена за первой бригадой, а гидранты, расположенные на нижней части подземного трубопровода,— за второй. При поливе в жаркие летние месяцы

нередко бывает, что первая бригада нарушает график полива и забирает до 70—80% воды общего расхода.

Если расположить поливные участки бригад по второй схеме и закрепить за одной бригадой нечетные гидранты, а за другой четные, то в каждую бригаду поступит одинаковое количество воды.

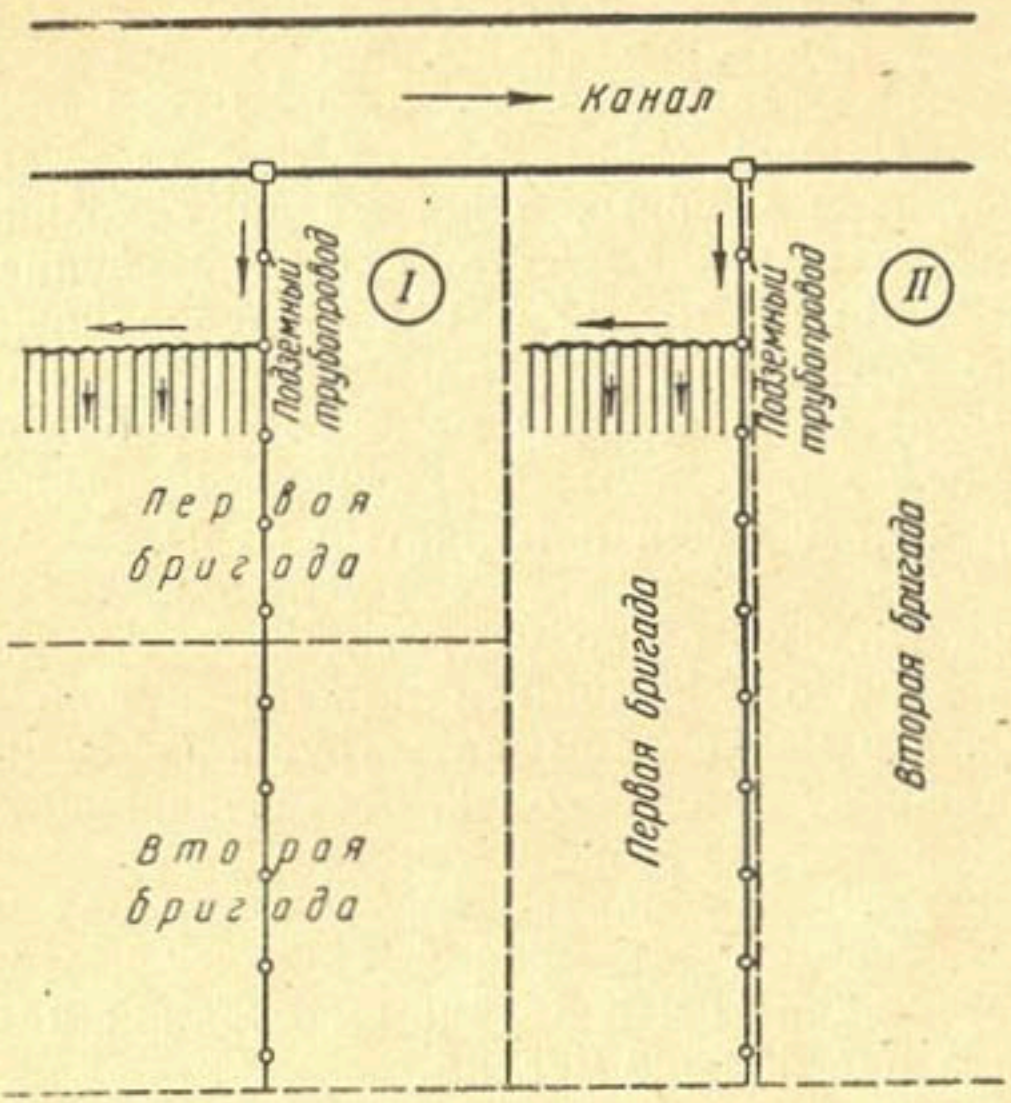


Рис. 79. Схема расположения поливных участков двух бригад на площади, обслуживаемой одним подземным трубопроводом:

I — поливные участки бригад расположены последовательно; *II* — поливные участки расположены параллельно.

Поэтому поливные участки комплексных бригад нужно располагать по второй схеме — параллельно друг другу относительно подземного трубопровода.

В зависимости от схемы расположения поливных участков бригад относительно подземного трубопровода составляют график каждого полива. Выполнение графика полива контролирует агроном или гидротехник отделения совхоза.

ТЕХНИЧЕСКИЙ УХОД ЗА ЗАКРЫТОЙ СЕТЬЮ ВО ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПОЛИВОВ

При поливе нужно внимательно следить за техническим состоянием закрытой сети.

Для технического надзора выделяется группа слесарей — 2—3 человека, которые каждую неделю осматривают трассу подземных трубопроводов, арматуру, водомерные устройства и сооружения на них. Если обнаруживаются мелкие дефекты, то они на месте их устраняют. При крупных повреждениях хозяйственные руководители выделяют в помощь этой группе необходимые механизмы, материалы и оборудование, чтобы в возможно короткий срок ликвидировать повреждения. При осмотре и проведении ремонтных работ составляют дефектную ведомость, в которой указывают дату, характер повреждения и принятые меры.

Если оросительная вода несет взвешенные наносы, то это необходимо особо учитывать при эксплуатации. Для удаления отложившихся наносов нужно не реже одного раза в месяц промывать трубопровод через концевую задвижку при расходах, обеспечивающих размыв и вынос наносов, из трубопроводов. Чем дальше пролежат наносы в трубопроводе, тем большая скорость нужна для размыва отложений. Поэтому нельзя допускать, чтобы наносы в спокойном состоянии находились в трубопроводе больше месяца.

По окончании поливного сезона оросительную систему тщательно осматривают и на нее составляют дефектную ведомость. Следует осенью провести основной ремонт системы и подготовить ее на зимнюю консервацию, при этом все трубопроводы полностью освобождают от воды, чтобы избежать размораживания их зимой.

Опорожняют от воды трубопроводы при помощи концевых сбросных задвижек или через специально устроенные для этого спускные колодцы. Затем проверяют путем промеров во всех гидрантах и колодцах стекла ли полностью из труб вода. Если вода не стекла из труб, то ее сбрасывают через дополнительные спускные колодцы или откачивают насосами. После того как вода из труб спущена, все задвижки открывают, чтобы из них стекла вся находящаяся внутри вода. Затем задвижки смазывают солидолом или другой мазью и закрывают.

ЛИТЕРАТУРА

Агроскин И. И., Дмитриев Г. Т., Пикалов Ф. И. Гидравлика. Госэнергоиздат, М.—Л., 1954.

2. Анисимов В. А. и Зюликов Г. М. Проектирование и расчет закрытых оросительных систем. Изд-во МСХ СССР, 1960.
3. Аронов С. Н. Проектирование водоводов. Госстройиздат, М.—Л., 1953.
4. Анисимов В. А., Зюликов Г. М. Закрытые оросительные системы. Сб. ст. «Орошение и обводнение в СССР». «Колос», 1964.
5. Богословский П. А. Ледовый режим трубопроводов гидроэлектрических станций. Госэнергоиздат, 1950.
6. Бородин И. В. Инструкция по монтажу асбестоцементных водопроводных труб. Промстройиздат, 1950.
7. Виверлинг Р. М. и Лео Б. Кролей. Применение пластмассовых труб фирмой «Филлипс Петролеум компании». Журн. «Газ», т. 37, № 3, США, 1961.
8. Главводхоз МСХ СССР. Временные технические условия и нормы проектирования оросительной сети. Изд-во МСХ СССР, 1951.
9. Замарин Е. А., Журавлев Г. И., Кобек С. И. Кременецкий Н. Д. Сельскохозяйственные гидротехнические сооружения. Госстройиздат, 1957.
10. Зюликов Г. М. О размыве наносов в трубопроводах закрытой оросительной сети. Труды ВНИИГиМ, т. XXXV. Изд. ВНИИГиМ, 1960.
11. Зюликов Г. М. Сборные фасонные части и муфты из железобетона. «Бетон и железобетон» № 4, 1959.
12. Зюликов Г. М. О критических скоростях в трубопроводах закрытой оросительной сети. «Вестник сельскохозяйственной науки» № 8, 1959.
13. Зюликов Г. М. Условия незаиляемости трубопроводов оросительных систем. Научно-техническая информация по мелиорации и гидротехнике, вып. 12. Изд. ВНИИГиМ, 1962.
14. Израильсен О. У. Теория и практика ирригации. Изд-во иностранной литературы, 1956.
15. Киселев П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам. Госэнергоиздат, М.—Л., 1957.
16. Костяков А. Н. Основы мелиорации. Сельхозгиз, 1951.

17. Колесников И. Т. Дождевание сельскохозяйственных культур. Магнитогорск, 1957.
18. Куликов П. Е., Рабинович Н. И. Эксплуатация оросительных насосных станций. Сельхозгиз, 1953.
19. Латышенков А. М. и Лобачев В. Г. Гидравлика. Стройиздат, 1945.
20. Метельский З. И. Передвижные насосные станции и быстроразборные трубопроводы для орошения. Сельхозгиз, 1956.
21. Материалы к комплектам разборного поливного оборудования Изд. Росгипроводхоза, 1965.
22. Пикалов Ф. И. Ирригационные системы с закрытой внутрихозяйственной сетью. «Вестник сельскохозяйственной науки», вып. 1, 1940.
23. Пикалов Ф. И. Технические показатели оросительных систем с внутрихозяйственной закрытой сетью. Труды ВНИИГиМ. Изд. ВНИИГиМ, т. XXVI—XXVII, 1952.
24. Роберт Клей. Успешное развитие применения пластмассовых труб. Журн. «Газ» № 3, США, 1961.
25. Сахновский К. В. Железобетонные конструкции. Госстройиздат, 1958.
26. Филоненко Г. К. О коэффициенте сопротивления для гладких труб. «Известия ВТИ» № 10, 1948.
27. Френкель Н. З. Гидравлика. Госэнергоиздат, М.—Л., 1951.
28. Чичасов В. Я. Комплекты передвижного оборудования для полива небольших участков. «Гидротехника и мелиорация» № 12, 1964.
29. Шевелев Ф. А. Исследование основных гидравлических закономерностей турбулентного движения в трубах. Госстройиздат, 1953.
30. Шевелев Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных и асбестоцементных водопроводных труб. Госстройиздат, 1956.
31. Шаумян В. А. Реконструкция оросительных систем, Сельхозгиз, 1956.

СОДЕРЖАНИЕ

Исторический обзор развития оросительных систем с напорными трубопроводами 3

Типы, конструкции и условия применения закрытых оросительных систем 9

Оросительные системы с самотечно-напорной полностью закрытой или комбинированной сетью 10
Оросительные системы с механической подачей воды в закрытую сеть 13

Оросительные системы с полиэтиленовыми трубопроводами 48

Способы соединения полиэтиленовых труб 48
Установки и приспособления для соединения полиэтиленовых труб 52
Строительство напорных полиэтиленовых трубопроводов закрытых оросительных систем 64
Прочность сварных соединений полиэтиленовых труб . . 68
Применение полиэтиленовых труб в США 75

Водохозяйственные расчеты 78
Режим орошения 78

Определение расчетных расходов трубопроводов . . . 80
Коэффициент полезного действия оросительных систем . . 82

Гидравлические расчеты закрытой сети 87

Формулы и таблицы для гидравлического расчета труб . 87
Местные сопротивления 92
Расчетные скорости и определение диаметров трубопроводов 101
Расчет тупиковой и кольцевой сетей 104
Гидравлический расчет подземных трубопроводов и гидрантов-водовыпусков 107
Режим наносов в трубопроводах оросительных систем . 109

Трубы, сооружения и арматура 117

Асбестоцементные трубы 118
Фасонные части 121
Задвижки 127
Вантузы 129
Гидранты-водовыпуски 131

Переходы через железнодорожные и шоссейные пути . . 134
Упоры 135
Гасители напора на трубопроводах 140

Строительные и монтажные работы при сооружении закрытых трубопроводов оросительных систем 156

Принципы трассирования трубопроводов 156
Определение напряжений в стенках трубопроводов . . . 156
Промерзание грунтов 158
Глубина заложения трубопроводов 159
Укладка и монтаж трубопроводов 161
Испытания трубопроводов 166
Дефекты асбестоцементных трубопроводов и методы их устранения 170

Эксплуатация закрытых оросительных систем 173

Подготовка оросительной системы к началу полива . . 173
Эксплуатация водозаборных узлов 174
Наполнение и опорожнение подземных трубопроводов . . 176
Поливные участки комплексных бригад и проведение поливов 178
Технический уход за закрытой сетью во время проведения поливов 180
Литература 181

ЗАКРЫТЫЕ ОРОСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ.

ЗЮЛИКОВ ГРИГОРИЙ МАКСИМОВИЧ

М., изд.-во «Колос», 1966.

УДК 626.81

Редактор *В. М. Самсонова.* Художник *Е. И. Вескова.*
Художественный редактор *М. Д. Северина.*
Технический редактор *З. П. Околелова.* Корректор *А. А. Швецова.*

Сдано в набор 31/III 1966 г. Подписано к печати 27/X 1966 г. Т 13781.
Формат 84×108$^{1}/_{32}$. Печ. л. 5,75 (9,66). Уч.-изд. л. 9,02. Изд. № 244. Т. п. 1966 г. № 153. Тираж 7500 экз. Заказ № 4399. Цена 37 коп.

Издательство «Колос», Москва, К-31,
ул. Дзержинского, д. 1/19.

Типография им. Смирнова Смоленского облуправления по печати,
г. Смоленск, пр. им. Ю. Гагарина, 2.