

Х. ТАШЕВ, Г. БЕЗБОРОДОВ

# ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕУСТРОЙСТВА ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ





В книге на примере трех типичных хлопководческих хозяйств бассейна р. Кашкадарья описана методология составления генеральных планов переустройства внутрихозяйственных гидромелиоративных систем. Рассмотрены вопросы оптимизации отдельных элементов оросительной системы — конструкции водоводов, их плановое положение, средства распределения воды между бороздами.

Рассчитана на инженеров-гидротехников и специалистов водного хозяйства, руководителей колхозов и совхозов, а также студентов вузов мелиоративного профиля.

Т  $\frac{40201-189}{М 351 (04) 82}$  82-121-3802040100



## ВВЕДЕНИЕ

В развитии сельского хозяйства мелиорация земель занимает одно из ведущих направлений. В решениях XXIV, XXV и XXVI партийных съездов и пленумов ЦК КПСС главное внимание уделялось вопросам ввода в эксплуатацию орошаемых и осушаемых земель и обводнению пастбищ. В перспективе, с нарастанием дефицита воды в Средней Азии, становится актуальной задача экономного использования собственных водных ресурсов региона и привлечения дополнительных источников для орошения новых земель.

«В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» предусмотрено опережающими темпами вести работы по реконструкции существующих мелиоративных систем и улучшению их водообеспеченности.

Планом XI пятилетки в Узбекистане намечено освоить 450 тыс. га новых земель, улучшить мелиоративное состояние 400 тыс. га староорошаемых земель, осуществить переустройство оросительных систем с орошаемой площадью 150 тыс. га, провести капитальную планировку на 300 тыс. га, повысить водообеспеченность староорошаемых земель на площади 790 тыс. га.

Развитие хлопководства в республиках Средней Азии связано не только с освоением новых земель, но и с ростом урожайности хлопчатника и общей интенсификацией земледелия на землях старого орошения. Одним из важных мероприятий, способствующих этому, является переустройство внутрихозяйственных гидромелиоративных систем.

Значительным шагом на пути технического прогресса в водном хозяйстве явился переход в 50-х годах на новую систему орошения.



В результате укрупнения поливных участков, проведения капитальных планировок, спрямления каналов и оснащения их необходимыми сооружениями сократилось число точек выдела воды хозяйствам, уменьшилась протяженность постоянной оросительной сети, увеличился размер тракторно-полеводческих бригад. Это позволило повысить коэффициент полезного действия оросительных систем и урожайность сельскохозяйственных культур. Однако в настоящее время, несмотря на определенные успехи, внутрихозяйственные гидро-мелиоративные системы находятся на низком техническом уровне, КПД оросительных систем остается все еще низким.

В УзССР достаточно крупных каналов, магистральных и межхозяйственных, имеющих высокий КПД, управление водораспределением на которых полностью телемеханизировано и автоматизировано. На многих оросительных системах старой зоны орошения реконструкция межхозяйственной сети в основном закончена. В связи с этим общую эффективность оросительных систем возможно повысить путем переустройства главным образом внутрихозяйственной сети на базе новых достижений науки и техники, что позволит увеличить не только значения КПД, КЗИ и урожайность культур, но и общую производительность труда в орошаемом земледелии. Завершающий этап переустройства, переход на автоматизированную и механизированную технику полива, позволят отказаться от ручного непроизводительного полива.

Придавая большое значение дальнейшему улучшению эксплуатации внутрихозяйственной ирригационно-мелиоративной сети в республике, Центральный Комитет КП Узбекистана и Совет Министров УзССР рекомендовали для каждого хозяйства разработать проекты внутрихозяйственного землеустройства вместе с генеральными планами переустройства внутрихозяйственной сети. Известно, что проектирование и осуществление переустройства полей и внутрихозяйственной сети на древнеорошаемых землях значительно сложнее проектирования и строительства на новых землях. Региональные особенности обуславливают специфичность проектирования и подхода к практической реализации проекта на фоне действующих хозяйств.



В связи с этим в настоящей работе сделана попытка разработать рекомендации по организации, проектированию и осуществлению переустройства на основе разработки генеральных планов переустройства внутрихозяйственных систем на примере трех типичных хозяйств Кашкадарьинской области, расположенных в различных природных условиях. Авторы перед собой поставили цель — показать эффективность и необходимость переустройства, определить общий объем предстоящих работ, суммарную стоимость их и разработать организационные меры осуществления намеченного комплекса применительно к условиям Кашкадарьинской области.



## РЕКОНСТРУКЦИЯ МЕЖХОЗЯЙСТВЕННОЙ СЕТИ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕ- НИЮ ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТИ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ КАШКАДАРЬИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Обобщив имеющиеся проектные материалы по переустройству отдельных хозяйственных систем по каждой области УзССР, разработанные в разное время и на различном техническом уровне, Узгипроводхоз пришел к выводу о целесообразности проведения переустройства на площади 1645 тыс. га со стоимостью работ 4030 млн. руб. В результате повышения КПД систем с 0,57 до 0,68 предполагается сэкономить 4370 млн. м<sup>3</sup> воды. При этом удельные капитальные вложения составят 2450 руб./га, а стоимость 1 м<sup>3</sup> сэкономленной воды — 92 коп.

В связи с низкой достоверностью исходных данных о потерях воды в каналах внутрихозяйственных систем и на полях и высокой стоимостью переустройства в некоторых проектах представляется необходимым более обоснованно оценить эффективность переустройства на примере одного региона с проведением специальных исследований.

Старая зона орошения бассейна р. Кашкадарья представляет собой идеальный объект для изучения проблемы переустройства внутрихозяйственных оросительных систем, так как здесь сравнительно на небольшом пространстве расположены три агроклиматические зоны с различными природными условиями: Верхняя, Средняя и Нижняя Кашкадарья (9).

Верхняя Кашкадарья расположена на территории с абсолютными отметками 500 м и выше. Сюда можно отнести Китабский, Шахрисабзский, Яккабагский и Чиракчинский административные районы. Эта зона отличается повышенными осадками (300—600 мм) по сравнению с двумя нижеследующими (200—285 и 130—200 мм) и более умеренным климатом.



Средняя Кашкадарья — это равнинная зона с отметками от 400 м до 500 м. Она занимает промежуточное положение между первой и третьей зонами, имеет много общих черт климата с Нижней Кашкадарьей. Сюда можно отнести Гузарский и Камашинский районы.

Нижняя Кашкадарья представлена обширной равниной. Ее восточная граница проходит примерно по абсолютным отметкам 400 м. Сюда входят Каршинский, Касанский, Ульяновский, Усман Юсуповский, Бахористанский, Мубарекский районы и вся Каршинская степь.

В Верхней Кашкадарье на землях с хорошей естественной дренированностью и пока еще низкой водообеспеченностью нет необходимости в строительстве коллекторно-дренажной сети. Оросительная система включает в себя типичные для предгорий Узбекистана элементы: оросительные и водосборно-сбросные каналы и различные источники питания — поверхностные (реки, родники), подземные и грунтовые воды.

В Нижней Кашкадарье, представленной покатой равниной с недостаточным естественным оттоком минерализованных грунтовых вод, по природным условиям типичной для старой зоны орошения Голодной степи, Бухарского оазиса, оросительная сеть должна быть увязана с коллекторно-дренажной, образуя гидромелиоративную систему, обеспечивающую подачу оросительной воды и отвод минерализованных грунтовых вод.

В Средней Кашкадарье, по природным условиям занимающей промежуточное значение, большая часть земель имеет естественную дренированность. На периферии конуса выноса р. Гузардарьи естественный отток грунтовых вод затруднен. Поэтому в этой зоне оросительным системам свойственны элементы как предгорных систем, так и долинных.

За последние 15—20 лет в области много сделано по развитию водного хозяйства. Ввиду наличия критического по водообеспеченности периода во второй половине вегетации, в первую очередь, основное внимание было уделено мерам по повышению водообеспеченности. Одновременно велись работы по реконструкции межхозяйственной оросительной сети с целью постепенного повышения КПД этого звена.

В 1955 г. было завершено строительство Эскиангарского канала, по которому за вегетацию в среднем поступало 500 млн. м<sup>3</sup>.



Позднее для рационального использования стока собственных рек построено несколько водохранилищ, которые способны аккумулировать около 2228 млн. м<sup>3</sup> воды. Однако, несмотря на столь высокую степень зарегулированности стока рек, водообеспеченность староорошаемых земель Верхней и Средней Кашкадарьи остается достаточно низкой.

В связи с этим с целью повышения водообеспеченности здесь изыскиваются новые источники орошения и перераспределяется сток небольших водотоков. Начиная с 1971 г. для полива хлопчатника используются подземные воды. При одновременной работе всех скважин можно получить 28,7 м<sup>3</sup>/с воды, что значительно больше эксплуатационных запасов подземных вод, оцениваемых в размере 6,7 м<sup>3</sup>/с. Использование подземных вод в таком объеме должно осуществляться только в самые критические периоды маловодных лет.

На оросительных системах Китабского, Шахрисабзского и Яккабагского районов, имеющих водозаборы на незарегулированных источниках орошения, в критический период вегетации (июль-август) водообеспеченность снижается до 25—40%.

Для увеличения водообеспеченности за этот период используются естественные понижения рельефа, в которых создаются многодневные запасы воды. Объем этих водоемов находится в пределах 0,2—4,0 млн. м<sup>3</sup>. Некоторые из них выполняют функции бассейнов суточного регулирования воды, расположенных в непосредственной близости от орошаемых площадей. Водозабор из водоемов осуществляется чаще всего насосами. Водоемы позволяют дополнительно провести 1,5—2 полива хлопчатника в нескольких бригадах.

Суммарный объем построенных водоемов составляет 28,1 млн. м<sup>3</sup>, в том числе в Шахрисабзском районе — 4,3 млн. м<sup>3</sup>, Яккабагском — 15,0, Камашинском — 5,0 и в Китабском — 3,8 млн. м<sup>3</sup>.

**Оросительная и коллекторно-дренажная сеть.** До недавнего времени оросительные системы имели множество примитивных водозаборов из рек, длинные, параллельно идущие каналы с большими холостыми участками, местами заиляющиеся из-за малых уклонов, кроме того, не было гидротехнических сооружений для водозаборов и распределения воды в каналах. Все это приводило к трудностям в эксплуатации оросительных сис-



тем, большим потерям оросительной воды, в связи с чем коэффициент полезного действия систем находился в пределах 0,2—0,3. Ежегодно много средств затрачивалось на защитно-регулирующие работы — борьбу с паводками, регулирование расходов и горизонтов воды.

После строительства Каршинского гидроузла пропускной способностью 740 м<sup>3</sup>/с с Левобережным и Правобережным каналами (1965 г.) было ликвидировано около 100 неинженерных головных водозаборов. В результате здесь целые административные районы имеют одну (Ульяновский) или две (Каршинский) точки водозабора. Строительство Гузарского и Яккабагского гидроузлов дало возможность объединить все водозаборные точки этих районов в систему, имеющую гарантированный головной водозабор.

Значительно сократилось количество точек водозаборов из реки Аксу в Шахрисабзском и Китабском районах в результате строительства крупных каналов: Чоршанбе, Муминабад, Правобережный Аксу и др. Однако до сих пор оросительные системы Китабского района имеют 27 точек водозабора, Шахрисабзского — 21, Яккабагского — 14.

Наряду с упорядочением головного водозабора и регулированием речного стока в больших масштабах проводится бетонирование каналов. По объему и темпам бетонирование внутрихозяйственных каналов до 1976 г. значительно отставало от бетонирования межхозяйственных. За период 1976—1978 гг., наоборот, темпы бетонирования внутрихозяйственных каналов были выше, чем межхозяйственных: 40% против 9,5%. Забетонированы крупные межрайонные каналы Чоршанбе и Муминабад, межхозяйственные — Левобережный и Правобережный объединители р. Танхаздаря в Шахрисабзском районе, Каирма — в Чиракчинском, Гузарский магистральный канал с Левобережным и Правобережным отводами, Меришкор и Денау — в Ульяновском, Файзабад, Каратепа — в Каршинском районах.

За последнее десятилетие (1970—1980 гг.) в рассматриваемой зоне бассейна наиболее крупными водохозяйственными объектами явились каналы Кумдаря, «Москва» и насосные станции «Сандал» и «Пахтакор».

На строительстве канала Кумдаря выполнено 11 млн. м<sup>3</sup> земляных, 110 тыс. м<sup>3</sup> бетонных и железобетонных работ. Построено более 30 гидротехнических



сооружений. Строительство канала дало возможность направить паводковые расходы р. Кумдарья в Чимкур-ганское водохранилище. Так, в 1971 г. в водохранилище было подано 20 млн. м<sup>3</sup> воды, в 1972 г.—70 млн. м<sup>3</sup> и в 1973—70 млн. м<sup>3</sup>, с 1975 г. ежегодно более 100 млн. м<sup>3</sup>.

Опыт эксплуатации канала Кумдарья показал, что при ливневых дождях по р. Кумдарья проходит до 200 м<sup>3</sup>/с воды. При расчетной пропускной способности канала 40 м<sup>3</sup>/с забор осуществляется всего лишь на 60—70% от общего стока. Остальной объем воды идет по руслу реки и теряется в песках. Для более полного использования стока реки в голове канала Кумдарья начато строительство селехранилища. Это позволит полностью использовать сток р. Кумдарья и отказаться от строительства Кумдарьинского гидроузла.

Канал «Москва» отходит от старого канала Эскиангар на 56 км и имеет протяженность 86 км. Со строительством нового канала путь движения Зарафшанской воды сократился на 55 км. Если канал Эскиангар имеет коэффициент полезного действия 0,65, вследствие чего из 500—550 млн. м<sup>3</sup> головного забора потери достигали 200 млн. м<sup>3</sup>, то КПД канала «Москва» составляет 0,96, что дает ежегодно экономию воды более 100 млн. м<sup>3</sup>.

При работе же на полную мощность канала «Москва» можно дополнительно получить 200—250 млн. м<sup>3</sup>. По каналу Кумдарья также можно получить 100 млн. м<sup>3</sup> воды. Следовательно, по системе канала «Москва» возможно получить 250—300 млн. м<sup>3</sup> оросительной воды.

С вводом в действие Амубухарского канала второй очереди подача воды по каналу «Москва» может быть доведена до 860 млн. м<sup>3</sup>, из которых свыше 800 млн. м<sup>3</sup> могут быть использованы для орошения Сандальского и Кокдалинского массивов площадью 84 тыс. га.

За последние годы оросительные системы области были оснащены крупными гидротехническими сооружениями. В апреле 1968 г. введено в действие Пачкамарское водохранилище объемом 260 млн. м<sup>3</sup>. В том же году закончилось строительство Гузарского гидротехнического узла на р. Гузардарье. Он состоит из водоподъемной бетонной плотины с максимальной пропускной способностью 240 м<sup>3</sup>/с и водовыпуска в Гузарский магистральный канал с расходом 20 м<sup>3</sup>/с.

Анализ протяженности оросительной сети показал, что длина всех бетонированных каналов составляет



1121,5 км, или 20,9% всей протяженности. Из них забетонировано 739,3 км межхозяйственных каналов, или 51,9% от общей протяженности и 382,2 км внутрихозяйственных каналов, или 9,8%. Внутрихозяйственная сеть менее оснащена сооружениями, чем межхозяйственная. Здесь имеется всего 552 сооружения, из которых инженерными являются 479 (87%).

В связи с тем, что более половины длины всех каналов проводящей сети области имеют бетонную облицовку, КПД межхозяйственной сети достаточно высок. С увеличением объема бетонирования потери воды уменьшаются и КПД сети возрастает. Так, если в 1963 г. КПД составлял 0,83, в 1964 г.—0,82, в 1967 г.—0,86, то уже в 1975 г. он увеличился до 0,88. По величине КПД межхозяйственной сети Кашкадарьинская область уступает только Сырдарьинской, где он достигает значений 0,95, Джизакской—0,92 и Сурхандарьинской—0,91 (данные Минводхоза УзССР).

Так как внутрихозяйственная сеть по сравнению с межхозяйственной имеет большую протяженность каналов в земляном русле, КПД ее значительно ниже: самый низкий—0,63 в Гузарском районе, самый высокий—0,83 в Шахрисабзском (данные Кашкадарьинского ОблУОСа).

КПД внутрихозяйственной сети в верхних районах выше, хотя в них удельный вес забетонированных каналов в несколько раз меньше, чем в нижних. Это объясняется тем, что в низовьях Кашкадарьи КЗИ довольно низкий, так как орошаемые территории расположены внутри хозяйств отдельными массивами. Вследствие этого удельная протяженность каналов здесь высокая: в Касанском районе—16,5 м/га, в Ульяновском—14,4, в Китабском—6,3, в Шахрисабзском—7,0, в Яккабагском—6 м/га.

В связи со строительством водохранилищ и бетонированием каналов водообеспеченность орошаемых земель увеличилась, что вызвало местами некоторое поднятие уровня грунтовых вод и ухудшение мелиоративного состояния.

Наибольший процент площадей с близким залеганием уровня грунтовых вод встречается в Китабском, Шахрисабзском, Чиракчинском и Яккабагском районах, но минерализация грунтовых вод в Китабо-Шахрисабзской котловине слабая. В средней и нижней Каш-



кадарье грунтовые воды сильно минерализованы. Поэтому в Каршинском, Касанском, Ульяновском и частично Гузарском районах мелиоративно неблагоприятные земли требуют проведения промывок.

Протяженность открытой коллекторно-дренажной сети в разрезе районов старой зоны орошения составляет 8,5 м/га.

Несмотря на низкую водообеспеченность, урожайность хлопчатника повышается благодаря высокому уровню агротехники. Наиболее трудоемким и вместе с тем наименее производительным и механизированным звеном в комплексе агротехнических мероприятий является проведение поливов. Согласно принятому режиму орошения хлопчатника необходимо проводить не вегетационные (влагозарядковые) и вегетационные поливы. Плановое число вегетационных поливов и оросительная норма в зависимости от гидромодульного районирования составляют соответственно 6—8 и 4400—7500 м<sup>3</sup>/га. Кроме того, важным агротехническим приемом является проведение промывных поливов. Следует отметить, что очень редко, за исключением многоводных лет, удается выполнять план промывных и влагозарядковых поливов.

Вегетационные поливы хлопчатника в старой зоне орошения проводятся везде поверхностным способом по бороздам с междурядьями 0,60 м. Полив осуществляется вручную, поэтому суточная производительность поливальщика не превышает 1 га. Вследствие низкой производительности труда и достаточно высокой сезонной нагрузки на одного поливальщика (до 20 га) фактические поливные нормы хлопчатника очень высоки (до 2500 м<sup>3</sup>/га и более), число поливов значительно меньше плановых (3,2—4,9).

В связи с растянутыми сроками поливов и рассредоточением бригадного тока воды на несколько поливных участков, нигде не соблюдается увязка поливов с тракторными обработками, т. е. нарушается один из важнейших агротехнических принципов.

Если считать, что поливы хлопчатника совсем не механизированы, то остальные агротехнические приемы имеют достаточно высокий уровень механизации. Так, предпосевная обработка почвы механизирована на 92%, сев — на 100%, обработка междурядий — на 70,4%, уборка хлопка — на 60%. При этом годовая выработка



трактора в условных эталонах составляет 1302 га. Между тем среднегодовая нагрузка на одного человека, занятого в хлопководстве, составляет в зоне старого орошения 2,7, в зоне нового — 5 га.

**Освоение Каршинской степи.** Развитие орошения в Каршинской степи ранее сдерживалось маловодьем р. Кашкадарьи. Водоподача в Каршинскую степь из многоводной Амударьи до последнего времени была практически неосуществимой из-за необходимости машинного подъема большого количества воды на высоту 130—200 м.

Современный технический, промышленный и энергетический потенциал страны позволил решить эту задачу. Всего в Каршинской степи пригодно к орошению около 900 тыс. га, которые условно можно разделить на две зоны: верхнюю и нижнюю. Земли верхней зоны с площадью возможного орошения 350 тыс. га расположены в более благоприятных для освоения условиях. Почвы здесь плодородные, объекты строительства и освоения расположены близко к населенным пунктам, железным и автомобильным дорогам. Поэтому в соответствии с рекомендациями Государственной экспертной комиссии Госплана СССР освоение Каршинской степи начато с земель верхней зоны. В границах этой зоны на валовой площади 257 тыс. га выделяется первая очередь орошения площадью нетто 200 тыс. га.

Водозабор в Каршинский магистральный канал осуществлен на правом берегу Амударьи у Пулизинданской возвышенности.

По назначению и характеру работы Каршинский магистральный канал делится на две части: головную и рабочую. Головная часть канала имеет длину 77,6 км. Расчетный нормальный расход этой части канала 125 м<sup>3</sup>/с, форсированный — 195 м<sup>3</sup>/с. Возможен пропуск расхода 234 м<sup>3</sup>/с, который будет проходить по каналу при максимальной производительности насосных станций. Общая геометрическая высота подъема от реки до рабочей части магистрального канала составляет 132 м. Каскад состоит из шести насосных станций, имеющих 36 агрегатов с общей установленной мощностью 450 тыс. квт. На каждой насосной станции предусмотрено по пять рабочих и одному резервному агрегату. На стыке головной и рабочей части магистрального канала предусмотрено строительство Талимарджанского водохра-



нилища емкостью около 1,5 млрд. м<sup>3</sup>. Оно предназначено для аккумуляирования и внутригодового перераспределения расходов воды, подаваемой по головной части магистрального канала. Забирая из Амударьи 200 м<sup>3</sup>/с и накапливая воду в водохранилище в период малого водопотребления, из рабочей части магистрального канала можно орошать всю верхнюю зону Каршинской степи площадью 350 тыс. га.

Орошение нижней зоны Каршинской степи предусмотрено непосредственно из Шорсайской ветки (272 тыс. га нетто) и Шорсайского водохранилища емкостью 2,4 млрд. м<sup>3</sup> (228 тыс. га нетто). Подкомандная площадь Шорсайского водохранилища делится на зону машинного орошения (110 тыс. га) и самотечного (118 тыс. га).

Источником энергоснабжения насосных станций служит среднеазиатская энергосистема. Развитие системы за счет Нурекской ГЭС, Навоинской и строящейся Талимарджанской ГРЭС обеспечивает подачу электроэнергии насосным станциям.

Ирригационное освоение земель Каршинской степи включает также устройство коллекторно-дренажной сети. Капитальные вложения на освоение Каршинской степи Средазгипроводхлопком определены в размере 4540 млн. руб., в том числе на строительство предприятий стройиндустрии и стройматериалов, приобретение строительной техники и прочее приходится 217,3 млн. руб.

**Развитие водного хозяйства Верхней и Средней Кашкадарьи.** В зоне командования собственных источников орошения Кашкадарьинской области — р. Кашкадарья, Аксу, Танхаздарья, Яккабагдарья, Гузардарья и водохранилищ — имеется около 257 тыс. га земель, пригодных к орошению.

Объем водных ресурсов по этим источникам составляет при обеспеченности годового стока 50% — 1462 млн. м<sup>3</sup> и при 75% — 1235 млн. м<sup>3</sup>.

На основе расчетных режимов орошения и среднегодового значения КПД оросительных систем (0,76) проектное водопотребление для орошения всего массива площадью 256,4 тыс. га составляет 2400 млн. м<sup>3</sup> воды. В ближайшей перспективе, когда низовья Кашкадарьи будут переключены на питание амударьинской водой, все водные ресурсы собственного бассейна долж-



ны использоваться на орошение земель Верхней и Средней Кашкадарьи.

Земли верхней части долины (84,4 тыс. га), расположенные на высоких отметках, орошаются собственными ресурсами. Находящиеся на более низких отметках земли Кокдалинского, Сандальского и Чимкурганского массивов (151,6 тыс. га) орошаются водами р. Зарафшан, Чимкурганского, Пачкамарского водохранилищ.

Более полное использование стока рр. Кашкадарьи, Джинныдарьи, Аксу, Танхаздарьи и Яккабагдарьи достигается путем устройства двух водохранилищ с сезонным регулированием стока: Акбайского на р. Кашкадарье с полезной емкостью 95 млн. м<sup>3</sup> и строящегося Гиссаракского на р. Аксу с полезной емкостью 175 млн. м<sup>3</sup>.

Это позволит довести оросительную способность всех названных водоисточников до 84,4 тыс. га (по году 75% обеспеченности).

Гиссаракское водохранилище по своему режиму будет компенсировать при использовании на орошение свободного стока р. Танхаздарьи и Яккабагдарьи. Для этого предполагается строительство соединительного канала от водохранилища к названным рекам, по которому будет осуществляться их подпитывание во второй половине вегетационного периода. После осуществления регулирования стока Гиссаракским, Акбайским и другими мелкими водохранилищами в результате строительства соединительных каналов «Москва», Сандальский и Аксу-Яккабагский появится возможность орошения 171,5 тыс. га земель Верхней Кашкадарьи.

Свободный сток верхней Кашкадарьи в объеме 300 млн. м<sup>3</sup> предполагается аккумулировать в Чимкурганском водохранилище, что позволит оросить 30 тыс. га земель Средней Кашкадарьи. Поскольку в зоне командования Чимкурганского водохранилища расположено 69,6 тыс. га, то около 40 тыс. га земель Средней Кашкадарьи еще останутся без орошения. Поэтому для орошения этих земель предусмотрена подача воды по Чимкурганскому машинному каналу протяженностью 91 км. По длине машинного канала запроектированы восемь насосных станций.

Для орошения земель, расположенных на левом берегу Кашкадарьи, завершено строительство первой очереди Левобережного магистрального канала. Земли



Чимкурганского массива, расположенные на правом берегу Кашкадарьи (8,1 тыс. га), предусмотрено орошать из действующего Правобережного канала.

С целью дальнейшего развития орошения в Средней и Верхней Кашкадарье наряду с полным обеспечением водой всех орошаемых и пригодных к орошению земель предусматривается создание наиболее совершенных инженерных оросительных систем.

Маловодье рек собственного бассейна, трудности получения воды из запредельных источников, большие эксплуатационные издержки на подачу воды требуют экономного ее использования непосредственно в хозяйствах и на полях.

В связи с этим строительство новых и реконструкция существующих оросительных систем должны предполагать широкое осуществление противофильтрационных мероприятий на каналах. В проработках Узгипроводхоза внутрихозяйственная оросительная сеть принята комбинированной, состоящей из открытых каналов (лотков) и закрытых трубопроводов. Отвод воды осуществляется с помощью межхозяйственной и внутрихозяйственной коллекторно-сбросной и дренажной систем. Коллекторно-сбросная сеть устраивается на всей территории, дренажная сеть предусматривается только на засоленных землях.

Для выполнения намеченных мероприятий предстоит выполнить 677 млн м<sup>3</sup> земляных, 37 млн. м<sup>3</sup> бетонных работ и уложить 13 тыс. км лотков и труб, 1990 км дренажных труб.

### Переустройство оросительных систем на современном этапе

Переустройство существующей внутрихозяйственной сети до настоящего времени велось без наличия единых схем или планов и некомплексно. По запросу председателей колхозов проектной группой ОблУОС решались локальные вопросы внутрихозяйственного переустройства, как правило, в отрыве от проекта землеустройства. В связи с этим имели место случаи, когда при осуществлении межхозяйственного землеустройства часть реконструированных бетонированных каналов с инженерными сооружениями становилась бездействующей.



Основные работы по переустройству внутрихозяйственной сети состоят из бетонирования хозяйственных каналов и оснащения их необходимыми сооружениями, проведения планировки и укрупнения поливных участков, улучшения мелиоративного состояния используемых земель и увеличения площади орошаемых земель в границах хозяйств, устройства селесбросных трактов с целью предотвращения водной эрозии.

Большой объем работ в области ведется по капитальной планировке. За годы восьмой пятилетки спланировано 27 857 га, девятой — 10 599, десятой — 9400 га. Необходимо отметить, что в совхозах планировка земель осуществляется собственными землеройными механизмами.

Число точек выдела воды хозяйствам из межхозяйственной сети по районам области не одинаково. После реконструкции межхозяйственной сети в низовьях Кашкадарьи хозяйства, как правило, имеют одну-две точки выдела, реже три и более. В верхних же районах, особенно Китабском и Шахрисабзском, хозяйства имеют до 10 точек выдела и более.

Наряду с реконструкцией оросительной сети ведется строительство коллекторно-дренажной сети. За последние годы главным образом в низовьях Кашкадарьи построены крупные коллекторы: в Касанском районе — МК, МК-1, Дарча, Пулаты; в Каршинском — Каратеп-1, ЕК-4, БК, Худойзат, Д-5, Д-13; в Гузарском — Клы, ЛК-1, ЛК-2, ЛК-9, в Камашинском районе — Камай, Джамбас, Майда.

Старые оросительные системы имеют много недостатков, которые в значительной степени сдерживают развитие сельского хозяйства. Реконструкция оросительных систем, как показывает опыт, служит важным средством повышения уровня сельскохозяйственного производства. В народнохозяйственных планах переустройству оросительных систем уделяется большое внимание: достаточно сказать, что в восьмой пятилетке реконструкция оросительных систем в УзССР предусматривалась на площади 997 тыс. га, планом девятой пятилетки намечалось переустроить системы на площади свыше 250 тыс. га, десятой — 150 тыс. га. Однако фактический темп работ по переустройству не обеспечил своевременного выполнения плановых заданий. Сильно отстает проектирование, еще не создана инду-



стриальная база для выполнения работ по переустройству.

В помощь проектировщикам в 1967 г. были изданы «Временные указания по переустройству внутрихозяйственной оросительной и коллекторно-дренажной сети». В них регламентируется состав работ, устанавливается порядок проектирования схем переустройства, указываются источники финансирования. Однако отсутствие нормативных рекомендаций в этих указаниях, большой объем предстоящих работ, сжатые сроки проектирования, недостаток кадров привели к необходимости разработки «Методических указаний по составлению генеральных планов переустройства внутрихозяйственной оросительной сети на основе применения новой техники орошения и дренажа».

В этом методическом указании в зависимости от природных условий даются рекомендации по выбору размера поливных участков, удельного показателя протяженности постоянного дренажа, оптимальной поливной нормы и КПД бороздкового полива. Кроме того, для облегчения водохозяйственных расчетов приведены максимальные ординаты гидромодуля при поливе хлопчатника по бороздам и значения КПД оросительной сети, расположенной в пределах единицы водопользования.

Учитывая разнообразие природных и водохозяйственных условий в различных областях Узбекистана и отдельных зон внутри области, немаловажное научное и производственное значение при составлении генеральных планов переустройства имеет разработка на основе упомянутой методики для различных регионов области соответствующих нормативов. Для этого, как нам представляется совершенно необходимым, предстоит провести большой комплекс исследований по изучению фактических потерь воды во всех звеньях оросительной сети. Имеющиеся данные эксплуатационной гидрометрии необходимо проверить полевыми опытами. В связи с большой протяженностью бетонированных каналов необходимо изучить потери воды в них с тем, чтобы получить представление об эффективности бетонной облицовки. Неизвестны также размеры потерь воды на полях. Контрольные замеры показали, что поливные нормы на поливе хлопчатника достигают 2000 м<sup>3</sup>/га и более, а на территории одной хлопководческой бригады



одновременно поливаются несколько участков, т. е. происходит дробление поливного тока. Размеры фактических оросительных норм, величины сброса с полей, КПД техники полива — это тот комплекс вопросов, которые требуется изучить, и на их основе вскрыть резервы оросительной воды.

Предстоит также решить вопросы организации проектирования и строительства, определения экономической эффективности капитальных вложений в переустройство внутрихозяйственных систем.

## ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ОСНОВЫ ПЕРЕУСТРОЙСТВА ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

В связи с тем, что в ближайшее время переустройство внутрихозяйственной сети получит широкий размах, оно должно иметь научно-методическую основу, выраженную в генеральных планах переустройства.

При составлении генеральных планов переустройства внутрихозяйственных оросительных систем необходимо придерживаться основных принципов землеустройства.

Наряду с переустройством межхозяйственных оросительных систем должно быть осуществлено или запроектировано межхозяйственное землеустройство. Этот принцип становится особенно актуальным в условиях прогрессирующего процесса специализации и концентрации сельскохозяйственного производства. Применительно к вопросу переустройства внутрихозяйственных оросительных систем межхозяйственное переустройство определяет плановое положение инженерных коммуникаций и автомобильных дорог, связывающих хозяйства с райцентром, пунктами сдачи продукции и между собой.

Переустраиваемая оросительная система должна быть увязана со схемой районной планировки, предусматривающей концентрацию населения в крупных благоустроенных поселках и ликвидацию мелких хуторов.

Генеральный план переустройства должен основываться на проекте внутрихозяйственного землеустройства, в котором намечены перспективы развития сельскохозяйственного предприятия и территориальное размещение всех видов строительства.



В проектах внутрихозяйственного землеустройства особое внимание уделяется разработке мер по борьбе с ирригационной эрозией, а также схем сети и полива. В комплекс мероприятий по борьбе с ирригационной эрозией входят: снижение площади сопутствующих хлопчатнику пропашных культур, изменение специализации хозяйства, уменьшение севооборотных площадей до 150—300 га и, наоборот, увеличение севооборотных массивов на землях эрозионноустойчивых, расположение поливных участков длинной стороной поперек склона, привязка лесополос к водоразделам и тальвегам.

При составлении генерального плана переустройства внутрихозяйственной оросительной системы необходимо также иметь уточненный в результате дешифровки план оросительной системы в масштабе 1:10 000 с показанием точек выдела воды из межхозяйственных каналов. Это необходимо для решения вопроса о количестве внутрихозяйственных каналов, их протяженности, габаритах и, в конечном счете, стоимости сети. Поэтому выбор числа точек водовыдела является важнейшим этапом проектирования, влияющим на схему и конструкцию сети, и в связи с этим он должен проводиться на основе результатов технико-экономического сравнения вариантов схемы водозабора.

Главным этапом проектирования переустройства являются назначение типа и конструкции оросительной и коллекторно-дренажной сети, выбор поливной техники. Элементы гидромелиоративной системы выбираются предварительно по разработанным САНИИРИ для УзССР картам районирования орошаемых земель по способам и технике полива, типам и параметрам дренажа и затем увязываются между собой и уточняются, исходя из местных и хозяйственных условий.

Большое значение для выяснения эффективности переустройства имеет установление степени использования земельно-водных ресурсов. Земельный фонд опытных хозяйств характеризуется данными табл. 1.

Из табл. 1 видно, что только в хозяйствах Средней и Нижней Кашкадарьи имеются свободные земли, пригодные для орошения. При этом самый высокий удельный вес хлопчатника (66,3%) наблюдается в колхозе им. Навои, где орошается вся закрепленная за ним площадь и имеется избыток трудовых ресурсов.



## Структура посевных площадей опытных хозяйств, га

| Показатель              | Колхоз                          |                                                  |                                              |
|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                         | им. Навои<br>Кытабского<br>р-на | им. XXII<br>Партсъез-<br>да Гузар-<br>ского р-на | им. XXII<br>Партсъезда<br>Касанского<br>р-на |
| Общая площадь, га       | 1827                            | 6277                                             | 3830                                         |
| Орошаемая площадь нетто | 1540                            | 1477                                             | 1841                                         |
| в т. ч. хлопчатник      | 1020                            | 910                                              | 1025                                         |
| люцерны                 | 134                             | 266                                              | 400                                          |
| кукуруза                | 50                              | 134                                              | 100                                          |
| овощи                   | —                               | 90                                               | 40                                           |
| Сады и виноградники     | 174                             | 59                                               | 69                                           |
| Привсадебные и прочие   | 162                             | 18                                               | 207                                          |

В соответствии с природно-климатическими условиями опытных хозяйств находятся и сорт и режим орошения хлопчатника. В хозяйствах Нижней Кашкадарьи выращивается тонковолокнистый, в Верхней и Средней — средневолокнистый.

**Режим орошения хлопчатника.** С целью определения фактического режима орошения хлопчатника в ряде хозяйств были проведены исследования. Так, в колхозе им. Навои на поливном участке площадью 4,7 га с бороздами длиной до 340 м и уклоном 0,015 был установлен фактический режим орошения хлопчатника сорта 108-Ф: число поливов — 5; максимальная поливная норма нетто — 1140 м<sup>3</sup>/га, брутто — 1600 м<sup>3</sup>/га; оросительная норма нетто — 4945 м<sup>3</sup>/га, брутто 7070 м<sup>3</sup>/га; продолжительность полива — 3,1—4,3 сут; межполивной период — 12—21 сут.

Исследования САНИИРИ показали, что полив осуществляется со сбросом, достигающим в отдельные дни 51% от водоподачи. Средняя величина сброса за весь поливной период составляет 30%. Судя по отчетным данным хозяйства, число поливов хлопчатника из года в год остается неизменным.

При таком режиме орошения, характерном для хозяйства в целом, обеспечивается достаточно высокая урожайность хлопчатника — 39,7 ц/га (1967 г.), 39,1 ц/га (1972 г.).

Бригада № 8 на площади 78 га в 1969 г. получила в среднем по 35,5 ц/га. Таким образом, на получение 1 ц хлопка-сырца бригада затратила около 200 м<sup>3</sup> воды.



В колхозе им. XXII Партсъезда Гузарского района режим орошения хлопчатника изучали на поливном участке площадью 7,9 га, на котором борозды длиной 300 м были нарезаны по минимальному уклону (0,005) и полив осуществлялся через междурядье. При пяти поливах поливной нормой нетто 1615, 1530, 2070, 1850 и 960 м<sup>3</sup>/га оросительная норма составила: нетто 8025, брутто 8660 м<sup>3</sup>/га. Продолжительность поливов колебалась от 4,2 до 6,4 суток.

При таком режиме орошения хлопчатника величина сброса с поля за поливной период составила 8% от водоподачи, а урожайность в среднем по бригаде — 26 ц/га. На получение 1 ц хлопка-сырца было затрачено 309 м<sup>3</sup> воды.

В колхозе им. XXII Партсъезда Касанского района были выбраны два поливных участка, на одном из них проводился влагозарядковый полив, на втором — не проводился. На обоих полях полив осуществлялся при междурядьях 0,6 м, длине борозд 250 м, уклоне полей 0,006. Почвы представлены незасоленными светлыми сероземами, среднесуглинистыми по механическому составу. На участке с влагозарядкой было проведено четыре полива нормами нетто 942, 1630, 1670 и 1880 м<sup>3</sup>/га. Оросительная норма при этом составила нетто 6122 м<sup>3</sup>/га, брутто 7407 м<sup>3</sup>/га.

В результате исследований было установлено, что сброс воды с поливных участков в отдельные дни достигал 30% от водоподачи, а в среднем за поливной период до 15%. Урожай хлопка в среднем по бригаде был равен 27 ц/га, при этом на выращивание 1 ц было затрачено 253 м<sup>3</sup> воды.

На участке, не получившем влагозарядку, при пяти поливах поливные нормы двух первых вегетационных поливов составили: нетто 1155 м<sup>3</sup>/га, 2100 м<sup>3</sup>/га; брутто — 1208 м<sup>3</sup>/га, 2260 м<sup>3</sup>/га. Сравнение водоподачи по сумме двух первых поливов показывает, что объем поданной на 1 га воды на первом участке больше соответствующего объема воды на втором участке на 1313 м<sup>3</sup>. Считая эту величину равной норме влагозарядкового полива и учитывая то, что на первом участке проведено на полив больше, чем на втором, можно отметить преимущество влагозарядковых поливов.

В современных условиях во всех хозяйствах старой зоны орошения единицей водоиспользования является



тракторно-полеводческая бригада, за которой закрепляется 70—100 га. Перспективными считаются бригады с площадью 200—250 га. Такие бригады имеются в Каршинской и Голодной степях на землях с малыми уклонами, а также на землях со сложным рельефом и большими уклонами в Южном Казахстане. В проектах реконструкции оросительных систем опытных хозяйств предусмотрена возможность укрупнения бригад до расчетных размеров.

В районах малонаселенных с высокой нагрузкой посевной площади на одного работающего и малоуклонными землями перспективными считаются широко-рядные посевы хлопчатника с шириной междурядий 90 см. На таких посевах достигается высокая производительность труда на поливе и обработке почвы. Широкие междурядья дают возможность применять на обработках хлопчатника современные мощные трактора типа МТЗ-80 с более производительными культиваторами — восьмирядными или с фрезерными рабочими органами. Поэтому для земель с уклоном менее 0,0025 в проекте реконструкции внутрихозяйственных систем (колхоз им. XXII Партсъезда Касанского р-на) приняты широкие междурядья. Для земель Верхней и Средней Кашкадарьи, где уклоны значительно выше, ширина междурядий меньше — 60 см.

Большое значение для определения расчетных расходов внутрихозяйственных каналов имеет структура посевов, которая зависит от схемы севооборота, рекомендуемой СоюзНИХИ в зависимости от почвенно-мелиоративных условий хозяйства. Для колхоза им. XXII Партсъезда Касанского р-на, где имеются слабозасоленные земли, принят 10-польный севооборот со схемой 1:2:7.

**Потери воды в оросительных каналах.** В соответствии с требованиями водопользования и на основе технико-экономического обоснования проектом предусматриваются источники, число и место расположения точек выдела воды хозяйствам из межхозяйственных каналов. Желательно иметь минимальное число точек водовыдела (1—3).

При анализе гидрографической сети было установлено, что для колхоза им. Навои, имеющего три источника питания (родник Ходжаинкана, каналы Акиш и Аксу), целесообразно установить три точки водовыдела



вместо существующих 13, для Гузарского хозяйства три вместо 5, Касанского одну.

Большое количество существующих точек выдела воды в хозяйствах Верхней Кашкадарьи объясняется спецификой старых оросительных систем предгорной зоны, имеющих многоголовый водозабор из водных источников с незарегулированным речным стоком. После строительства водохранилищ и магистральных каналов в целях надежной эксплуатации межхозяйственной и внутрихозяйственной оросительной сети, обеспечивающей своевременную и в нужном объеме водоподачу на поля, целесообразно уменьшить количество точек водовыдела и протяженность внутрихозяйственных каналов. Строительные организации водохозяйственного профиля проводят в основном реконструкцию межхозяйственной гидромелиоративной сети. Частично они выполняют работы на внутрихозяйственных объектах — преимущественно на строительстве коллекторов и дрен. Так, на территории колхоза им. XXII Партсъезда Касанского района построены коллектора и дрены протяженностью 50 км. Однако внутрихозяйственная оросительная сеть, эксплуатируемая самими хозяйствами, находится на низком техническом уровне, в большинстве хозяйств она представлена каналами в земляном русле, извилистыми в плане без гидротехнических сооружений. Поэтому в таких каналах теряется много воды на фильтрацию, что обуславливает низкие значения КПД внутрихозяйственной сети.

Для определения эффективности переустройства внутрихозяйственных систем необходимо определить потери воды на фильтрацию в существующей системе каналов и найти связь между потерями воды и почвогрунтами для каналов разного ранга.

Учитывая многообразие свойств почвогрунтов Кашкадарьинской области, их возможно объединить в пять групп, согласно классификации почвогрунтов по водопроницаемости, разработанной Н. Т. Лактаевым применительно к районированию орошаемых земель по наиболее целесообразным способам и технике полива [12/ (табл 2).

На основе приведенных данных, пользуясь почвенными картами Узгипрозема М1:50 000, для всей области было осуществлено районирование почвогрунтов по баллам водопроницаемости. В результате районирова-



Таблица 2

## Классификация почвогрунтов по баллам водопроницаемости

| Средняя оценка мех. состава подпахотного горизонта             | Осредненная оценка мех. состава верхнего горизонта |                 |                  |                  |       |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------|------------------|------------------|-------|
|                                                                | супеси                                             | легкие суглинки | средние суглинки | тяжелые суглинки | глины |
| Галечник с песком                                              | 1                                                  | 1               | 1                | 2                | 3     |
| Супесь                                                         | 1                                                  | 1               | 2                | 3                | 4     |
| Легкий суглинок                                                | 1                                                  | 2               | 3                | 4                | 4     |
| Средний суглинок                                               | 2                                                  | 3               | 3                | 4                | 5     |
| Тяжелый суглинок                                               | 3                                                  | 4               | 4                | 5                | 5     |
| Глины и различные суглинки с наличием водопроницаемых прослоек | 4                                                  | 4               | 5                | 5                | 5     |

ния оказалось, что почвогрунты области относятся преимущественно к 2, 3, 4 и 5 баллам водопроницаемости.

Как показывает анализ, в верховьях Кашкадарьи (Китабский, Шахрисабзский и Яккабагский районы) преобладают почвогрунты 4 балла, а в низовьях — 3 балла водопроницаемости.

На основе проведенного районирования для всей области найдены площади с определенной водопроницаемостью (табл. 3).

Таблица 3

## Распределение площадей по баллам водопроницаемости

| Район         | Площадь по баллам водопроницаемости, тыс. га |        |         |         |        |
|---------------|----------------------------------------------|--------|---------|---------|--------|
|               | 1                                            | 2      | 3       | 4       | 5      |
| Гузарский     | —                                            | 356    | 32 819  | 29 906  | 11 237 |
| Каршинский    | —                                            | 6 399  | 42 325  | 17 007  | —      |
| Касанский     | 1061                                         | 8 232  | 39 875  | 9 649   | —      |
| Каманинский   | —                                            | 22 776 | 58 455  | 29 660  | —      |
| Китабский     | —                                            | 1 000  | 3 633   | 15 100  | —      |
| Ульяновский   | —                                            | 7 000  | 41 000  | 16 000  | —      |
| Чиракчинский  | 110                                          | 328    | 5 223   | 5 626   | 642    |
| Шахрисабзский | —                                            | 1 585  | 5 000   | 19 449  | —      |
| Яккабагский   | —                                            | 1 872  | 5 259   | 20 310  | 7 542  |
| Итого:        | 1171                                         | 49 547 | 233 589 | 162 710 | 19 421 |

С целью изучения потерь воды во внутрихозяйственных каналах типовых хозяйств проведено также районирование почвогрунтов на почвенных картах масштаба 1:10 000. Нанеся контуры с полученными баллами водопроницаемости на ирригационную карту такого же мас-



штаба, можно выбрать характерные каналы с целью изучения потерь воды в них.

Для определения КПД внутрихозяйственной сети предварительно необходимо провести классификацию внутрихозяйственных каналов. Согласно рекомендациям М. М. Кабакова внутрихозяйственная сеть подразделяется на три группы: 1) каналы непрерывного действия; 2) периодически действующие постоянные каналы; 3) временные оросительные каналы, размещенные непосредственно на поливном участке /7/.

В Кашкадарьинской области, где, как уже отмечалось, единицей водопользования является тракторно-полеводческая бригада, классификация каналов будет иной. Для нормально работающих внутрихозяйственных оросительных систем предлагается следующая классификация: 1) каналы непрерывного в течение поливного периода действия с постоянной рабочей длиной (внутрихозяйственные распределители); 2) каналы непрерывного действия с переменной рабочей длиной (бригадные каналы); 3) постоянные каналы периодического действия (участковые распределители). Из каналов временной регулирующей сети в области устраивают только выводные борозды.

Наибольший интерес представляет вопрос изучения потерь воды в младших звеньях внутрихозяйственной сети. Судя по данным ОблУОСа, с максимальным значением КПД работают внутрихозяйственные системы Китабского района. Системы же нижних районов, особенно Касанского, имеют очень низкий КПД.

В связи с этим в качестве основных объектов исследования в этом районе были выбраны внутрихозяйственные системы колхозов им. XII партсъезда, им. Ленина и им. Ульянова. Практическую применимость полученных результатов для систем других районов предполагалось проверить в хозяйствах Средней (Чиракчинский и Гузарский районы) и Верхней Кашкадарьи (Китабский и Шахрисабзский районы).

Потери воды измерялись общеизвестным балансовым методом, т. е. по разности расходов верхнего и нижнего водослива, а при наличии забора на участке забираемые расходы минусовались по всем работающим водовыделам.

На главных хозяйственных и межбригадных каналах средних размеров потери определялись для пяти расходов



воды: среднедействующего за вегетационный период —  $Q_{\text{ср}}$ , а также при расходах, соответствующих, примерно,  $1,25-1,30 Q_{\text{ср}}$ ;  $0,75 Q_{\text{ср}}$ ,  $0,50 Q_{\text{ср}}$  и  $0,25 Q_{\text{ср}}$ . Если максимальный расход какого-либо главного канала хозяйства сильно отличается от его среднего вегетационного ( $Q_{\text{макс}} = 1,5-2 Q_{\text{ср}}$ ), то определялись потери и при максимальном расходе этого канала. В результате получалась дополнительная, очень важная точка на графике зависимости потерь от расходов.

Фактические расходы периодически действующих каналов и пропускная способность их в условиях Кашкаринской области колеблется от 20 до 40 л/с. Для этой категории сети нет понятия минимальных, нормальных и максимальных расчетных расходов; можно говорить о рабочем расходе канала, который, однако, тоже меняется во времени в зависимости от водообеспеченности системы или от числа поливальщиков.

Потери на балансовых участках, периодически действующей сети, измерялись при трех расходах  $Q_{\text{min}}$ ,  $Q_{\text{ср}}$ ,  $Q_{\text{max}}$ .

Полевые опыты по определению потерь в каналах периодически действующей сети на каждом выбранном опытном участке проводились три раза за вегетацию.

По результатам опытов определения потерь в постоянно действующей сети на графике с логарифмическими шкалами строились кривые  $\sigma = f(Q_p)$ , где  $\sigma$  — относительные потери в % на 1 км от расчетного расхода.

Расчетным расходом считается среднеарифметический расход верхнего и нижнего водосливов, если на балансовом участке не было забора воды между водосливами. Если же на участке во время опытов производился забор воды в створы, то расчетный расход определяется по формуле:

$$Q_p = Q_v - \sum \frac{Q_0 l_0}{l}, \quad (1)$$

где  $Q_v$  — расход верхнего водослива;

$Q_0$  — расход в створе (поочередно);

$l_0$  — расстояние от места отвода до нижнего водослива;

$l$  — длина исследованного участка.

Для получения зависимости  $\sigma = f(Q_p)$  можно использовать (как наиболее точный) метод наименьших квадратов.



Параметры уравнения прямой ( $A$  и  $n$ ) определяются в результате решения системы двух уравнений

$$\begin{aligned} N \lg A + n \sum_{i=1}^N \lg Q_i &= \sum_{i=1}^N \lg \sigma_i, \\ A \sum_{i=1}^N \lg Q_i + n \sum_{i=1}^N (\lg Q_i)^2 &= \sum_{i=1}^N \lg Q_i \lg \sigma_i. \end{aligned} \quad (2)$$

Методика обработки результатов измерения в каналах периодического действия имеет свои особенности. В настоящее время разработана методика, сущность которой заключается в том, что в начале необходимо получить зависимость  $\sigma = f(Q)$  для периода установившейся фильтрации, т. е. на этом этапе необходимо произвести те же вычисления, что и для постоянно действующих каналов. Затем следует установить закономерность изменения относительных потерь воды во времени от начала работы канала до стабилизации потерь воды.

Далее, следуя (7), по полученной зависимости  $\sigma_t = f(t)$  и величине  $\sigma_{уст}$ , необходимо определить коэффициент периодичности, который характеризует величину потерь в периодически действующем канале в различные моменты времени. Величина его определяется по следующей формуле

$$\rho_{\tau} = \frac{\sigma_t}{\sigma_{уст}}. \quad (3)$$

Для расчета потерь воды в каналах рекомендуется в формулы относительных потерь вводить коэффициент периодичности, т. е.

$$\sigma = \rho_{t_{ср}} \frac{A}{Q^n}. \quad (4)$$

Однако такой метод определения потерь воды является не точным и не отражает физическую сущность процесса фильтрации для каналов периодического действия.

Исследованиями установлено, что потери воды в периодически действующих каналах в зависимости от времени могут быть выражены следующим соотношением

$$\sigma_t = \frac{B}{t^{\alpha}} + \frac{A}{Q^n}, \quad (5)$$



которое справедливо при  $t \leq T$ , где

$$T = \left( \frac{B}{\sigma_1 - \frac{A}{Q^n}} \right)^{\frac{1}{\alpha}}.$$

Для определения параметров этой формулы полевыми исследованиями необходимо установить продолжительность стадии впитывания и зависимость  $\sigma = f(t)$  для почвогрунтов различной водопроницаемости. Параметр  $B$  находят из выражения (5) при подстановке в него  $t = 1$  час:

$$B = \sigma_1 - \frac{A}{Q^n}. \quad (6)$$

Параметр  $\alpha$  определяется из выражения (5) при подстановке в него опытных  $t$  и соответствующих  $\sigma_t$ :

$$t^\alpha = \frac{B}{\sigma_t - \frac{A}{Q^n}}. \quad (7)$$

После нахождения параметров формулы (5) определяют абсолютные потери

$$S = 0,01lQ \left( \frac{B}{t^\alpha} + \frac{A}{Q^n} \right) \quad (8)$$

и объем потерь за период  $dt$

$$Sdt = 0,01lQ \left( \frac{B}{t^\alpha} + \frac{A}{Q^n} \right) dt. \quad (9)$$

Интегрированием (9) получим

$$v_{\text{пот}} = 0,01lQt \left[ \frac{B}{(1-\alpha)t^\alpha} + \frac{A}{Q^n} \right]. \quad (10)$$

Таким образом, КПД периодически действующих каналов зависит не только от расхода фильтрационных свойств грунта, но и от времени действия ( $t$ ).

$$\eta = \frac{Qt - v_{\text{пот}}}{Qt} = 1 - \frac{v_{\text{пот}}}{Qt}. \quad (11)$$

Подставив (10) в (11), можно получить выражение

$$\eta = 1 - 0,01l \left[ \frac{B}{(1-\alpha)t^\alpha} + \frac{A}{Q^n} \right]. \quad (12)$$



Исследования потерь воды в постоянно действующей сети проводились на внутрихозяйственных каналах, объединенных в одну группу по одинаковой водопроницаемости грунтов. Потери воды определялись на системах, расположенных в верхнем, среднем и нижнем течении р. Кашкадарьи: в земляных каналах Анхор-2 и его ветвях Анхор-2 контрольный и Тегерман, Искибог-2 и Хардури системы Левобережного канала в Гузарском районе, Янгиарык и Гадан в Касанском районе.

По данным этих исследований определены относительные потери. В качестве примера обработки результатов исследований по системе канала Анхор-2 табл. 4 приводятся расчетные расходы и соответствующие им относительные потери. В этой же таблице произведены необходимые вычисления для получения зависимости  $\sigma = f(Q)$ .

Т а б л и ц а 4

Зависимость относительных потерь воды на фильтрацию от расчетных расходов воды внутрихозяйственных каналов

| $Q_p$ *  | $\sigma$ | $\lg Q$ | $\lg \sigma$ | $\lg Q \lg \sigma$ | $(\lg Q)^2$ |
|----------|----------|---------|--------------|--------------------|-------------|
| 3,91     | 2,2      | 0,593   | 0,343        | 0,203              | 0,350       |
| 1,67     | 3,0      | 0,223   | 0,477        | 0,107              | 0,050       |
| 1,15     | 5,2      | 0,062   | 0,716        | 0,044              | 0,044       |
| 0,6      | 4,7      | -0,222  | 0,673        | -0,150             | 0,050       |
| 0,5      | 6,7      | -0,300  | 0,826        | -0,248             | 0,090       |
| 1,77     | 4,4      | 0,249   | 0,644        | 0,160              | 0,062       |
| 0,65     | 7,0      | -0,187  | 0,845        | -0,158             | 0,035       |
| 0,48     | 6,0      | -0,318  | 0,778        | -0,248             | 0,100       |
| $\Sigma$ |          | 0,1     | 5,02         | -0,29              | 0,741       |

\* Расчетные расходы определены как средневзвешенные.

По данным табл. 4 составляется система уравнений

$$\begin{aligned} 8 \lg A + n 0,1 &= 5,302, \\ A \lg 0,1 + n 0,741 &= -0,29, \end{aligned} \quad (13)$$

в результате решения которой получаются следующие значения параметров:  $A = 4,66$  и  $n = 0,5$ .

Таким образом, зависимость  $\sigma = f(Q)$  для системы канала Анхор-2 принимает вид:

$$\sigma = \frac{4,66}{Q^{0,5}} \quad (14)$$



Исследования потерь воды в бригадных каналах постоянно действующих с переменной рабочей длиной проводились на каналах 1, 2, 3 и 5 бригад колхоза им. XXII Партсъезда, 1 бригады колхоза им. Ульянова, 2 бригады колхоза им. Ленина. В результате обработки опытных данных, полученных для каналов, проложенных в почвогрунтах с различной водопроницаемостью, выведены формулы, выражающие зависимость

$$\sigma = \frac{A}{Q^n} \quad (15)$$

Для почвогрунтов 2, 3, 4 и 5 балла водопроницаемости параметры формулы А. Н. Костякова имеют следующие значения:  $A$ -2,85; 1,78; 1,47; 1,29;  $n$ -0,77; 0,70; 0,67; 0,65.

Приведенные выше зависимости были получены в результате исследований, проведенных в хозяйствах Касанского района. Для проверки их в других условиях были проведены исследования в Чиракчинском, Китабском и Гузарском районах Кашкадарьинской области. Кроме того, были использованы материалы Ферганской экспедиции САНИИРИ и М. М. Кабакова.

Результаты обработки этих материалов показали, что все полученные точки на графике плотно лежат около прямых, соответствующих потерям воды из каналов Касанского района. Это говорит о том, что полученные зависимости достаточно точно аппроксимируют относительные потери в бригадных каналах, расположенных на почвогрунтах 2—5 баллов водопроницаемости.

Исследования потерь воды в постоянных каналах периодического действия проводились в бригадных каналах колхозов Касанского района, когда в соответствии с водооборотом они работали поочередно в течение трех суток.

Для каналов, проходящих в грунтах 2, 3 и 4 балла водопроницаемости, в выражении (5) параметры имеют следующие значения:  $B$ -58; 56,5;  $A$ -2,85; 1,78;; 1,47;  $\alpha$ -0,77; 0,70; 0,70;  $n$ -0,77; 0,70; 0,67.

Для определения КПД системы хозяйственного распределителя в колхозе им. XXII Партсъезда Касанского района в результате проведенной инструментальной съемки внутрихозяйственного канала «Гулистан» составлена его линейная схема. Так как канал проходит в бетонированном и земляном русле, то КПД канала



необходимо определять как средневзвешенную величину.

В результате расчетов было получено максимальное значение КПД канала «Гулистан», равное 0,93.

Для определения КПД системы внутрихозяйственного канала необходимо найти КПД всех звеньев сети. В связи с тем, что на оросительных системах Касанского района временные оросители не устраиваются, достаточно определить КПД участковых распределителей. Система участковых распределителей — их плановое расположение и режим работы — изучалась в третьей и пятой бригадах.

Результаты изучения показали, что время работы участковых распределителей, т. е. время полива одного участка, колеблется от 3 до 5 суток. Поэтому на участковых распределителях, как на каналах периодического действия, потери воды определялись по формуле (12). Средний КПД участковых распределителей для двух бригад составил 0,91.

Бригадные каналы в течение вегетационного периода имеют переменную рабочую длину. В связи с этим при определении абсолютных потерь следует учитывать средневзвешенную длину канала.

Для этого необходимо иметь схему бригадной сети. В качестве примера взят бригадный канал двухстороннего командования, с каждой стороны которого расположено по 6 поливных участков площадью 8—10 га. С одной стороны участки имеют номера 1, 3, 5, 7, 9, 11 и с другой — 2, 4, 6, 8, 10, 12. Допустим, что одновременно могут поливаться два любых участка, т. е. имеет место любое сочетание двух поливаемых участков из 12. Тогда число всевозможных сочетаний 2 из 12 составит:

$$C_{12}^2 = \frac{12!}{2!10!} = 66.$$

Теперь необходимо найти связь номеров поливаемых участков и длины бригадного канала. Очевидно, что при подаче воды в 1 и 11, в 7 и 11 или в 6 и 12 поливные участки, канал будет работать на всей длине и, наоборот, при поливе 1 и 2 участка, расположенных в голове канала, его рабочая длина будет равна 0.

В табл. 5 приводится соотношение рабочей длины, выраженной в долях от полной длины, и номеров поливаемых участков.



Таблица 5

Зависимость рабочей длины канала от местоположения поливных участков

| $l_{\text{раб}} = 1$ | $l_{\text{раб}} = 0,8$ | $l_{\text{раб}} = 0,6$ | $l_{\text{раб}} = 0,4$ | $l_{\text{раб}} = 0,2$ | $l_{\text{раб}} = 0$ |
|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|
| 1, 11                | 1,9                    | 1,7                    | 1,5                    | 1,3                    | 1,2                  |
| 1, 12                | 1,10                   | 1,8                    | 1,6                    | 1,4                    |                      |
| 2, 11                | 2,9                    | 2,7                    | 2,5                    | 2,3                    |                      |
| 2, 12                | 2,10                   | 2,8                    | 2,6                    | 2,4                    |                      |
| 3, 11                | 3,9                    | 3,7                    | 3,5                    | 3,4                    |                      |
| 3, 12                | 3,10                   | 3,8                    | 3,6                    |                        |                      |
| 4, 11                | 4,9                    | 4,7                    | 4,5                    |                        |                      |
| 4, 12                | 4,10                   | 4,8                    | 4,6                    |                        |                      |
| 5, 11                | 5,9                    | 5,7                    | 5,6                    |                        |                      |
| 5, 12                | 5,10                   | 5,8                    |                        |                        |                      |
| 6, 11                | 6,9                    | 6,7                    |                        |                        |                      |
| 6, 12                | 6,10                   | 6,8                    |                        |                        |                      |
| 7, 11                | 7,9                    | 7,8                    |                        |                        |                      |
| 7, 12                | 7,10                   |                        |                        |                        |                      |
| 8, 11                | 8,9                    |                        |                        |                        |                      |
| 8, 12                | 8,10                   |                        |                        |                        |                      |
| 9, 11                | 9,10                   |                        |                        |                        |                      |
| 9, 12                |                        |                        |                        |                        |                      |
| 10, 11               |                        |                        |                        |                        |                      |
| 10, 12               |                        |                        |                        |                        |                      |
| 11, 12               |                        |                        |                        |                        |                      |
| Σ 21                 | 17                     | 13                     | 9                      | 5                      | 1                    |

Из данных табл. 5 видно, что в 21 случае канал работает полной длиной, в 17 случаях рабочая длина составляет 0,8 полной длины, в 13 случаях — 0,6, в 9 случаях — 0,4, в 5 случаях — 0,2, в одном случае — 0. Таким образом, имеется 6 гипотез, вероятности которых равны  $P(H_1)=1$ ,  $P(H_2)=0,8$ ,  $P(H_3)=0,6$ ,  $P(H_4)=0,4$ ,  $P(H_5)=0,2$ ,  $P(H_6)=0$ .

Первой гипотезе соответствует условная вероятность

$$P_{H_1}(A) = \frac{21}{66} = 0,318, \text{ второй } P_{H_2}(A) = \frac{17}{66} = 0,257,$$

третьей  $P_{H_3}(A) = \frac{13}{66} = 0,197$ , четвертой  $P_{H_4}(A) =$

$$= \frac{9}{66} = 0,137, \text{ пятой } P_{H_5}(A) = \frac{5}{66} = 0,076,$$

$$\text{шестой } P_{H_6}(A) = \frac{1}{66} = 0,015.$$



В соответствии с формулой полной вероятности находим вероятность того, что канал будет работать в течение поливного периода полной длиной:

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(H_i) P_{H_i}(A). \quad (16)$$

$$P(A) = 1 \times 0,318 + 0,8 \times 0,257 + 0,6 \times 0,197 + 0,4 \times 0,137 + 0,2 \times 0,076 + 0 \times 0,015 = 0,71.$$

Исследования показывают, что эта вероятность зависит от схемы бригадной сети и находится в пределах 0,55—0,76.

В результате расчетов потерь воды в бригадных распределителях были получены следующие значения КПД: 3 бригада — 0,9; 5 бригада — 0,87. КПД системы бригадных распределителей определяется путем умножения КПД участковых и бригадных распределителей. Среднее значение КПД системы бригадных каналов оказалось равным 0,80.

КПД системы внутрихозяйственного канала «Гулистан» находится в результате перемножения КПД канала и системы бригадных распределителей —  $0,93 \times 0,8 = 0,74$ .

Исследованиями установлены также значения КПД внутрихозяйственной системы колхозов им. Навои — 0,76 и им. XXII Партсъезда Гузарского района — 0,72.

Потери воды и КПД межхозяйственной сети воды в водных трактах и межрайонных каналах определялись обычным балансовым методом. При этом закрывали насухо мелкие отводы, чтобы упростить работы и повысить точность результатов.

По данным полевых замеров определяли абсолютные фактические потери на участке

$$S = Q_r - Q_n - Q_{отв} + Q_{сбр} \quad (17)$$

и строили зависимости  $S = f(Q_r)$ .

Определение удельных потерь в % на 1 км от расчетного расхода является обязательным для такого рода исследовательских работ.

Удельные потери, выраженные в процентах от действующего, средневзвешенного по длине расхода, высчитывали по формуле

$$\sigma = \frac{S \cdot 100}{Q_p L}, \quad (18)$$



где  $L$  — длина участка;  
и строили кривые  $\sigma = f(Q_p)$  в логарифмической сетке.

Как результат исследований строились зависимости КПД канала от расхода в голове  $\eta = f(Q_r)$

Величина удельных потерь служит контролем точности работ. Только удельные, а не абсолютные потери позволяют сопоставлять каналы друг с другом по присущим им фильтрационным свойствам, районировать территорию и назначать правильную очередность анти-фильтрационных мероприятий. Однако применяемая в эксплуатационной гидрометрии методика вычисления удельных потерь в % от головного расхода не верна, т. к. головной расход при неравномерной отдаче воды по пути при незакономерном расположении отводов и разных водозаборов даже приблизительно не может характеризовать среднедействующий расход по длине канала (или среднедействующий смоченный периметр). «Фактические» удельные потери, отнесенные к головному расходу, получаются сильно заниженными по сравнению с действующими удельными потерями, определяемыми от расчетного расхода. Для определения расчетного расхода рекомендуется пользоваться формулой, предложенной М. М. Кабаковым [7].

Как показал анализ, данные эксплуатационной гидрометрии хорошо согласуются с проведенными контрольными замерами. Учитывая надежность гидрометрических наблюдений и возможность устранения ошибок в результате обработки их по закону больших чисел, необходимо шире использовать их в планах водораспределения. Кроме того, при ежегодной обработке этих данных с помощью ЭВМ можно установить закономерность изменения КПД в течение многолетнего периода эксплуатации.

В области большое распространение получило бетонирование каналов. Выборочно бетоном облицованы все звенья распределительной сети: магистральные, межхозяйственные и внутрихозяйственные каналы. Для установления потерь воды из бетонированных каналов были проведены исследования на каналах Чоршанбе, Правобережном из Чимкуртанского водохранилища на его бетонированном участке, Левобережном в Гузарском районе, Адамбармас и Гадан. Обработкой результатов исследований установлена связь между относи-



тельными потерями и расчетными расходами (15), в которой  $A=0,9$ ;  $n=0,62$ .

Сравнение потерь воды по каналам с бетонной облицовкой и без нее показывает, что в бетонированных каналах относительные потери воды в 3—5,5 раза меньше.

На основании проведенных исследований можно судить об эффективности бетонирования как средства борьбы с потерями воды на фильтрацию. Для этого предварительно необходимо установить перспективные значения КПД межхозяйственной сети. В перспективе для системы межхозяйственных каналов Узгипроводхозом принят КПД, равный 0,95. Однако практика показывает, что при хорошем качестве производства бетонных работ КПД межхозяйственной сети можно повысить до 0,98. Поэтому среднее значение КПД сети по области для перспективы нами принято равным 0,96.

**Техника и технологические схемы полива.** Элементы внутрихозяйственной оросительной системы, такие как тип и конструкция оросительной сети, технологическая схема, способ и техника полива во многом зависят от природных условий, преимущественно от уклонов местности и водопроницаемости почв. Последние устанавливаются в результате анализа материалов планово-высотной съемки и почвенных карт масштаба 1:10 000. В опытных хозяйствах природные условия различны. Если в колхозе им. Навои преобладающим является уклон местности 0,01, то в хозяйствах Гузарского и Касанского районов — 0,0075 и 0,0025 соответственно. Это обусловило применение в хозяйствах Верхней и Средней Кашкадарьи совершенного типа сети — закрытой, состоящей из подземных трубопроводов.

Многочисленными исследованиями доказано, что применение такой сети экономически обосновано при уклонах свыше 0,0025—0,003. В равнинных условиях (уклоны менее 0,0025—0,003) выгоднее открытая сеть из облицованных бетоном каналов или каналов из сборных железобетонных лотков.

По способу создания напора в закрытой сети, необходимого для преодоления трения, возникающего при движении потока воды по трубам, и вывода воды в поливное устройство различают сеть самотечно-напорную и с машинной водоподачей. Закрытая сеть с насосной станцией (гидравлический комплекс «насосная станция — закрытая сеть») иногда бывает экономичнее



самотечно-напорной. Так, в совхозе «Фархад» (Сырдарьинская область Янгийерский район) закрытая сеть с машинной водоподачей в зоне М-1 оказалась эффективнее оросительной системы, состоящей из открытого в бетонной облицовке хозяйственного канала и самотечно-напорных подземных трубопроводов. В колхозе им. Свердлова Тюрякурганского района Наманганской области для орошения массива площадью 500 га с перепадом высот 100 м построена разветвленная закрытая оросительная сеть с машинной водоподачей.

Для типовых хозяйств Китабского и Гузарского районов по природным и хозяйственным условиям принята комбинированная оросительная сеть, состоящая из открытых внутрихозяйственных каналов (бетонированных и лотковых) и закрытых бригадных. Причем в колхозе им. Навои из-за сложного рельефа местности запроектирована разветвленная закрытая сеть, состоящая из трубопроводов разного порядка. Конструкция трубопроводов, т. е. диаметр труб и толщина стенок, устанавливаются по результатам специальных расчетов.

Конструкция внутрихозяйственной сети и ее положение в плане существенно зависят от расчетной схемы полива. Различают две принципиальные схемы полива — продольную и поперечную. Область применения каждой из них предварительно определяется по результатам районирования орошаемой площади по уклонам земли и водопроницаемости почв согласно данным табл. 6 [12].

Затем, исходя из местных и хозяйственных условий, объема планировочных работ, уточняются результаты

Таблица 6

Зависимость технологических схем полива от водопроницаемости почвогрунтов и уклона поверхности земли

| Индекс           | Уклон           | Водопроницаемость по баллам |   |   |   |   |
|------------------|-----------------|-----------------------------|---|---|---|---|
|                  |                 | 1                           | 2 | 3 | 4 | 5 |
| I                | 0,02            | +                           | + | + | + | + |
| II               | 0,02 — 0,0075   | +                           | + | + | + | + |
| III              | 0,0075 — 0,005  | +                           | + | + | + | + |
| III <sub>a</sub> | 0,005 — 0,0025  | +                           | + | — | — | — |
| IV               | 0,0025 — 0,0005 | +                           | — | — | — | — |
| V                | 0,0005          | +                           | + | — | — | — |

Примечание. Знаком + отмечены области применения продольной, а знаком — поперечной схемы полива.



предварительного районирования. В соответствии с этими условиями для хозяйств Верхней и Средней Кашкадарьи рекомендована продольная схема, для Нижней Кашкадарьи — преимущественно поперечная. При поперечной схеме полива расстояние между участковыми распределителями определяется длиной борозды и условиями командования каналов. Для колхоза им XII Партсъезда Касанского района при длине борозд 300—400 м, назначаемой по данным табл. 17, расстояние между распределителями кратно этой величине.

При продольной схеме полива расстояние между участковыми распределителями зависит от параметров поливного устройства — длины и диаметра — и может быть экономически обосновано. Для этого следует предварительно провести районирование орошаемой площади по способам и технике полива.

**Техника полива.** Согласно проведенному районированию территории области по способам и технике полива, земли Верхней и Средней Кашкадарьи должны поливаться только поверхностным способом. Исходя из этого положения, пользуясь почвенной и рельефной картами масштаба 1:10 000, проводится районирование орошаемых земель хозяйств по наиболее целесообразным видам техники поверхностного полива. Технику полива рекомендуется выбирать в зависимости от природных условий по табл. 7.

Таблица 7

Вид поливной техники в зависимости от природных факторов

| Водопроницаемость почвогрунтов по баллам | Уклон местности |               |                 |                |              |
|------------------------------------------|-----------------|---------------|-----------------|----------------|--------------|
|                                          | 0,05 — 0,02     | 0,02 — 0,0075 | 0,0075 — 0,0025 | 0,0025 — 0,001 | меньше 0,001 |
| I                                        | 4               | 3             | 3               | 5              | 6            |
| II                                       | 2               | 4             | 3               | 5              | 6            |
| III                                      | 2               | 4             | 3               | 5              | 6            |
| IV                                       | 1               | 4             | 3               | 5              | 6            |
| V                                        | 1               | 1             | 1               | 1              | 6            |

В табл. 7 индексом 1 обозначен полив с помощью стационарных лотков и трубопроводов автоматизированного распределения воды между бороздами; 2 — полив с помощью подземных трубопроводов (система Шарова-Шейнкина); 3 — полив гибкими и жесткими трубопроводами из закрытых водоводов; 4 — полив из комбинированной оросительной сети гибкими трубопро-



водами; 5 — полив гибкими и жесткими трубопроводами из железобетонных лотков; 6 — полив гибкими трубопроводами (машинами с механической подкачкой).

По результатам районирования территории типовых хозяйств по природным условиям установлены возможные сочетания поливной техники и оросительной сети (табл. 8).

Т а б л и ц а 8

Распределение площади типовых хозяйств по видам поливной техники, %

| Вид поливной техники                                        | Колхоз                            |                                                |                                              |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                                                             | им. Навои<br>Китабского<br>р - на | им. XXII<br>Партсъезда<br>Гузарского<br>р - на | им. XXII<br>съезда Ка-<br>санского<br>р - на |
| Лоток автоматизированного полива                            | 12                                | 20                                             | 15                                           |
| Подъемный поливной трубопровод                              | 2                                 | —                                              | 3                                            |
| Гибкие и жесткие поливные трубо-<br>проводы (сеть закрытая) | 72                                | 42                                             | 5                                            |
| Гибкие поливные трубопроводы (ком-<br>бинированная сеть)    | 14                                | 38                                             | —                                            |
| Гибкие и жесткие поливные трубопро-<br>воды (сеть лотковая) | —                                 | —                                              | 65                                           |
| Гибкие поливные трубопроводы с<br>механической подачей воды | —                                 | —                                              | 12                                           |

Как видно из данных табл. 8, наибольший удельный вес приходится на гибкие и жесткие поливные трубопроводы. Причем на площадях с продольной схемой полива следует отдать предпочтение гибким шлангам, имеющим большую пропускную способность. Для закрытой оросительной сети с поливом гибкими шлангами на примере колхоза им. Навои проведен расчет по обоснованию параметров сети.

Для установления оптимального расстояния между транспортирующими трубопроводами сравниваются несколько вариантов с расстоянием между трубопроводами 300, 500 и 800 м.

В первом варианте расстояние между трубопроводами 300 м, следовательно, при двустороннем командовании трубопроводов длина гибкого поливного трубопровода (ГПТ) составляет 150 м. Зная величину расхода воды в борозду — 0,20 л/с и ширину междурядий — 0,6 м определяем расход ГПТ

$$Q = \frac{150}{0,6} \cdot 0,20 = 50 \text{ л/с.}$$



Во втором варианте расстояние между асбестоцементными трубопроводами составляет 500 м, длина ГПТ — 250 м. При тех же элементах бороздкового полива, что и в первом варианте, расход ГПТ будет равен:

$$Q = \frac{250}{0,6} \cdot 0,20 = 80 \text{ л/с.}$$

В третьем варианте при расстоянии между подземными трубопроводами 800 м, длине ГПТ 400 м, расход его равен:

$$Q = \frac{400}{0,6} \cdot 0,20 = 130 \text{ л/с.}$$

Для сравнения данных вариантов необходимо для каждого из них получить экономически выгодный диаметр ГПТ, который, имея минимальный размер, обеспечивает заданные потери напора по длине.

Для каждого из перечисленных вариантов задаемся различными диаметрами ГПТ и определяем потери напора по длине.

Расчеты по определению гидравлических элементов ГПТ для расчетных вариантов приводятся в табл. 9.

Таблица 9

Расчет гидравлических элементов гибких поливных трубопроводов

| Наименование                              | Гидравлические элементы ГПТ |                      |                      |
|-------------------------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|
|                                           | $d = 250 \text{ мм}$        | $d = 300 \text{ мм}$ | $d = 350 \text{ мм}$ |
| Площадь поперечного сечения, $\text{м}^2$ | 0,0441                      | 0,0636               | 0,0866               |
| Гидравлический радиус, м                  | 0,0563                      | 0,075                | 0,0875               |
| Коэффициент Шези                          | 56,1                        | 58,0                 | 59,5                 |
| Расходная характеристика                  | 0,343                       | 0,92                 | 2,09                 |
| Потери напора по вариантам, м             |                             |                      |                      |
| I   ( $Q = 50 \text{ л/с}$ )              | 0,61                        | 0,23                 | 0,10                 |
| II  ( $Q = 80 \text{ л/с}$ )              | 1,13                        | 0,78                 | 0,61                 |
| III ( $Q = 130 \text{ л/с}$ )             | 2,66                        | 1,73                 | 1,28                 |

Из условия достижения равномерного распределения воды вдоль фронта полива из нескольких значений диаметров выбирается то, при котором напор в конце ГПТ составляет не менее  $1,5-2d_{\text{шл}}$ , а потери напора находятся в пределах  $2-3 d_{\text{шл}}$ . Максимальный же напор в голове ГПТ из условий прочности не может превышать  $2,5-3 \text{ м}$  ( $0,025-0,03 \text{ МПа}$ ).



Расчеты показывают, что, исходя из этих условий, для первого варианта, где расстояние между транспортирующими трубопроводами равно 300 м и расход ГПТ составляет 50 л/с, за расчетный необходимо принять диаметр 250 мм, для второго варианта — 300 мм, для третьего — 350 мм.

На основе полученных гидравлических элементов ГПТ и закрытых водоводов можно осуществить технико-экономическое сравнение различных вариантов оросительных устройств с целью выявления наиболее экономичного из них (табл. 10).

Сравнение проводится по приведенной стоимости, исходя из следующих допущений:

производительность труда при поливе во всех вариантах принимается одинаковой;

ежегодные издержки на приобретение ГПТ при уклоне местности 0,01, грунтах средней водопроницаемости и длине борозды 200 м определяются, исходя из удельной протяженности 10 м/га и срока службы 3,3 и 4 года соответственно по ГПТ с диаметрами 350, 300 и 250 мм.

Таблица 10

Технико-экономическое сравнение различных вариантов оросительных устройств

|                                                                                                      | Вариант                  |                           |                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|
|                                                                                                      | I<br>В-300 м<br>d-250 мм | II<br>В-500 м<br>d-300 мм | III<br>В-800 м<br>d-350 мм |
| Стоимость 1 м ГПТ, руб.                                                                              | 3,5                      | 4,1                       | 4,8                        |
| Удельная стоимость приобретения ГПТ при $i_{уд}=10$ м/га, руб/га                                     | 8,8                      | 13,6                      | 16,7                       |
| Удельная протяженность закрытой сети, м/га                                                           | 33,3                     | 20,0                      | 12,5                       |
| Стоимость 1 м асбестоцементного трубопровода (в 1,2 вариантах d=322 мм, в 3 варианте d=456 мм), руб. | 5,9                      | 5,9                       | 10,3                       |
| Удельная стоимость закрытой сети, руб./га                                                            | 196,0                    | 118,0                     | 128,7                      |
| Удельная приведенная стоимость системы при нормативном сроке окупаемости 8 лет, руб/га               | 266,5                    | 227,0                     | 256,7                      |

Из табл. 10 видно, что минимум удельной приведенной стоимости системы (227 руб./га) соответствует второму варианту. Таким образом, в результате сравне-



ния различных вариантов, наиболее экономичным оказывается вариант сети с расстоянием между закрытыми транспортирующими трубопроводами 500 м. Диаметр ГПТ при таком расстоянии между трубопроводами — 300 мм, расход — 80 л/с. Следовательно, на одном транспортирующем трубопроводе одновременно могут работать два с пропускной способностью 75 л/с каждый.

В соответствии с полученными параметрами запроектирована оросительная сеть для хозяйств Китабского и Гузарского районов. В колхозах им. Навои и XXII Партсъезда Касанского района часть оросительных каналов, отвечающих современным требованиям, сохраняется, большинство же ликвидируется. В хозяйствах Верхней и Средней Кашкадарьи старая водосборно-сбросная сеть также используется частично, так как при наличии закрытой сети и качественном поливе сбросы с полей и каналов значительно уменьшаются. В колхозе им. XXII Партсъезда Касанского района протяженность существующей коллекторно-дренажной сети увеличивается до норматива (35 м/га).

В результате проектирования типовых элементов оросительной и коллекторно-дренажной сети, составления проектов капитальной планировки, засыпки старых русел, новых полевых дорог и лесополос определены удельные объемы работ, на основе которых подсчитывались общие объемы работ и стоимость переустройства.

### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАПИТАЛЬНЫХ ВЛОЖЕНИЙ В ПЕРЕУСТРОЙСТВО ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Объективность и достоверность определения технико-экономических показателей переустройства внутрихозяйственных гидромелиоративных систем является одним из актуальных методологических вопросов эффективности капитальных вложений в мелиорацию. Эффективность капитальных вложений в переустройство гидромелиоративных систем определяется путем сравнения показателей использования земельно-водных ресурсов до и после реконструкции.

Существующая методика определения эффективности капитальных вложений предопределяет следующую систему технико-экономических показателей для опреде-



ления экономической эффективности капитальных вложений в переустройство гидромелиоративных систем [6]:

капитальные вложения в гидромелиоративное строительство;

площадь орошаемых земель;

коэффициент земельного использования;

использование водных ресурсов;

дополнительный объем сельскохозяйственной продукции, полученной в результате переустройства;

дополнительные затраты сельского и водного хозяйства;

стоимость дополнительной валовой продукции, дополнительный чистый доход, полученный в результате переустройства;

показатели экономической эффективности капитальных вложений — срок окупаемости и коэффициент эффективности.

При этом срок окупаемости рассчитывается по формуле

$$T = \frac{K_n}{ЧД}, \quad (19)$$

где  $T$  — срок окупаемости капитальных вложений в переустройство;

$K_n$  — сумма капитальных вложений в переустройство;

$ЧД$  — дополнительный чистый доход, полученный в результате переустройства.

Коэффициент эффективности капитальных вложений ( $\mathcal{E}_n$ ) определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_n = \frac{ЧД}{K_n}. \quad (20)$$

При определении суммы капитальных вложений в переустройство учитывали климатические условия, которые позволяют вести переустройство в невегетационный период, продолжительность которого в Кашкадарьинской области составляет 4—5 месяцев. Поэтому нами не учитывались затраты, связанные с недоиспользованием орошаемых земель в результате переустройства.

Величина капитальных вложений (табл. 11) определена на основе расчетного объема работ и нормативов капитальных вложений в ирригационное строительство.



**Капитальные вложения в переустройство внутрихозяйственных  
гидромелиоративных систем Кашкадарьинской области  
Узбекской ССР**

| Направление капитальных<br>вложений                                               | Колхоз им.<br>Навои Китаб-<br>ского района |      | Колхоз им.<br>XXII Парт-<br>съезда Гузар-<br>ского района |      | Колхоз им.<br>XXII Партсъ-<br>езда Касан-<br>ского района |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------|------|
|                                                                                   | тыс.руб.                                   | %    | тыс.руб.                                                  | %    | тыс.руб.                                                  | %    |
| Строительство оросительной<br>сети                                                | 895,3                                      | 60   | 1833,9                                                    | 72,4 | 1520                                                      | 48,2 |
| закрытой                                                                          | 279,0                                      | 18,8 | 774,5                                                     | 30,5 | 225                                                       | 7,0  |
| открытой                                                                          | 33,5                                       | 2,2  | 186,6                                                     | 7,3  | 610                                                       | 19,2 |
| в т. ч. лотковой                                                                  |                                            |      | 186,6                                                     | 7,3  |                                                           |      |
| Бетонирование каналов                                                             | 89,6                                       | 6,0  |                                                           |      |                                                           |      |
| Гидротехнические сооружения                                                       | 14,0                                       | 0,9  | 38,0                                                      | 1,5  | 137,0                                                     | 4,3  |
| Сбросная сеть                                                                     | 12,2                                       | 0,8  | 20,2                                                      | 0,8  |                                                           |      |
| Засыпка старой сети                                                               | 5,0                                        | 0,3  | 243,3                                                     | 9,8  | 1,6                                                       | 0,5  |
| Капитальная планировка                                                            | 462                                        | 31,0 | 570,3                                                     | 22,5 | 546,4                                                     | 17,2 |
| Мелиоративное строительство                                                       |                                            |      |                                                           |      | 897                                                       | 28,4 |
| Коллекторная сеть                                                                 |                                            |      |                                                           |      | 266                                                       | 8,4  |
| Дренажная сеть                                                                    |                                            |      |                                                           |      |                                                           |      |
| (закрытый дренаж)                                                                 |                                            |      |                                                           |      | 631                                                       | 20,0 |
| Совершенствование техники по-<br>лива                                             | 26,5                                       | 1,8  | 23,7                                                      | 1,0  | 199,5                                                     | 6,3  |
| Гибкие и жесткие трубопро-<br>воды                                                | 26,5                                       | 1,8  | 23,7                                                      | 1,0  | 25,5                                                      | 0,8  |
| Железобетонные лотки авто-<br>матического водораспреде-<br>ления                  |                                            |      |                                                           |      | 174,0                                                     | 5,5  |
| Строительство дорог и вре-<br>менных сооружений                                   | 219,0                                      | 14,8 | 134,3                                                     | 5,3  | 171                                                       | 5,4  |
| Затраты на изыскательские,<br>проектные и научно-иссле-<br>довательские работы    | 95,0                                       | 6,6  | 94,5                                                      | 3,7  | 95                                                        | 3,0  |
| Прочие капитальные вложе-<br>ния, объекты транспортного<br>назначения, насаждения | 247,5                                      | 16,8 | 450,5                                                     | 18   | 279                                                       | 8,8  |
| Всего капитальных вложений                                                        | 1483,3                                     | 100  | 2536,9                                                    | 100  | 3160,5                                                    | 100  |
| Удельные капвложения, руб/га                                                      | 810                                        |      | 1545                                                      |      | 1730                                                      |      |

Анализ структуры капитальных вложений (табл. 11) показывает, что в хозяйствах Китабского и Гузарского районов основные затраты связаны с переустройством оросительной сети и проведением работ по капитальной планировке. Они составляют соответственно 60,0—72,4%, а в хозяйствах Касанского района аналогичные затраты не превышают 50%. Объясняется это прежде всего тем, что мелиоративное состояние орошаемых земель в Китабском и Гузарском районах весьма



благополучно и поэтому исключается необходимость развития коллекторно-дренажной сети, в то время как в Касанском районе требуется проведение мелиоративных работ. Затраты на эти же цели по колхозу им. XXII Партсъезда составили 28,3%, или 897,0 тыс. руб. Расчет показывает, что общая сумма капитальных вложений в переустройство внутрихозяйственной гидро-мелиоративной системы составила по колхозу им. Навои Китабского района 1483,3 тыс. руб., или 810 руб./га, в колхозе им. XXII Партсъезда - Гузарского района — 2536,9 тыс. руб., или 1545 руб./га и в колхозе им. XXII Партсъезда Касанского района — 3160,5 тыс. руб. или 1730 руб./га. Существенные различия в удельных капитальных вложениях в хозяйствах Гузарского района по сравнению с Китабским районом объясняются прежде всего наибольшим удельным весом затрат в строительство оросительной сети. Они соответственно составили 153 руб./га и 470 руб./га.

Наибольшие удельные капитальные вложения — 1730 руб./га, как отмечалось выше, вследствие развития мелиоративных мероприятий имеют место в колхозе им. XXII Партсъезда Касанского района.

Одной из сторон эффективности переустройства является наиболее полное использование земельно-водных ресурсов. В результате замены открытой сети на закрытую и использования на поливе сельскохозяйственных культур гибких и жестких трубопроводов, а также сокращения протяженности оросительной сети в исследуемых хозяйствах коэффициент использования земель увеличился соответственно на 0,05; 0,11; 0,12.

В результате переустройства внутрихозяйственных гидромелиоративных систем представляется возможным расширить посевные площади на 492 га.

Бетонирование оросительных каналов и переход на закрытую сеть способствуют снижению потерь оросительной воды и росту коэффициента полезного действия внутрихозяйственной сети, а совершенствование режима орошения и применение гибких и жестких поливных трубопроводов, лотков автоматического водораспределения позволяют повысить коэффициент полезного действия техники орошения соответственно с 0,54 до 0,91; с 0,42 до 0,87 и с 0,41 до 0,90.

Важно отметить, что в результате оптимального использования водных ресурсов представляется воз-



можно высвободить по хозяйству Китабского района 4,6 млн. м<sup>3</sup> оросительной воды, по колхозу Гузарского района — 5,1 млн. м<sup>3</sup> и по хозяйству Касанского района — 7,5 млн. м<sup>3</sup>. Исходя из оросительных норм брутто соответственно равных 7500 м<sup>3</sup>/га, 8750 м<sup>3</sup>/га и 9200 м<sup>3</sup>/га предоставляется возможность за счет сэкономленной воды дополнительно оросить 344 га, 398 и 770 га. Следовательно, высвобожденные в результате переустройства земли будут достаточно водообеспечены без привлечения дополнительных водных ресурсов. Более того, при 75% водообеспеченности системы орошаемые земли, как показали расчеты, будут обеспечены на 95—100%.

Достоверность экономических расчетов эффективности капитальных вложений в ирригационно-мелиоративное строительство, в т. ч. в переустройство внутрихозяйственной сети, в значительной степени зависит от объективности исчисления объема дополнительной продукции со всего хозяйства.

При переустройстве дополнительная продукция сельского хозяйства может быть получена за счет двух факторов: оптимального использования земельно-водных ресурсов и повышения урожайности сельскохозяйственных культур в результате создания оптимальных водно-физических свойств почвы, обусловленных совершенствованием техники полива и режима орошения.

Зная дополнительные площади орошаемых земель, полученные за счет переустройства, и среднемноголетнюю урожайность хлопчатника, можно определить объем дополнительной продукции хлопководства.

В результате повышения КЗИ возможно увеличить валовой сбор хлопка-сырца в колхозе им. Навои Китабского района на 3240 ц, в колхозе XXII Партсъезда Гузарского района — на 5900 ц и в колхозе XXII Партсъезда Касанского района — на 6200 ц.

Режим орошения, техника полива и водообеспеченность оказывают весьма существенное влияние на урожайность хлопчатника. Однако вопрос количественной оценки прямого их влияния изучен недостаточно.

Известно, что урожайность сельскохозяйственных культур зависит от многочисленных факторов: мелиоративного состояния орошаемых земель, уровня агротехники, технической оснащенности хозяйств основными фондами и т. д.



Проанализировав эти факторы по исследуемым хозяйствам, мы пришли к выводу, что большинство из них (агротехнический, мелиоративный, экономический) за расчетный период практически не изменилось, а водообеспеченность существенно снизилась (табл. 12).

Таблица 12

Урожайность хлопчатника в зависимости от водообеспеченности в типичных колхозах Кашкадарьинской области

| Показатель         | К-з им. Навои<br>Китабского р-на |                                 | К-з им. XXII<br>Партсъезда Гу-<br>зарского р-на |                                 | К-з им. XXII<br>Партсъезда<br>Касанского р-на |                                 |
|--------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|
|                    | урожай-<br>ность,<br>ц/га        | водообес-<br>печен-<br>ность, % | урожай-<br>ность,<br>ц/га                       | водообе-<br>спечен-<br>ность, % | урожай-<br>ность,<br>ц/га                     | водообе-<br>спечен-<br>ность, % |
| Многоводный<br>год | 44,4                             | 81,0                            | 33,9                                            | 79,0                            | 29,8                                          | 87,0                            |
| Маловодный<br>год  | 27,6                             | 39,0                            | 21,9                                            | 47,0                            | 25,3                                          | 64,0                            |
| Разность           | — 16,8                           | — 42,0                          | — 12,0                                          | — 32,0                          | — 4,5                                         | — 23,0                          |

Изменение водообеспеченности и режима орошения, в свою очередь, вызвало снижение урожайности хлопчатника.

Располагая данными влияния водообеспеченности на урожайность хлопчатника, представляется возможным определить «цену» повышения водообеспеченности на 1% (частное от деления прироста урожайности на процент водообеспеченности). Так, для первого хозяйства она составила 0,40 ц (16,8:42), для второго — 0,37 (12:32) и для третьего — 0,20 (4,5:23).

Как отмечено выше, в результате переустройства, совершенствования режима орошения и применения новой техники при 75% водообеспеченности системы предоставляется возможность удовлетворить потребность хозяйств в оросительной воде на 95—100%. Следовательно, возможный прирост продукции хлопководства в колхозе им. Навои Китабского района составляет 7 ц/га в колхозе им. XXII Партсъезда Гузарского района — 7,4 и в колхозе им. XXII Партсъезда Касанского района — 5,6 ц/га.

На основе данных прироста посевных площадей хлопчатника после переустройства закупочных цен на



хлопок и дополнительных издержек сельского и водного хозяйства определена экономическая эффективность капитальных вложений (табл. 13).

Т а б л и ц а 13

Экономическая эффективность капитальных вложений  
в переустройство внутрихозяйственных гидромелиоративных  
систем

| Показатель                                                          | Колхоз<br>им. На-<br>вои Ки-<br>табского<br>района | Колхоз<br>им. XXII<br>Партсъез-<br>да Гузар-<br>ского ра-<br>йона | Колхоз им.<br>XXII Парт-<br>съезда<br>Касан-<br>ского райо-<br>на |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Объем дополнительной продукции,<br>в т. ч. за счет повышения КЗИ    | 1142<br>324                                        | 1470<br>590                                                       | 1280<br>620                                                       |
| Стоимость дополнительной валовой<br>продукции, тыс. руб.            | 640                                                | 822                                                               | 1280                                                              |
| Дополнительные издержки сельского<br>и водного хозяйства, тыс. руб. | 230                                                | 287                                                               | 330                                                               |
| Дополнительный чистый доход, тыс.<br>руб.                           | 410                                                | 535                                                               | 950                                                               |
| Срок окупаемости, лет                                               | 8,6                                                | 4,7                                                               | 3,4                                                               |
| Коэффициент эффективности                                           | 0,28                                               | 0,21                                                              | 0,30                                                              |

Из табл. 13 видно, что капитальные вложения в переустройство внутрихозяйственных гидромелиоративных систем исследуемых хозяйств высокоэффективны.

Эффективность переустройства подтверждается сравнением расчетных коэффициентов эффективности (0,21, 0,28, 0,30) с нормативным, который для хозяйств хлопковой специализации равен 0,12.

Наиболее высокий коэффициент получен в колхозе им. XXII Партсъезда Касанского района. Это объясняется тем, что здесь выращивают тонковолокнистые советские сорта хлопчатника.

Переустройство внутрихозяйственной сети в колхозе им. XXII Партсъезда Гузарского района связано с выполнением более значительных объемов работ по ликвидации существующей сети, капитальной планировки и, особенно, по строительству закрытых трубопроводов. Это сказалось на стоимости переустройства и этим объясняется несколько сниженный коэффициент эффективности капитальных вложений (0,21) по сравнению с другими двумя колхозами. Основные показатели переустройства сведены в табл. 14.



Основные показатели технико-экономической эффективности  
переустройства внутрихозяйственных гидромелиоративных  
систем в типичных колхозах Кашкадарьинской области

| Показатель                                            | Колхоз им.<br>Навои Китаб-<br>ского района |                                   | Колхоз им.<br>XXII Партсъез-<br>да Гузарского<br>района |                                   | Колхоз им.<br>XXII Партсъез-<br>да Касанс-<br>кого района |                                   |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------|
|                                                       | до пе-<br>реуст-<br>ройства                | после<br>пере-<br>устрой-<br>ства | до пе-<br>реуст-<br>ройства                             | после<br>пере-<br>устрой-<br>ства | до пе-<br>реуст-<br>ройства                               | после<br>пере-<br>устрой-<br>ства |
| Оросная площадь нетто, га                             | 1540                                       | 1632                              | 1305                                                    | 1485                              | 1380                                                      | 1600                              |
| в т. ч. хлопчатник, га                                | 1020                                       | 1050                              | 1000                                                    | 1050                              | 1030                                                      | 1040                              |
| Коэффициент земельного ис-<br>пользования (КЗИ)       | 0,85                                       | 0,9                               | 0,79                                                    | 0,9                               | 0,75                                                      | 0,87                              |
| Производительность труда по-<br>ливальщика, га        | 0,6                                        | 4                                 | 0,6                                                     | 3,5                               | 0,6                                                       | 3,0                               |
| Количество поливальщиков в<br>хозяйстве               | 113                                        | 22                                | 94                                                      | 21                                | 82                                                        | 20                                |
| Загрузка на одного поливаль-<br>щика за вегетацию, га | 9,0                                        | 48                                | 10,7                                                    | 50                                | 12,5                                                      | 52                                |
| Средняя урожайность, ц/га                             | 35,5                                       | 42,5                              | 26,0                                                    | 33,4                              | 27                                                        | 32,6                              |
| Срок окупаемости, годы                                | —                                          | 3,6                               | —                                                       | 4,7                               | —                                                         | 3,4                               |
| Коэффициент эффективности<br>капитальных вложений     | —                                          | 0,28                              | —                                                       | 0,21                              | —                                                         | 0,30                              |

Из табл. 14 видно, что в результате переустройства возможно достичь высоких технических показателей, таких как КЗИ, КПД внутрихозяйственной системы, производительность труда поливальщика. По сравнению с исходным положением в среднем по трем хозяйствам рост этих показателей составляет 12, 200 и 580%.

Как показали исследования, в Кашкадарьинской области переустройство следует провести на оросительных системах с орошаемой площадью 121,4 тыс. га. На основе полученных удельных показателей объем капитальных вложений, потребных для проведения работ на этой площади, составляет 149,8 млн. руб.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА  
И ФИНАНСИРОВАНИЯ ПЕРЕУСТРОЙСТВА  
ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ  
СИСТЕМ

Районирование территории по перспективным спосо-  
бам и технике полива. В соответствии с методически-  
ми указаниями по районированию, составленными



САНИИРИ, к основным факторам районирования орошаемых площадей относятся:

- 1) водопроницаемость почвогрунтов;
- 2) средние уклоны местности и рельеф;
- 3) мелиоративное состояние земель;
- 4) скорости и повторяемости ветров;
- 5) агроэкономические требования.

По факторам 1 и 2 районироваться способы полива (дождевание или поверхностные поливы). По 3 и 4 — уточняется возможность осуществления орошения дождеванием, по 5 — устанавливается преимущество или первоочередность внедрения дождевания, уточняется тип дождевальных систем и машин, выбирается техника поверхностного полива.

Применительно к районированию техники полива САНИИРИ устанавливает пять оценок (баллов) почвогрунтов по водопроницаемости: высокая, повышенная, средняя, пониженная и низкая. На почвах первых четырех категорий возможно применение дождевания различной интенсивности. Поверхностный полив неэффективен на почвах с высокой водопроницаемостью, так как из-за коротких борозд производительность труда на поливе и степень использования воды на полях низкие. Поскольку для количественной оценки показателей водопроницаемости почв каждого хозяйства опытных данных не имеется, то районирование земель осуществляется по данным механического состава почвогрунтов, определяемого на основе почвенных карт, имеющихся в каждом хозяйстве. Зависимость водопроницаемости почвогрунтов от механического состава устанавливается по данным табл. 2.

Уклоны местности и рельеф оказывают существенное влияние на выбор всех составных частей оросительной системы. Однако принципиального значения для выбора способа полива — поверхностного или дождевания — эти условия не имеют.

При районировании техники полива учитывается мелиоративное состояние земель: степень засоленности земель, глубина залегания уровня грунтовых вод, минерализация грунтовых вод.

Дождевание неприменимо на средне- и сильнозасоленных почвогрунтах. В условиях же близкого (1-2 м) залегания пресных грунтовых вод оно экономически эффективно.



Большая повторяемость ветров в вегетационный период со скоростями, превышающими 2,5—5 м/с, затрудняет дождевание, так как струи сбиваются и относятся ветром. Поле увлажняется неравномерно. Дождевание в таких условиях не целесообразно.

Сельскохозяйственные культуры, имеющие относительно неглубокую корневую систему, а также культуры, выращиваемые на маломощных почвах, подстилаемых галечником, требуют большого числа полива малыми поливными нормами. В этих условиях целесообразно применять дождевание. Однако необходимость осуществления больших поливных и оросительных норм по экономическим соображениям ограничивает возможность применения дождевания.

На основании вышеизложенных факторов произведено районирование существующей и перспективной площади орошения в Кашкадарьинской области по способам и технике полива.

**Водопотребление Верхней и Средней Кашкадарьи в перспективе.** В связи с переключением земель Нижней Кашкадарьи на питание амударьинской водой и завершением строительства канала «Москва» все водные ресурсы собственного бассейна и воды р. Зарафшан будут использованы для орошения земель Верхней и Средней Кашкадарьи.

Т а б л и ц а 15

**Проектное водопотребление после осуществления  
переустройства внутрихозяйственных оросительных систем**

| Массив                 | Площадь<br>нетто,<br>тыс. га | Из них<br>ороша-<br>ется,<br>тыс. га | Потребность в воде<br>на орошаемой площади |                                                                | Потреб-<br>ность в во-<br>де на пер-<br>спекти ву<br>при КПД=<br>0,85, млн.<br>м³ |
|------------------------|------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
|                        |                              |                                      | при КПД=<br>=0,6 млн.<br>м³                | после пе-<br>реустрой-<br>ства при<br>КПД=<br>0,85, млн.<br>м³ |                                                                                   |
| Верхний                | 84,4                         | 56,7                                 | 670                                        | 475                                                            | 700                                                                               |
| Кокдалинский           | 40,7                         | 3,4*                                 | 40,6                                       | 28,8                                                           | 342                                                                               |
| Сандальский            | 41,3                         | 14,6                                 | 173                                        | 122                                                            | 345                                                                               |
| Зона малых горных саев | 5,1                          | 5,1                                  | 60,5                                       | 42,5                                                           | 42,5                                                                              |
| Итого                  | 171,5                        | 79,8                                 | 944,1                                      | 668,3                                                          | 1429,5                                                                            |
| Пачкамарский           | 15,5                         | 11,5                                 | 1,36                                       | 95,3                                                           | 130,0                                                                             |
| Чимкурганский          | 69,6                         | 10,1                                 | 120                                        | 84,5                                                           | 580                                                                               |
| Всего                  | 256,6                        | 101,4                                | 1200,1                                     | 848,1                                                          | 2139,5                                                                            |

\* Орошаемая водами р. Зарафшан.



При проектировании переустройства внутрихозяйственных оросительных систем КПД сети, по данным исследований, принят равным 0,85. На основе установленной режимом орошения годовой (оросительной) нормы  $7100 \text{ м}^3/\text{га}$  и полученного КПД систем рассчитано водопотребление по массивам (табл. 15).

Из данных табл. 15 видно, что намечаемое переустройство внутрихозяйственных оросительных систем только в зоне существующего орошения обеспечивает экономию около  $352 \text{ млн. м}^3$  воды ( $1200,1 - 848,1 = 352 \text{ млн. м}^3$ ). Это позволит увеличить водообеспеченность староорошаемых или дополнительно оросить 41 тыс. га новых земель.

Источниками орошения области являются реки снегового и дождевого питания, в основном, с незарегулированным стоком. Хотя среднемноголетний сток несколько превышает потребность в воде существующих орошаемых земель, однако в середине и в конце вегетации водообеспеченность, особенно в верхней Кашкадарье, сильно снижается, достигая 40—50% потребности.

Для нормального водообеспечения существующих и освоения новых земель, кроме проведения реконструкции оросительных систем, намечен и уже осуществлен ряд мероприятий: завершено строительство канала «Москва», намечено строительство Акбайского водохранилища емкостью  $95 \text{ млн. м}^3$  на р. Кашкадарье, строится Гиссаракское водохранилище емкостью  $175 \text{ млн. м}^3$  на р. Аксу.

Регулирование стока рр. Кашкадарьи и Аксу обеспечивает орошение Верхнего массива площадью  $84,4 \text{ тыс. га}$ . Остатки речной воды, вода горных саев, возвратные воды и воды р. Кумдарьи объемом  $310 \text{ млн. м}^3$  поступят в Чимкурганское водохранилище, что позволит оросить 30 тыс. га, в том числе 22 тыс. га новых земель, подкомандных Чимкурганскому водохранилищу.

Поступающие по каналу «Москва» из р. Зарафшан  $500—550 \text{ млн. м}^3$  воды увеличивают общую водообеспеченность всей долины и непосредственно используются для полива земель Средней и Нижней Кашкадарьи.

Часть земель Нижней Кашкадарьи переключена на питание амударьинской водой. Несколько позднее после зарегулирования водохранилищами стока рр. Аксу и Кашкадарьи из этих водохранилищ будут орошаться



ли только Верхней Капкадарьи. Воды р. Зарафшан и каналу «Москва» будут направлены на орошение земель Кокдалинского и Сандальского массивов с общей потребностью 687 млн. м<sup>3</sup>.

Пачкамарский массив после полной реконструкции оросительных систем будет обеспечиваться водами р. Гузардарьи, зарегулированной Пачкамарским водохранилищем.

Маловодообеспеченным и остаются 39,6 тыс. га земель, подкомандных Чимкурганскому водохранилищу. Для орошения этих земель предусматривается строительство Чимкурганского машинного канала с восемью насосными станциями, подающими воду из Каршинского магистрального канала. Этот канал в невегетационный период будет необходим для наполнения водохранилища, а в вегетационный период — для полива сельхозкультур.

**Организация проектирования переустройства.** В результате переустройства внутрихозяйственных систем и организации территории должны быть созданы пространственные условия и такое техническое состояние ирригационно-мелиоративного фонда, при которых было бы возможно на староорошаемых землях повсеместно использовать мощные высокоскоростные трактора с широкозахватными сельскохозяйственными орудиями: внедрить автоматизацию или механизацию полива, резко повысить производительность труда на мелиоративных работах, достичь минимума эксплуатационных издержек, повысить урожайность сельскохозяйственных культур.

Проекты переустройства составляют в виде:

генеральных планов переустройства оросительной и коллекторно-дренажной систем хозяйства;

техно-рабочих проектов на осуществление отдельных объектов внутри хозяйств.

Генеральный план не является документом для открытия финансирования, а используется как обоснование (задание на проектирование) технических решений при составлении техно-рабочих проектов и для планирования проектно-изыскательских и строительных работ.

В генеральном плане переустройства внутрихозяйственной системы должно быть:



предусмотрено максимально возможное уменьшение точек выдела воды хозяйству из межхозяйственной оросительной сети;

определено плановое положение оросительной коллекторно-дренажной сетей, дорог и других инженерных коммуникаций, обеспечивающих наиболее рациональную организацию территории поливных участков правильной геометрической формы с оптимальными площадями;

установлено мелиоративное состояние земель и разработан комплекс мелиоративных мероприятий;

намечены мероприятия по повышению КПД внутрихозяйственной оросительной системы посредством осуществления антифильтрационных одежд каналов и применения закрытой сети;

решены вопросы совершенствования техники полива; предусмотрено оснащение внутрихозяйственной сети сооружениями;

установлены ориентировочные объемы работ и стоимость переустройства.

Составлением проектов развития и реконструкции межрайонной и межхозяйственной сети Кашкадарьинской области занимались Средазгипроводхоз, Узгипроводхоз, Самаркандгипроводхоз, а также проектная группа областного управления оросительных систем.

Результатом осуществления проектов межхозяйственного переустройства ирригационной сети явились три водохранилища, три гидроузла, более 1100 км бетонированных каналов, сокращение водозаборных точек из источников орошения с 201 до 75 точек.

Узгипроводхозом составлены генеральные планы переустройства внутрихозяйственной оросительной сети всего лишь для двух хозяйств области, но в связи с отсутствием достаточного количества строительных материалов (ж/б лотки и асбестоцементные трубы) реконструкция сети начата только в одном хозяйстве.

В сокращенном генеральном плане развития орошения и освоения земель Средней и Верхней Кашкадарьи и в техническом проекте орошения и освоения земель в зоне Чимкурганского водохранилища Узгипроводхозом предусмотрено строительство и реконструкция магистральных, межхозяйственных каналов, основных коллекторов и дорог. Большая часть из запроектирован-



ных мероприятий в зоне староорошаемых земель уже выполнена. Поэтому при составлении генпланов переустройства внутрихозяйственной сети необходимо учесть эти проработки.

Проектированию и осуществлению переустройства внутрихозяйственной оросительной сети должно предшествовать переустройство магистральных и межхозяйственных каналов.

Генеральные планы переустройства должны составляться в проектных институтах водохозяйственного профиля, обслуживающих определенные регионы. Это даст возможность своевременно и на высоком уровне согласовать интересы различных ведомств. Поскольку на проектирование капитальной планировки затрачивается много времени, то, учитывая наличие ЭВМ в проектных институтах, целесообразно возложить на них и составление техно-рабочих проектов. Проектные институты разрабатывают типовые проекты отдельных гидротехнических сооружений и переустраиваемых оросительных систем. Вместе с тем, наличие в областных центрах проектных групп облУОСов дает возможность привлечь их к проектированию, основанном на широком применении типовых решений, разработанных проектными институтами. Доля участия проектных групп в составлении техно-рабочих проектов не должна быть значительной, так как на них следует возложить ответственность за правильное воплощение всех элементов техно-рабочего проекта, т. е. проведение технического надзора за работами по переустройству. В этой связи роль технического надзора за водохозяйственным строительством существенно повышается.

Учитывая необходимость форсирования работ по переустройству полей, оросительно-дренажной внутрихозяйственной сети на староорошаемых землях, нужно начать составление генеральных планов и осуществить переустройство минимум в двух-трех хозяйствах с учетом проведения строительных работ без ущерба производства продуктов сельского хозяйства. Генеральный план переустройства гидромелиоративной сети должно иметь каждое хозяйство, так же обязательно как и проект генерального плана поселка колхоза, план электрификации и радиофикации.

**Объемы и очередность работ.** Выбранные хозяйства и опытные участки в трех зонах Кашкадарьинской об-



ласти: Верхней, Средней и Нижней Кашкадарье, типичны для этих зон. Для каждого хозяйства определены объемы работ и стоимость реконструкции. По полученным удельным показателям для каждой зоны подсчитаны объемы работ.

К зоне Верхней Кашкадарьи относятся массив существующего орошения верхней Кашкадарьи, Кокдалинский и Сандальский с общей площадью 171,5 тыс. га. Земли существующего орошения составляют здесь около 80 тыс. га.

К зоне Средней Кашкадарьи относятся земли, под командные Пачкамарскому и Чимкурганскому водохранилищам, общей площадью 85,1 тыс. га, в том числе существующего орошения 22 тыс. га Гузарского и Камашинского районов.

Таблица 16

Объем работ по переустройству внутрихозяйственной оросительной сети

| Наименование работ | Удельные показатели |            | Объем работ по массивам |            |
|--------------------|---------------------|------------|-------------------------|------------|
|                    | Единица измерения   | Количество | Единица измерения       | Количество |

*Верхняя Кашкадарья — площадь массива 79,8 тыс. га*

|                               |                    |       |                     |        |
|-------------------------------|--------------------|-------|---------------------|--------|
| Объем земляных работ          | м <sup>3</sup> /га | 450,5 | тыс. м <sup>3</sup> | 36 300 |
| Объем бетона и железобетона   | »                  | 2,068 | «                   | 164,9  |
| Планировочные работы          | »                  | 1000  | «                   | 79 800 |
| Гибкие и жесткие трубопроводы | м/га               | 10    | км.                 | 79,8   |

*Средняя Кашкадарья — площадь массива 12,6 тыс. га*

|                               |                    |       |                     |        |
|-------------------------------|--------------------|-------|---------------------|--------|
| Объем земляных работ          | м <sup>3</sup> /га | 285,8 | тыс. м <sup>3</sup> | 6370   |
| Объем бетонных работ          | «                  | 3,66  | «                   | 79,2   |
| Планировочные работы          | «                  | 1279  | «                   | 27 600 |
| Гибкие и жесткие трубопроводы | м/га               | 10    | км                  | 21,6   |

*Нижняя Кашкадарья — площадь массива 29,9 тыс. га*

|                                                        |                    |      |                     |        |
|--------------------------------------------------------|--------------------|------|---------------------|--------|
| Объем земляных работ                                   | м <sup>3</sup> /га | 760  | тыс. м <sup>3</sup> | 22 880 |
| Объем бетона и железобетона                            | «                  | 1,22 | «                   | 36,3   |
| Планировочные работы                                   | «                  | 1200 | «                   | 35 880 |
| Гибкие трубопроводы                                    | м/га               | 10   | км                  | 100,0  |
| Железобетонные лотки автоматического водораспределения | «                  | 15   | «                   | 448,5  |



В зону Нижней Кашкадарьи входят староорошаемые земли Касанского, Каршинского и Ульяновского районов, а также расположенные на правом берегу Каршинского магистрального канала и не вошедшие в первую очередь освоения Каршинской степи. В табл. 16 приводятся показатели работ по переустройству в различных орошаемых районах Кашкадарьинской области.

Из табл. 16 видно, что для завершения переустройства оросительных систем Верхней и Средней Кашкадарьи предстоит выполнить 49,6 млн. м<sup>3</sup> земляных работ и уложить 244,1 тыс. м<sup>3</sup> бетона и железобетона. Проложить оросительную сеть из асбестоцементных труб, железобетонных лотков протяженностью 1840 и 200 км, построить 2910 различных гидротехнических сооружений и выполнить 107,4 млн. м<sup>3</sup> земляных работ по капитальной планировке земель.

Для переустройства оросительных систем Нижней Кашкадарьи требуется выполнить: земляные работы в объеме 58 760 тыс. м<sup>3</sup>, в т. ч. 35 880 тыс. м<sup>3</sup> на капитальной планировке, бетонные и железобетонные работы в объеме 36,3 тыс. м<sup>3</sup>, проложить горизонтальный закрытый дренаж протяженностью 480 км, построить 2240 гидротехнических сооружений.

Объемы капитальных вложений на водохозяйственное строительство в области постоянно увеличиваются: если за годы восьмой пятилетки они составили 42,4 млн. руб., девятой — 120,7, то за четыре года десятой — 167,1 млн. руб.

Для выполнения водохозяйственных работ на орошаемых землях области созданы строительные тресты Кашкадарьяводстрой Узгоскомводстроя, Эскиангарканалстрой Министерства мелиорации и водного хозяйства УзССР. С ростом объема капитальных вложений увеличивается мощность строительных организаций. В настоящее время действуют 13 передвижных механизированных колонн, семь из которых находятся в системе Узгоскомводстроя, шесть — ММнВХ УзССР. Эти организации располагают 170 экскаваторами, 174 бульдозерами и 120 скреперами, которые в состоянии выполнить свыше 45 млн. м<sup>3</sup> земляных работ в год. Кроме того, на земляные работы могут быть мобилизованы механизмы областного объединения Узгоскомсельхозтехники с общей производительностью 10 млн. м<sup>3</sup> грунта в год.

Работы по переустройству внутрихозяйственных



систем должны проводиться за сравнительно короткий срок — ноябрь — март, когда поля свободны, а колхозники и рабочие совхозов недостаточно загружены. В это время имеется возможность мобилизовать около 10—15 тыс. колхозников и рабочих совхозов на бетонирование каналов, строительство гидротехнических сооружений на межхозяйственных и внутрихозяйственных каналах.

В связи с тем, что строительство объектов обеспечивается железобетонными изделиями, асбестоцементными, гончарными трубами и финансированием с переборами, переустройство можно осуществлять не в один, а в два этапа.

В первый этап надлежит провести капитальную планировку земель, построить хозяйственные и межхозяйственные оросители с антифильтрационными облицовками, а распределители второго порядка и групповые распределители можно построить в земляных руслах.

Мероприятия второго этапа состоят из облицовки всей внутрихозяйственной сети, установки железобетонных лотков, устройств закрытых водоводов, внедрения прогрессивных автоматизированных поливов и закрытого дренажа.

Учитывая значительные объем и стоимость предстоящих работ по переустройству, необходимо обратить особое внимание на улучшение организации этих работ с точки зрения осуществления планирования, финансирования, налаживания надлежащей отчетности и ответственности за выполнение их, как за важную позицию народнохозяйственного плана.

В связи с этим, проведение мелиоративных мероприятий (планировка орошаемых земель, повышение водообеспеченности, бетонирование каналов, переустройство оросительной сети) должно осуществляться комплексно на основе единой проектной проработки.

Переустройство внутрихозяйственных систем целесообразно провести сначала в Верхней Кашкадарье и в зоне командования Пачкамарского водохранилища, так как земли этих систем по сравнению с другими относительно мало водообеспечены, а в период маловодья невозможно использовать воду из других источников орошения.

**Организация и стоимость переустройства.** Объем работ, стоимость переустройства внутрихозяйственных



оросительных систем с сооружениями на них для старо-орошаемой зоны определены по удельным показателям, полученным в результате составления генеральных планов для трех хозяйств.

Подсчитано, что для переустройства внутрихозяйственных оросительных систем на намеченной площади 121,4 тыс. га требуется 149,8 млн. руб.

Переустройство внутрихозяйственных систем в масштабах области является не только дорогим, но и сложным и продолжительным процессом. Оно должно проводиться в действующих хозяйствах, в период переустройства не должно допускаться уменьшение выхода сельскохозяйственной продукции. Это условие может быть соблюдено только при очередности (по частям хозяйства) выполнения строительных работ, входящих в комплекс переустройства. Поэтому специфические условия переустройства не позволяют круглогодично проводить строительные работы повсеместно широким фронтом.

В девятой пятилетке по плану на водохозяйственное строительство (без Каршистроя) по области выделялось 120,7 млн. руб., а в 1976—1979 гг. соответственно 32,5; 43,1; 40,5; 46,5 млн. руб.

Величина капитальных вложений, осваиваемых трестами Кашкадарьяводстрой и Эскиангарканалстрой, составляет более 30 млн. руб. в год. При выделении из ежегодных ассигнований на водохозяйственное строительство 30% капитальных вложений в переустройство внутрихозяйственных оросительных систем оно может быть завершено в течение 11—12 лет. Естественный прирост уровня механизации и энерговооруженности имеющихся двух строительных трестов, возможно, не обеспечивает необходимого темпа освоения капитальных вложений. Поэтому должны быть приняты меры по усилению этих трестов соответственно росту капвложений и организации для строительства крупных объектов (водохранилищ) новых трестов. Со значительным опережением по заказу органов водного хозяйства проектными организациями должны составляться генеральные планы переустройства.

Финансирование строительства не должно осуществляться по частным рабочим проектам, без наличия генерального плана переустройства сети данного хозяйства.



Уровень организации переустройства должен соответствовать значимости и размерам предстоящих капиталовложений. При ОблУОСе целесообразно создать отдел переустройства, который должен заниматься всем комплексом работ по планированию, организации проектирования и строительства. Финансирование переустройства на территории области должна выполнять дирекция строящихся предприятий.

Переустройство оросительных систем — мероприятие межведомственное: в проведении его, кроме самих хозяйств, должны принимать участие местные органы водного и сельского хозяйства.

Переустройство может выполняться на ассигнования по госбюджетным планам Министерства мелиорации и водного хозяйства УзССР, а также за счет собственных средств хозяйств.

Уровень выполнения переустройства внутрихозяйственных гидромелиоративных систем зависит от обеспеченности строительных организаций материалами, механизмами и оборудованием (мощности материально-технической базы строительства).

При разработке плана развития строительства должен применяться принцип комплексности формирования материально-технической базы. Это означает, что такая база должна функционировать как единая система предприятий, как комплекс взаимосвязанных производств, обеспечивающий необходимыми материальными ресурсами все строительные организации региона независимо от ведомственной принадлежности.

Основой перспективного планирования развития и размещения материально-технической базы строительства являются комплексные схемы. В сложившейся практике планирования строительства разрабатываются также схемы развития производственной базы отдельных министерств, осуществляющих крупное строительство. Для сочетания этих двух видов планирования целесообразно в ведомственных схемах главное внимание уделить потребности строительных организаций в ресурсах, анализу состояния базы, выявлению резервов в использовании мощностей за счет интенсификации производства и реконструкции предприятий. Рекомендации ведомственных схем корректируются при составлении комплексных схем в части повышения уровня концентрации и специализации производства, оптими-



ации схем перевозок, уточнения межведомственных связей. При составлении комплексных схем за основу берется балансовый метод расчета.

На первом этапе расчета производится анализ экономико-географических характеристик района строительства, современного состояния предприятий, материально-технической базы строительства и производится расчет потребности всех строек в материально-технических ресурсах.

На втором этапе производится расчет развития и размещения сети предприятий и хозяйств. В составе материально-технической базы строительства выделяют две группы производств. К первой группе относятся производства, способные обслуживать практически все строительно-монтажные организации и функционирующие вне временной и пространственной связи с технологическим процессом строительного производства (предприятия по производству металлоконструкций, сборного железобетона, монтажных изделий, а также заводы по капитальному ремонту строительной техники).

Ко второй группе относятся виды производств, непосредственно связанные с технологией строительства (базы механизации, бетонорастворные и асфальтобетонные заводы и др.).

Выбор оптимального варианта комплексной схемы осуществляется по показателям сравнительной экономической эффективности капитальных вложений, потребных для развития материально-технической базы строительства.

Потребность в строительной технике и материалах на весь объем переустройства внутрихозяйственной оросительной сети, определенная по расчетным нормативам, выражается следующими цифрами:

#### Строительные механизмы

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| экскаваторы одноковшовые | 165 шт. |
| « многоковшовые          | 16 «    |
| скрепера                 | 200 «   |
| бульдозеры               | 367 «   |
| автогрейдеры             | 53 «    |
| погрузчики одноковшовые  | 45 «    |
| снабженное оборудование  | 19 «    |
| автомобильные краны      | 36 «    |
| автомобили-самосвалы     | 400 «   |
| автомобили бортовые      | 250 «   |
| тягачи                   | 73 «    |



## Строительные материалы

|                                           |                          |
|-------------------------------------------|--------------------------|
| лес в пересчете на круглый                | 1322 тыс. м <sup>3</sup> |
| цемент                                    | 610 тыс. т               |
| металл                                    | 320 тыс. т               |
| трубы стальные                            | 37 «                     |
| « асбестоцементные                        | 2560 км                  |
| « гончарные                               | 480 «                    |
| железобетонные лотки на опорах            | 128 «                    |
| « лотки автоматического водораспределения | 448 км                   |
| гибкие и жесткие трубопроводы             | 111,4 км                 |
| песок, гравий, щебень                     | 425 тыс. м <sup>3</sup>  |
| кровля асбестоцементная                   | 145 тыс. м <sup>3</sup>  |
| рулонные материалы                        | 63 тыс. м <sup>2</sup>   |

В области для освоения Каршинской степи и строительства других водохозяйственных объектов построен ряд заводов строительной индустрии: заводы железобетонных изделий общей производительностью 287 тыс. м<sup>3</sup> железобетона в год; гравийно-песчаные заводы — 1,65 млн. м<sup>3</sup>/год; завод гончарных дренажных труб — 23,6 тыс. т/год и др.

Мощные предприятия стройиндустрии находятся в ведомстве Главсредазирсовхозстроя и предназначены в первую очередь для орошения и освоения Каршинской степи. Однако мощность этих предприятий рассчитана и на других потребителей.

В подведомственных организациях Министерства мелиорации и водного хозяйства УзССР и Госкомводстроя для проведения работ по переустройству внутрихозяйственных оросительных систем необходимо развивать предприятия стройиндустрии. Расчеты показывают, что необходимо построить вторую очередь завода гончарных дренажных труб в Карши (с учетом обеспечения гончарными трубами Каршинской степи) и завод железобетонных изделий в Чиракчи мощностью 100—150 тыс. м<sup>3</sup> изделий в год.

Потребность в асбестоцементных трубах и поливной технике (гибкие и жесткие поливные трубопроводы) должна быть обеспечена в централизованном порядке.

Как уже упоминалось, для выполнения земляных работ по капитальной планировке возможно мобилизовать механизмы областного объединения Узгоскомсельхозтехники. Мощность землеройных механизмов строительных организаций и объединения Узгоскомсельхозтехники обеспечит выполнение земляных работ по переустройству в период после уборки и до начала сева



сельскохозяйственных культур за 11—12 лет, даже если они в каждый сезон будут работать только два месяца.

## ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПОЛИВА ПО БОРОЗДАМ

**Элементы техники полива по бороздам.** Одним из важных параметров, характеризующих и определяющих качество и продолжительность полива по бороздам, является процесс впитывания воды в почву. Как известно, динамика скорости впитывания воды (инфильтрации) в почву описывается аналитическим выражением (Кулик В. Я., 1978)

$$t = \frac{\delta h_n}{K} \left( \frac{K}{K_t - K} - \ln \frac{K_t}{K_t - K} \right), \quad (21)$$

где  $t$  — время;  $h_n$  — капиллярный напор;  $K$  — коэффициент фильтрации;  $K_t$  — интенсивность впитывания:

$\delta$  — свободная пористость почвы.

Известно также немало упрощенных уравнений, эмпирических и полуэмпирических, удобных в обращении. Для определения параметров, входящих в эти формулы, как правило, ставятся опыты на отрезках борозд или площадках по изучению скорости инфильтрации.

При этом, в зависимости от типа уравнения инфильтрации, одночленного ( $K_t = \frac{K_1}{t^\alpha}$ ) или двухчленного ( $K_t = K_{уст} \left( 1 + \frac{b}{t^\alpha} \right)$ ), определяют параметры  $\alpha$  и  $K_1$  или  $\alpha$ ,  $K_{уст}$  и  $b$ , характеризующие динамику инфильтрации.

Однако известные уравнения инфильтрации все-таки приближенно выражают процесс впитывания воды: как видно из двухчленного уравнения, процесс при любом сколь угодно большом времени не устанавливается, а при описании его одночленным скорость инфильтрации стремится к нулю. Кроме этого, считающиеся более точными двухчленные уравнения не дают возможности определить момент наступления установившейся скорости инфильтрации. В связи с этим представляется целесообразным использовать формулу Костякова А. Н. в следующей трактовке.



$$K_t = \frac{K_1}{t^\alpha} \text{ при } t < T,$$

$$K_t = K_{уст} \text{ при } t \geq T.$$

Параметры впитывания воды при поливе по бороздам зависят от природных (исходные водно-физические свойства почвы, температура воздуха, воды и почвы, мелиоративное состояние земель, гидрогеологические условия и др.) и хозяйственных (рабочая ширина междурядий, количество и качество тракторных обработок, влажность почвы) факторов. Учет этих факторов представляет большой научный и практический интерес. Если с некоторыми природными факторами в известной мере приходится мириться, то хозяйственные способствуют лучшему впитыванию воды в почву.

Водопроницаемость почв принято характеризовать через скорость (интенсивность) впитывания в первую единицу времени (по Костякову А. Н.)  $K_1$  или через установившуюся скорость  $K_{уст}$ .  $K_1$  зависит от механического состава почв и предполивной влажности при прочих равных условиях.  $K_{уст}$ , как принято считать, зависит только от мехсостава пахотного слоя.

Как показало районирование территории области, наиболее распространенными являются почвы средней и пониженной водопроницаемости. Для слабоводопроницаемых почв проведены многолетние исследования с целью обоснования элементов техники полива, обуславливающих высокие показатели полива по бороздам. Почвы пониженной водопроницаемости характеризуются наличием глинистых частиц (размером менее 0,01 мм) в слое 1 м в количестве 40—48%, удельной массой 2,68—2,78 г/см<sup>3</sup>, объемной массой 1,49—1,72 г/см<sup>3</sup>.

Впитывание воды изучалось в различных бороздах (рис. 1), отличающихся степенью уплотнения верхнего (пахотного) слоя почвы, и бороздах, обработанных специальным рабочим органом — кротователем. В связи с ограниченным временем проведения опыта, в течение которого процесс впитывания не был установлен, предлагается на основе полученных опытных данных, пользуясь методикой Биндемана Н. Н., определить  $K_{уст}$

$$K_{уст} = \frac{\beta V}{\omega t}, \quad (22)$$



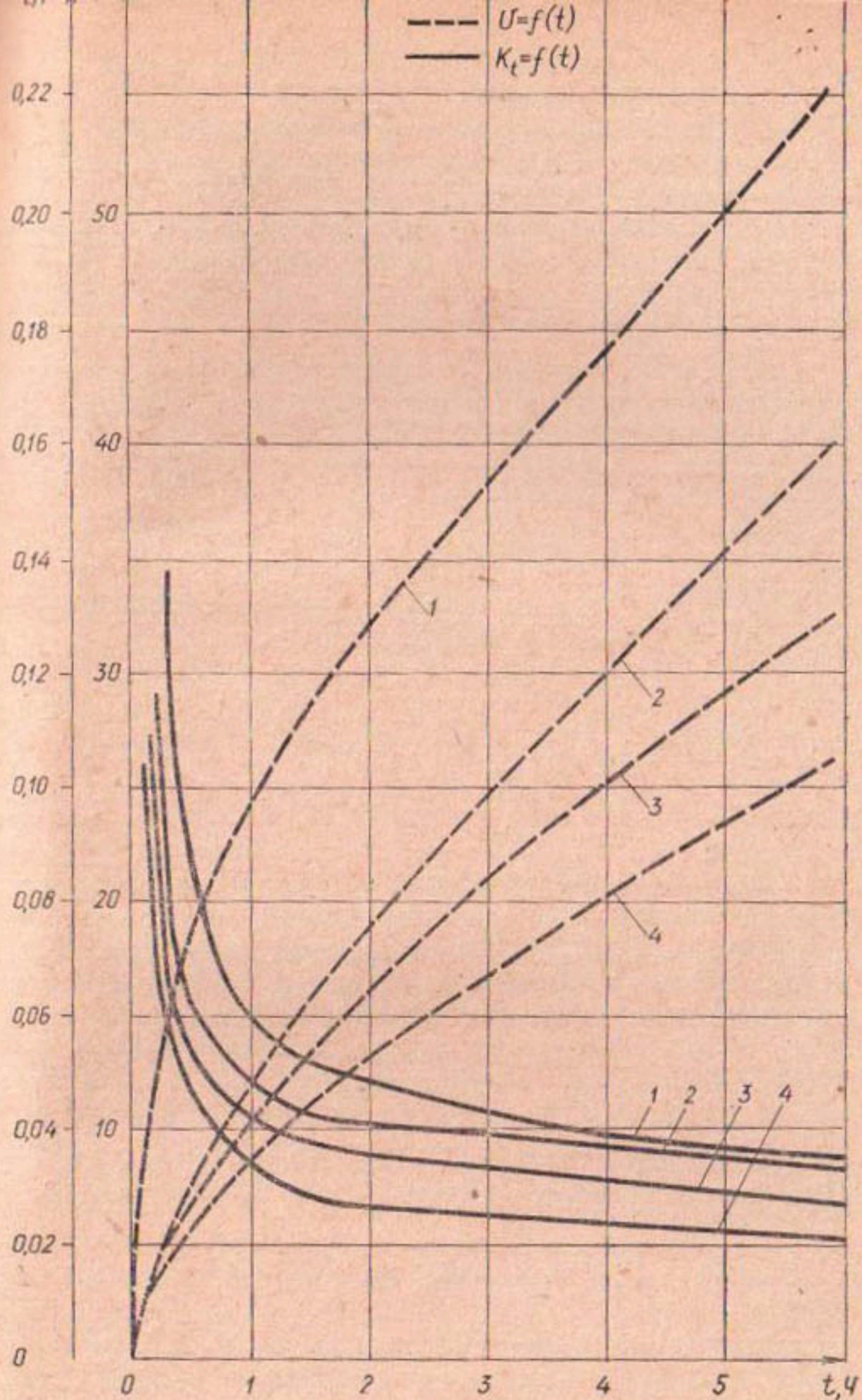


Рис. 1. Впитывание воды в разных типах борозд: — — — объем воды, — — — скорость впитывания воды,

1 — в стыковой борозде с кротовиной, 2 — в неуплотненной борозде, 3 — в борозде уплотненной передним колесом трактора, 4 — в стыковой борозде.



где  $\beta$  — поправочный коэффициент, определяемый по графику Биндемана Н. Н. (1957),

$V$  — объем воды, вылитой в течение опыта,  $\text{м}^3$ ;

$\omega$  — площадь водной поверхности,  $\text{м}^2$ ;

$t$  — время, ч.

По опытным данным возможно определить параметры впитывания воды, входящие в одночленную формулу

Костякова А. Н.  $\left(K_1 = \frac{K_1}{t^\alpha}\right)$ .

Для борозд стыковой с кротовиной, неуплотненной, уплотненной передним колесом трактора и стыковой скоростью впитывания воды в первый час ( $K_1$ ) равна 0,057; 0,05; 0,041; 0,034  $\text{м/ч}$ , а показатели водопроницаемости почв ( $\alpha$ ) — 0,27; 0,28; 0,31; 0,24.

Формула Костякова А. Н. справедлива при условии  $t < T$ , где  $T$  — время, начиная с которого скорость впитывания становится постоянной, равной по величине коэффициенту установившегося впитывания.

Установление времени ( $T$ ) представляется важным моментом как в расчетах элементов техники полива при выборе, например, ядра ( $m(\tau)$ ) балансового уравнения

$$x = \frac{qt}{\omega} - \frac{a}{\omega} \int_0^t m(\tau) x' dt, \quad (23)$$

так и в опытах по изучению скорости впитывания для установления продолжительности проведения самого опыта. Так, для рассмотренных типов борозд расчетное время стабилизации скорости впитывания воды, определенное по формуле

$$t = \left(\frac{K_1}{K_{\text{уст}}}\right)^{\frac{1}{\alpha}}, \quad (24)$$

составляет соответственно 12,2; 10,3; 18,8 и 39,1 часа. При поливной норме, определяемой по выражению

$$K_1 dt = \int_0^t \frac{K_1}{t^\alpha} dt, \quad h_0 = \frac{K_1}{1-\alpha} t^{1-\alpha} \quad (25)$$

и равной 0,1 м, потребовалось бы осуществлять подачу воды в соответствующие типы борозд в течение 10; 11; 16,7 и 21,5 часа. Поскольку полученные значения в основном меньше времени, необходимого для стабилизации скорости впитывания воды, то представляется



обоснованным применение формулы Костякова А. Н. для описания процесса впитывания воды и при движении ее по борозде.

Исследования водно-физических свойств почв пониженной водопроницаемости показали, что впитывание воды в почву на хлопковом поле происходит неравномерно как по длине борозд, так и в поперечном разрезе. Вследствие принятой в старой зоне орошения Кашкаринской области технологии обработки почвы на хлопковом поле с междурядьями 0,6 м формируются три типа борозд, отличающиеся по степени уплотнения пахотного слоя. На поле 50% борозд не уплотняются колесами пропашного трактора, остальные уплотняются в разной степени. Причем стыковые борозды уплотняются очень сильно, так как при междурядной обработке заднее колесо трактора проходит по ним дважды. Поэтому к концу поливного сезона, после многократных тракторных обработок хлопчатника почва в бороздах, по которым проходит переднее колесо трактора, обладает объемной массой на 8—9%, а в стыковых бороздах — на 13—14% выше, чем в неуплотненных бороздах. В связи с этим при подаче одинаковых расходов воды во все борозды поле увлажняется неравномерно. При поливе поливальщику приходится в каждую борозду подавать разное количество воды, что в какой-то мере компенсирует различие в плотности почв. Однако при автоматизированном распределении воды между бороздами такой увязки достичь пока трудно. В связи с этим с некоторым ущербом качеству полива, но с учетом достижения перспективной производительности труда на поливе разработаны рекомендации по назначению элементов техники полива при водоподаче в каждую борозду (табл. 17).

Как видно из табл. 17, для узкорядных посевов хлопчатника средний КПД борозды невысок — 66,7—79,8%, что свидетельствует о значительных отборах (испарение воды, фильтрация воды ниже корнеобитаемого слоя почвы и сброс воды во время полива). Структура этих отборов непостоянна, отдельные ее составные части в разных природных условиях имеют разный удельный вес.

Испарение воды с увлажненной поверхности почвы в общем объеме потерь незначительно. Потери воды на фильтрацию и сброс даже при высокой степени их



Таблица 17

Оптимальные элементы техники полива по бороздам с шириной междурядий 60 см при подаче воды в каждую борозду (по Лактаеву Н. Т.)

| Уклон земли | Вологовница-емкость в баках | Длина борозд, м | Расход воды в борозду, л/с | Время полива, ч | Поливная норма, м <sup>3</sup> /га |       | КПД борозды, % | Потери воды при поливе, % |               |          | Суммарные потери воды, % | Потери воды на испарение и фильтрацию, % |
|-------------|-----------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|------------------------------------|-------|----------------|---------------------------|---------------|----------|--------------------------|------------------------------------------|
|             |                             |                 |                            |                 | брутто                             | нетто |                | на испарение              | на фильтрацию | на сброс |                          |                                          |
| 0,005       | 2                           | 275             | 0,75                       | 5,9             | 965                                | 750   | 77,4           | 0,8                       | 11,5          | 10,3     | 22,6                     | 12,3                                     |
|             | 3                           | 325             | 0,5                        | 13              | 1200                               | 900   | 74,8           | 1,3                       | 4,9           | 19       | 25,2                     | 6,2                                      |
|             | 4                           | 400             | 0,25                       | 40              | 1500                               | 1010  | 67,3           | 4,1                       | 3,4           | 25,2     | 32,7                     | 7,5                                      |
| 0,01        | 2                           | 125             | 0,25                       | 9,1             | 1090                               | 750   | 68,7           | 1                         | 17,4          | 12,9     | 31,3                     | 18,4                                     |
|             | 3                           | 200             | 0,25                       | 17              | 1270                               | 890   | 70,1           | 2                         | 4,3           | 23,6     | 29,9                     | 6,3                                      |
|             | 4                           | 200             | 0,1                        | 52              | 1560                               | 1000  | 63,9           | 5                         | 6,9           | 24,2     | 36,1                     | 11,9                                     |
| 0,04        | 2                           | 75              | 0,1                        | 14              | 1120                               | 750   | 66,7           | 1,5                       | 27            | 4,9      | 33,3                     | 28,4                                     |
|             | 3                           | 125             | 0,1                        | 25,5            | 1220                               | 890   | 73,1           | 2,7                       | 11,7          | 12,5     | 26,9                     | 14,4                                     |
|             | 4                           | 150             | 0,05                       | 72              | 1440                               | 990   | 68,6           | 7,1                       | 13,7          | 10,6     | 31,4                     | 20,8                                     |



повторного использования (за исключением промывного режима орошения) — явление нежелательное, т. к. сопровождается выносом минеральных удобрений и мелкозема, а на землях с большими уклонами — смывом плодородного слоя почвы. Наиболее реальным и практически осуществимым средством снижения этих потерь воды является обработка ложа борозд специальными почвообрабатывающими рабочими органами. Поскольку почвы Кашкадарьинской области относятся к категории средней и пониженной водопроницаемости, то здесь необходимо проводить глубокое рыхление борозд.

Для повышения качества полива более 20 лет тому назад учеными-мелиораторами под руководством Гусейнова Г. М. была разработана конструкция навесного культиватора с щелерезами, которая предусматривала нарезку щелей во всех бороздах в период их нарезки перед очередным поливом. В последующем наряду с совершенствованием технологии щелевания дна борозд создавались машины с целым набором рабочих органов, выполняющие уплотнение верхней части борозд и щелевание нижней. Нам представляется более целесообразным и экономичным совмещать операцию по дополнительной обработке почвы с обычными агротехническими приемами. Важно выяснить, во-первых, с какой конкретно междурядной обработкой почвы — культивацией или нарезкой борозд — совмещать глубокое рыхление почвы; во-вторых, выбрать тип борозд, подлежащих улучшению и, в-третьих, выяснить, каким должен быть рабочий орган.

До настоящего времени рекомендовалось проводить щелевание совместно с нарезкой борозд. Опыты показали, что в производственных условиях, когда предполивная влажность корнеобитаемой толщи составляет до 8—10% от наименьшей влагоемкости, сопротивление почвы резанию настолько велико, что иногда гнется рама культиватора КРХ-4, а производительность трактора резко снижается, так как он вынужден двигаться на самой минимальной скорости.

По результатам изучения впитывания воды в разных типах борозд, представляется целесообразным повышение водопроницаемости почв в ложе борозд, по которым постоянно в течение поливного сезона проходят колеса пропашного трактора.



В результате проведенных исследований по выбору оптимальной конструкции рабочего органа и разработки технологии активного воздействия на ложе борозд, не снижающей производительности пропашного трактора, установлена необходимость совмещения операций по увеличению водопроницаемости почв с послеполивной культивацией при достижении оптимальной влажности. Обработке подлежат только те борозды на поле, по которым проходят колеса трактора. В связи с неодинаковой плотностью почвы в уплотненных передним колесом трактора бороздах и стыковых глубина обработки бывает разной. В первом случае она на 5—6 см, во втором на 8—10 см ниже дна борозд. Оптимальная конструкция рабочего органа выбрана по результатам изучения впитывания воды в бороздах. Как видно из рис. 2, рабочий орган состоит из ножа, выполненного из обыч-

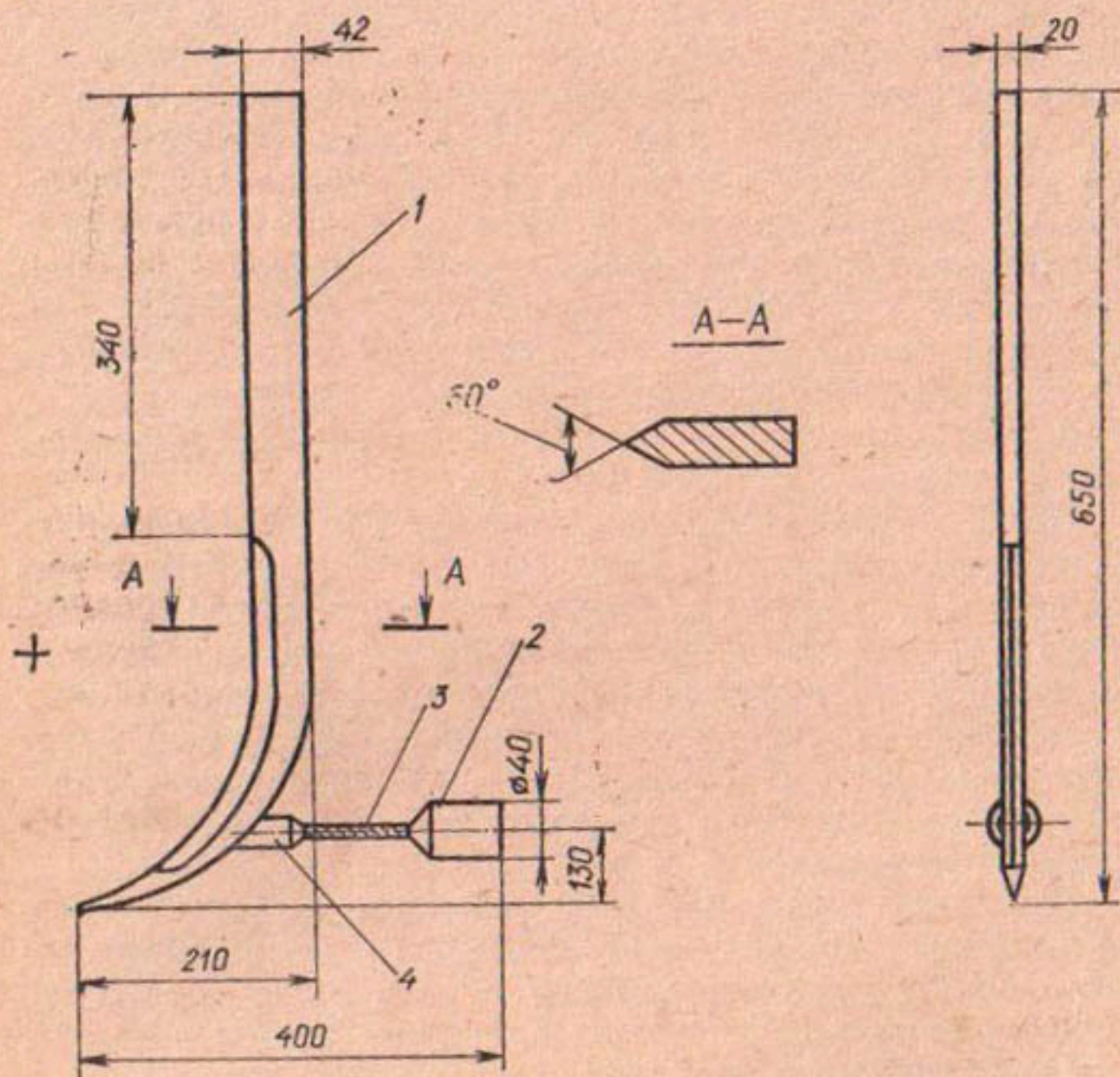


Рис. 2. Рабочий орган для устройства кротовин:

1 — нож-щелерез, 2 — кротователь, 3 — тяговый трос, 4 — хвостовик.





*Рис. 3.* Борозда, уплотненная передним колесом трактора, с кротовиной.

ного чизельного рыхлителя, и специальной гильзы, соединенной с ножом-тросом. Такой орган, заглубляясь во влажную почву, производит рыхление, не повреждая корневую систему хлопчатника, а движущаяся за ним гильза формирует полость — кротовину.

Кротовина в основном сохраняется в течение межполивного периода (рис. 3).

При нарезке борозд колеса трактора заваливают кротовину, однако эффект глубокого рыхления остается и водопроницаемость почвы в такой борозде существенно выше, чем в контрольной. Проведенные исследования элементов техники полива хлопчатника по бороздам, обработанных кротователями на почвах пониженной водопроницаемости, позволили установить более высокие показатели качества полива: за счет уменьшения времени полива существенно снизились потери воды на фильтрацию и уменьшился сброс — на 15—20% по



сравнению с контролем и на 5—10% по сравнению с оптимальными показателями, приведенными в табл. 17. Таким образом, можно утверждать, что предлагаемые рабочие органы и технология обработки ими почвы являются эффективными с точки зрения улучшения водопроницаемости почвы.

В результате создается более высокий уровень питательного, газового и температурного режимов. Влияние каждого из этих факторов на урожайность установить трудно, однако в суммарном эффекте, выражаемом прибавкой урожая 2—4 ц/га, есть и их доля.

**Параметры оросительной сети и поливных устройств.** Широкое использование поливных трубопроводов для орошения пропашных культур в аридной зоне страны началось с момента появления водопроницаемого гибкого материала, сначала полиэтилена, а затем мелиоративной ткани. В настоящее время преимущественное распространение получили гибкие трубопроводы из мелиоративной ткани, оснащенные пластмассовыми регулируемыми водовыпусками. Однако, применение их на поливе хлопчатника и сопутствующих культур ограничено из-за недолговечности, дороговизны, а также необходимости применения специального механизма для обслуживания—трактора с намоточным устройством.

Строительство оросительных систем с внутрихозяйственной сетью, представленной лотковыми каналами на опорах или подземными трубопроводами, с длинными бороздами, направленными перпендикулярно к ним (поперечная схема полива), открывает возможность для применения простых и надежных поливных устройств. Среди них ведущее место могут занять жесткие поливные трубопроводы из легких труб. Алюминиевые трубы разных диаметров, выпускаемые отечественной промышленностью, предназначены главным образом для дождевальных комплектов—с быстросборными соединениями, и колесных трубопроводов—с фланцевыми.

Алюминиевые трубы с шаровыми соединениями, согласно каталогу сельскохозяйственной техники, выпускаются короткими—6 м звеньями с внутренним диаметром 102, 122 и 146 мм с расчетным давлением 1,2 МПа. Объем производства этих труб такой же, что и у гибких трубопроводов. Впервые алюминиевые трубы с шаровыми соединениями были применены на поливе хлопчатника в Голодной степи в 1975 г. в совхозе им.



Г. Гуляма на площади 80 га. В 1978 г. трубы с фланцевыми соединениями дождевальная машины «Волжанка» испытывались в Каршинской степи (совхоз «Пахтакор»). В результате многолетней опытно-производственной проверки поливного трубопровода установлена оптимальная конструкция.

Конструкция поливного трубопровода зависит от диаметра алюминиевых труб. Поскольку сортамент труб ограничивается тремя размерами, а в трубопровод требуется забрать значительную часть бригадного тока воды, то для этого необходимо обеспечить водозабор из лотка в трубопровод в нескольких точках. Количество точек водозабора при определенном диаметре труб зависит от расхода воды в борозду, напора воды в лотке и требуемой степени точности выдачи расходов по фронту полива. Последнее условие служит критерием выбора оптимальной длины отрезка поливного трубопровода в пределах одной точки водозабора. Выбор этого параметра основывается на решении основного уравнения движения жидкости с переменной массой.

Для горизонтально уложенного поливного трубопровода это условие вполне осуществимо на системах с поперечной схемой полива—в любом сечении (кроме конечного) вычисляются скорость потока ( $v_x$ )

$$v_x = v_0 - \frac{v_0 x}{l}, \quad (26)$$

потери напора ( $\Delta h_w$ ) —

$$\Delta h_w = \frac{1}{3K^2} Q_0^2 x, \quad (27)$$

пьезометрический напор ( $h_x$ ) —

$$h_x = \frac{P_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{g} - \frac{\left[v_0 \left(1 - \frac{x}{l}\right)\right]^2}{g} - \frac{Q_0^2 x}{3K^2}, \quad (28)$$

где  $Q_0$  — головной расход трубопровода;

$K$  — расходная характеристика трубопровода;

$\frac{P_0}{\gamma}$  — напор воды в точке водозабора.

Для двух произвольных сечений на расчетном участке трубопровода расходы воды в борозду не должны отличаться более чем на  $\pm 15\%$ , что выражается условием

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{\mu \omega \sqrt{2gH_2}}{\mu \omega \sqrt{2gH_1}} = \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{H_1}} \leq (0,85 \div 1,15),$$



из которого следует

$$H_2 \geq (0,72 \div 1,32) H_1.$$

За исключением случаев, когда в трубопроводе происходит восстановление напора, пьезометрическая линия по длине поливного трубопровода плавно убывает, и тогда последнее соотношение упрощается и принимает следующий вид

$$H_2 \geq 0,72 H_1.$$

Полученное выражение дает возможность по известному положению пьезометрической линии назначать оптимальную длину рабочего участка трубопровода.

При  $x \rightarrow l$  скорость потока в конце поливного трубопровода равна нулю. Тогда средняя скорость ( $v_{cp}$ ) приближенно составит

$$v_{cp} = 0,5 v_0, \quad (29)$$

а уравнение пьезометрической линии примет вид

$$h_1 = \frac{P_0}{g} + \frac{0,75 v_0^2}{g} - \frac{Q_0^2 l}{3K^2}. \quad (30)$$

В этом уравнении три неизвестные величины —  $v_0$ ,  $Q_0$ ,  $l$ . Для его решения необходимо задаваться величиной  $l$ , определять головной расход ( $Q_0$ ) и скорость потока воды ( $v_0$ ) в трубопроводе.

Для фиксированных значений напора воды на гидранте — водовыпуске ( $\frac{P_0}{\gamma}$ ) и диаметра труб, из уравнения (30), можно определить напор воды в конце трубопровода ( $h_1$ ). Сравнивая его с головным напором ( $\frac{P_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{g}$ ), можно сделать вывод о допустимости принятой длины трубопровода.

По данной методике проведены расчеты для различных условий и по их результатам составлен график зависимости оптимальной длины трубопровода и диаметра водовыпускных отверстий от расхода воды в борозду при различной высоте лотка и ширине междурядий (рис. 4).

По графику можно выбрать оптимальную длину отрезка трубопровода с обеспеченной равномерностью раздачи воды по фронту полива ( $0,5l_1$ ). При больших



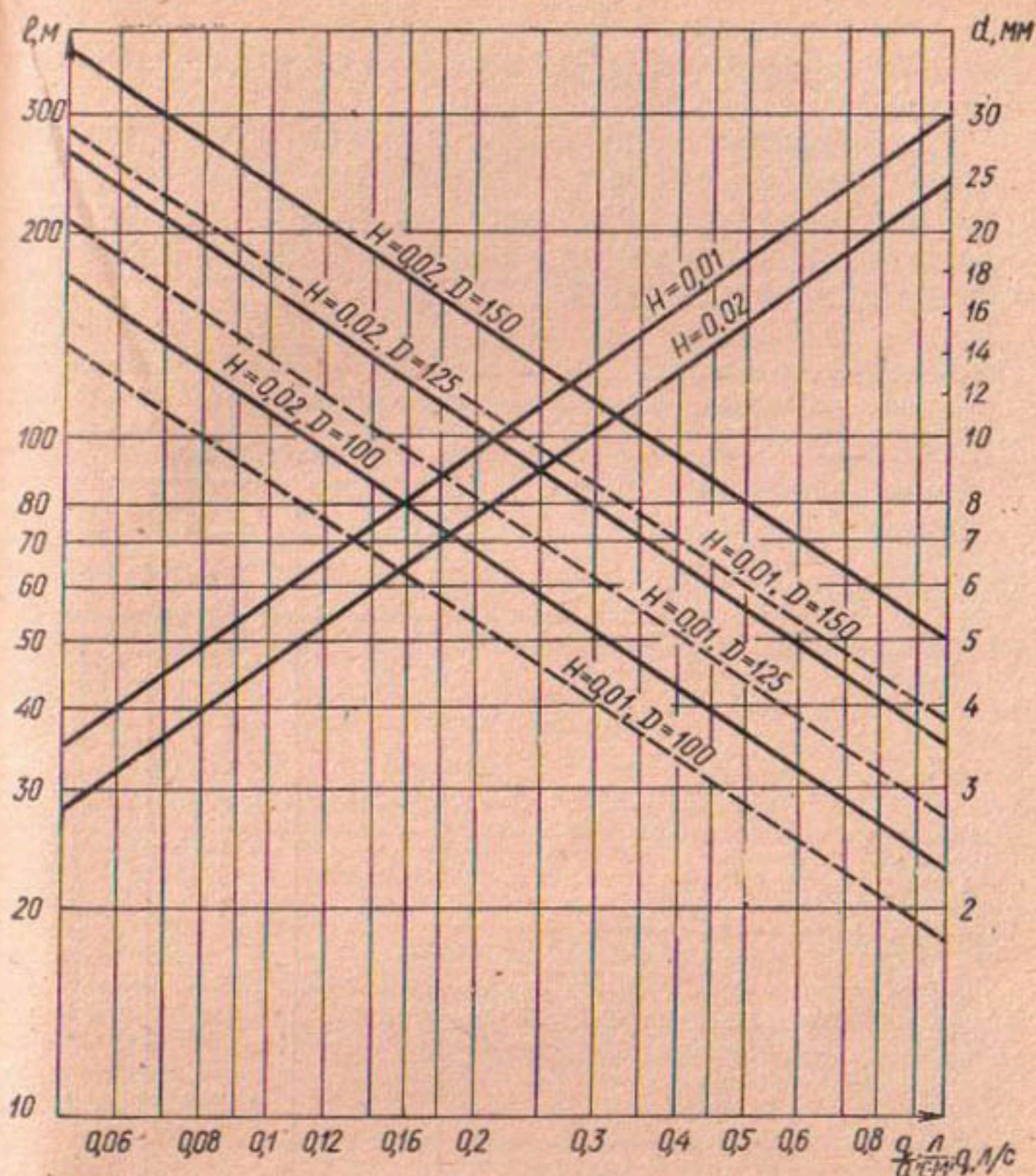


Рис. 4. Зависимость оптимальной длины рабочего участка трубопровода ( $l$ ) от удельной раздачи воды ( $q/a$ ) и диаметра водовыпускных отверстий от расхода воды в борозду при разном напоре ( $H$ ).

струях воды, малых напоре и диаметре труб длина трубопровода небольшая. В связи с его малой массой представляется возможным соединить в один шлейф несколько изолированных участков (рис. 5). Длина шлейфа ( $l_3$ ) обуславливается хозяйственными условиями и, как показали исследования, оптимальная длина шлейфа с трубами диаметром условного прохода 100, 125 и 150 мм составляет соответственно 200, 160, 100 м.



Длина шлейфа должна быть не больше этих величин и кратна  $l_1$ .

При проектировании схемы полива и конструкции сети необходимо выбрать оптимальный диаметр трубопровода, последнее разрешается в результате технико-экономического сравнения конструкций трубопроводов с разными диаметрами труб (табл. 18).

Таблица 18

Расчет приведенных затрат для различных вариантов конструкций поливного устройства и оросительной сети

| Технико-экономический показатель                                                          | Диаметр труб, мм |      |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------|------|
|                                                                                           | 100              | 125  | 150  |
| Длина звена трубопровода, м                                                               | 25               | 40   | 50   |
| Длина шлейфа, м                                                                           | 100              | 80   | 50   |
| Расстояние между гидрантами-водовыпусками, м                                              | 50               | 80   | 100  |
| Количество гидрантов (на 1 га), шт./га                                                    | 0,5              | 0,31 | 0,25 |
| Стоимость гидрантов, руб./га                                                              | 8                | 5    | 4    |
| Количество тройников, шт./га                                                              | 0,5              | 0,31 | 0,25 |
| Стоимость тройников, руб./га                                                              | 8                | 5    | 4    |
| Удельная протяженность гибких шлангов, м/га                                               | 2,5              | 1,6  | 1,25 |
| Стоимость шлангов, руб./га                                                                | 5                | 4,2  | 5    |
| Стоимость алюминиевых труб при одинаковой удельной протяженности 6 м/га, руб./га          | 12               | 14   | 18   |
| Общая стоимость конструкций, руб./га                                                      | 33               | 28,2 | 31   |
| Отчисления на амортизацию и текущий ремонт металлоконструкций (10% от стоимости), руб./га | 2,8              | 2,4  | 2,6  |
| Отчисления на амортизацию и текущий ремонт гибких шлангов (25% от стоимости), руб./га     | 1,2              | 1,05 | 1,2  |
| Общие издержки, «                                                                         | 4                | 3,45 | 3,8  |
| Приведенные затраты ( $C=I+EK$ ), «                                                       | 8                | 6,85 | 7,5  |

Примечание. Расчет выполнен для расхода воды в борозду 0,4 л/с, ширины междурядий—0,6 м, длины борозды—400 м, длины звена трубы—12 м и напора—0,01 МПа. Затраты ручного труда на полив во всех вариантах одинаковы.

Как видно из табл. 18, по приведенным затратам более эффективным является трубопровод диаметром 0,5—0,6.

Важный момент при поливе с помощью поливных трубопроводов — обеспечение равномерной раздачи воды по фронту полива. В качестве параметров, характеризующих качество полива, принято считать средний



расход воды в борозду, среднеквадратическое отклонение расходов от среднего, коэффициент вариации расходов и обеспеченность среднего расхода. Исследования распределения воды по фронту полива, проведенные в различных регионах хлопковой зоны Узбекистана и Казахстана, показали приемлемое соответствие расчетных элементов, представленных на рис. 5, фактическим и высокие параметры функции распределения расходов воды по фронту полива — коэффициент вариации в пределах 0,1—0,15, обеспеченность среднего расхода 0,5—0,6.

В то же время практика показала, что микрорельеф вызывает необходимость перераспределения бороздных струй. Последнее достигается путем изменения диаметра отверстий с помощью гибких хомутов из мелиоративной ткани.

Применение поливных трубопроводов из алюминиевых труб, как показали исследования, существенно повышает производительность труда на поливе. Суточная производительность труда поливальщика достигает 3—4 га, а сезонная нагрузка — 40—50 га. Экономический эффект от применения данных трубопроводов достигает до 5 руб./га.

Наряду с жесткими трубопроводами на поливе пропашных культур по поперечной схеме возможно применение гибких трубопроводов (шлангов) из мелиоративной ткани с регулируемым водовыпуском. В настоящее время, несмотря на серийный выпуск гибких шлангов, применение их затруднено в связи с отсутствием в хозяйствах устройств для сборки, транспортирования и раскладки их. В САНИИРИ разработана и испытана технология полива комбинированными трубопроводами, состоящими из двух секций — жесткого алюминиевого и гибкого (рис. 6). Особенность конструкции этого трубопровода заключается в устройстве на алюминиевом трубопроводе роликовых опор, на которые укладывается гибкий шланг во время транспортировки, и с которых он легко стягивается для укладки на рабочую позицию.

При длине звена алюминиевого трубопровода 12 м и расстоянии между салазками 12 м роликовые опоры монтируются с шагом 6 м. Для предотвращения заиливания крайние звенья алюминиевого трубопровода водовыпускными отверстиями располагаются вниз.



В результате применения комбинированного трубопровода из алюминиевых труб диаметром 125 или 150 мм и гибкого шланга диаметром 250 или 300 мм в зависимости от расхода воды в борозду, с равной удельной протяженностью трубопроводов из разного материала (по 3 м/га) стоимость его несколько возрастает за счет более дорогого гибкого шланга, но вследствие снижения числа гидрантов-водовыпусков уменьшается стоимость оросительной сети. По приведенным затратам оросительные системы с комбинированными и только жесткими трубопроводами сопоставимы, и выбор осуществляется в таком случае по другим, возможно, частным факторам.

Высокопроизводительное применение алюминиевых трубопроводов малого диаметра достигается в природных условиях, где возможно проведение по продольной технологической схеме полива малыми струями. Такие условия наблюдаются на землях с большими уклонами. Так, для уклона 0,01 и средних расходов воды в борозду 0,1 и 0,05 л/с разработаны типовые схемы бригадной сети для площади бригады 190 га (рис. 7). При увязке элементов техники полива с размещением в плане оросительной сети установлены: расход водовода 95 л/с, расход поливного трубопровода 31,7 л/с (при расходе воды в борозду 0,11 л/с и числе борозд 292), число одновременно работающих поливных трубопроводов от одного водовода 3 (рис. 7 а).

При длине борозд 227 м число ярусов составляет 6, из 4 бригадных водоводов одновременно должны работать 2. Поливные трубопроводы, образующие группу в количестве трех, перемещаются только в продольном направлении, разделяя всю площадь бригады на две зоны. При такой схеме полива требуется 5,5 м/га алюминиевых труб диаметром 150 мм, водоводов 28,6 м/га. Для минимальных расходов воды в борозду применительно к площади бригады прежнего размера предлагается схема сети (рис. 7 б). Как видно, расстояние между водоводами здесь составляет 400 м, а длина поливного трубопровода 200 м. При установленном расходе воды в борозду 0,063 л/с расход трубопровода составляет 21,1 л/с, что позволяет применить трубы диаметром 125 мм. В отличие от предыдущей схемы полива в данной предусмотрена одновременная работа всех трех водоводов с меньшим расходом — 63 л/с, площадь



бригады разделена на 3 группы по 3 яруса в каждой, с учетом длины борозды (178 м), числа работающих поливных трубопроводов (9). Удельная протяженность алюминиевых труб составляет 10,5 м/га, оросительной сети — 25,2 м/га.

Проблема механизации полива по продольной схеме большими струями (0,5; 0,75 л/с) еще не решена, хотя для отдельных случаев имеются вполне приемлемые технические решения (гибкие шланги с намоточным устройством, полужесткие трубы с трубоукладчиком и др.). Здесь пока остается преобладающим традиционный полив с помощью трубочек или сифонов. Некоторой компенсацией больших затрат ручного труда на поливе могут служить тщательная капитальная планировка земли, совершенный тип внутриучастковой сети с надежными сооружениями на ней, автоматизация внутрибригадного водораспределения.

На равнинных землях, где возможно устройство длинных борозд с большими расходами воды, перспективной следует считать конструкцию внутрибригадной оросительной сети, несущей в себе функции поливного устройства. Примером такой конструкции применительно к поперечной схеме полива является водовод из железобетонных параболических лотков, уложенных на землю и имеющих водовыпускные отверстия в каждую борозду. Водовыпускные отверстия располагаются в верхней части стенки лотка. При установлении транзитного расхода воды глубина наполнения лотка небольшая, вследствие чего отверстия водовыпусков находятся выше линии горизонта воды. При поливном режиме, создаваемом закрытием перегораживающего сооружения, образуется подпор, в результате чего горизонт воды в лотке поднимается выше линии водовыпусков и происходит истечение воды в борозды. Для того, чтобы подпор воды не распространялся дальше расчетной ширины фронта полива, рабочие секции водовода разделяют перепадами высотой не менее 10—15 см. Исследования показали, что равномерная раздача воды из поливного лотка по фронту полива наблюдается при напоре воды над осью водовыпуска не менее 10 см и отклонении фактического расхода от расчетного не более 25%. Однако, как показывает опыт, по причине колебания расходов воды в борозду в течение вегетации согласно режиму орошения, различной водообеспеченности оросительных сис-



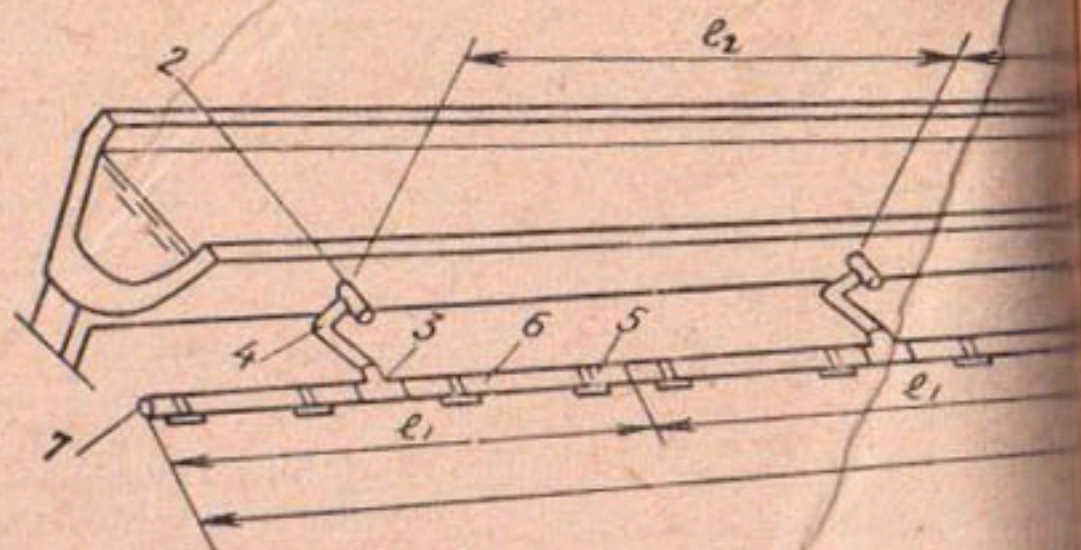


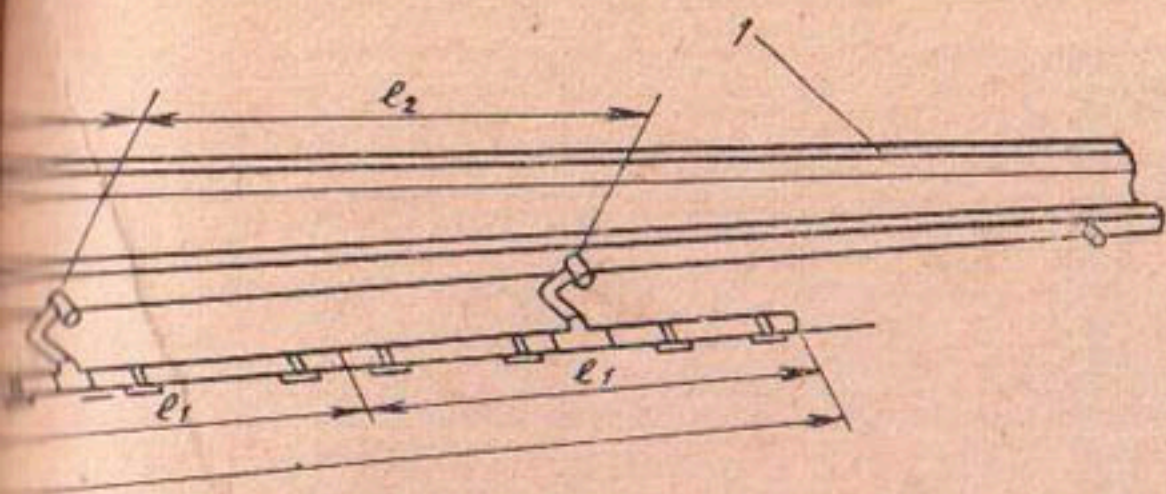
Рис. 5. Конструкция полив

1 — лоток, 2 — водоотпуск, 3 — тройник, 4 — затвор

тем в многолетнем разрезе, а также неодинаковым развитием хлопчатника в пределах одной бригады, подавать одинаковый расчетный расход в каждую секцию лотка не всегда представляется возможным. Поэтому для обеспечения равномерной раздачи воды при уменьшенном против расчетного расходе лотка следует сокращать рабочую длину секции путем деления стандартной секции лотка на подсекции устройством дополнительных перепадов, совмещенных с клапанным затвором. Количество подсекций устанавливается, исходя из минимального расчетного расхода лотка и уклона местности вдоль трассы лотка, лимитирующего число и высоту перепадов. Таким образом, лотковый водовод должен представлять собой набор секций малой длины, сумма рабочих расходов которых равна головному расходу.

Так, на рис. 8 приведен продольный профиль лотка автоматизированного полива в совхозе 1а Ильичевского района Сырдарьинской области. Он состоит из шести метровых звеньев лотка ЛР-80 и рассчитан на пропуск расхода 200 л/с воды. При его проектировании было принято, что в лоток будет подаваться весь бригадный расход воды, ширина фронта полива при этом составит 200 м, а число рабочих секций — 4. При меньших головных расходах воды ширина фронта полива сократится и соответственно увеличится количество тактов. Профиль дна лотка имеет переменный уклон, вычисленный по методике Лактаева Н. Т. [12].





провода из алюминиевых труб:

а — салазки, б — алюминиевый поливной трубопровод.

Для условий Кашкадарьинской области за каждой группой поливальщиков закрепляется определенная конкретная орошаемая площадь, бригадный ток делят на соответствующее количество частей. Нам представляется целесообразным назначать минимальный расход лоткового водовода в размере 100 л/с. Следовательно, при расходе воды в борозду 0,5 и 0,25 л/с ширина фронта полива составит 120 и 240 м. Так как при такой длине рабочей секции падение линии свободной поверхности воды незначительно (2—3 см) и его величина сопоставима со строительными допусками, то практически такой лоток можно строить безуклонным.

При этом наряду с экономией в строительной стоимости водовода облегчаются условия проектирования и строительства. При проектировании предполагается в лотке, устроенном по горизонтальной линии, обеспечить одинаковую глубину наполнения и, следовательно, равномерную раздачу воды. Строительство лотка с безуклонными рабочими секциями также облегчается, так как опоры в пределах рабочей секции устанавливаются под одну отметку.

Исследованные и рекомендуемые средства распределения воды между бороздами серийно выпускаются промышленностью, их применение на поливе увеличивает производительность труда в 3 раза и более, сокращает объем ручного труда на поливе, повышает качество полива и продуктивность воды.



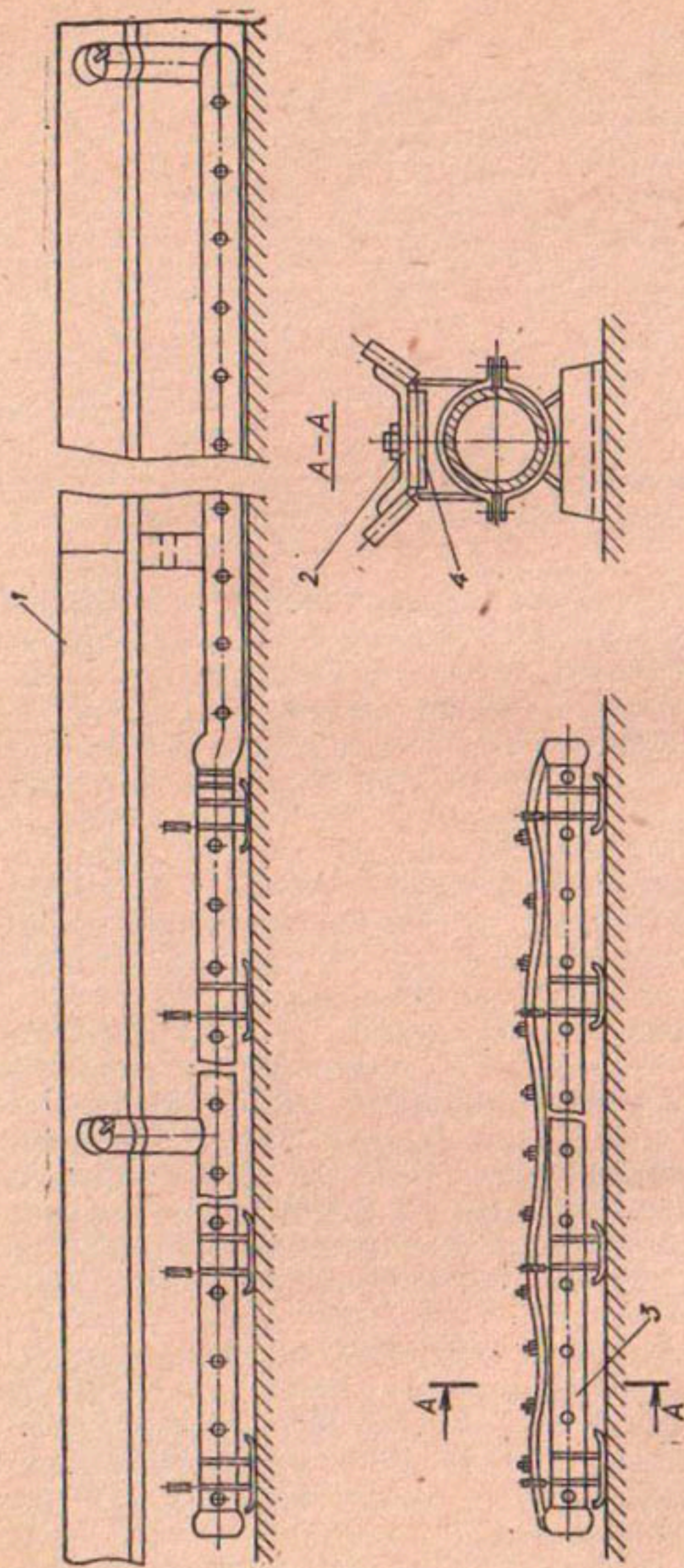


Рис. 6. Конструкция комбинированного поливного трубопровода:

1 — лоток (трубопровод). 2 — гибкий поливной трубопровод. 3 — алюминиевый поливной трубопровод, 4 — роликовая опора.







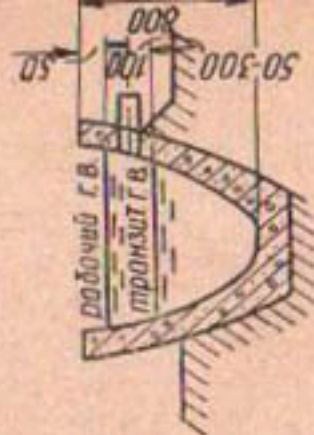
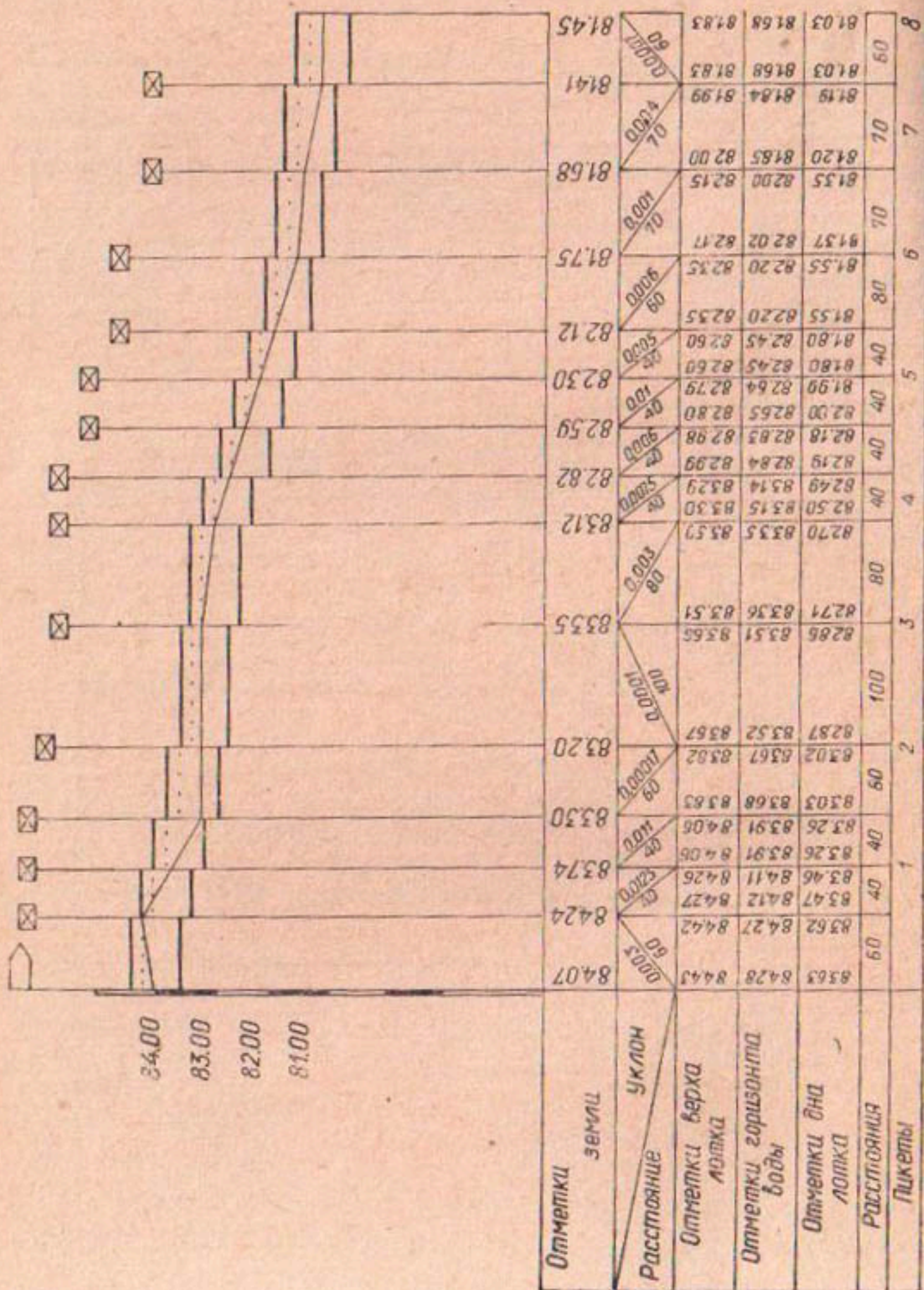
☒ — клапаный затвор

Рис. 8. Продольный профиль полнотного лотка.





## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫБОРА СХЕМ И КОНСТРУКЦИЙ СОВЕРШЕННЫХ ЗАКРЫТЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ (ЗОС)

Большой резерв плодородных и незасоленных земель сосредоточен в предгорной зоне Узбекистана и других среднеазиатских республик. В рассматриваемую зону Кашкадарьинской области также входят земли с большими уклонами, на которых предстоит провести либо реконструкцию существующей ирригационной сети, либо новое строительство.

В этой связи особенно остро стоит вопрос о выборе наиболее совершенного типа внутрихозяйственной оросительной сети. В настоящее время понятию совершенной сети отвечают два вида — это открытая лотковая и сеть из подземных трубопроводов — закрытая (ЗОС). Лотковая сеть получила широкое распространение в Голодной и Каршинской степях.

В Голодной степи накоплен более чем 20-летний опыт эксплуатации обоих видов сети и установлено преимущество ЗОС по основным критериям, таким как приведенные затраты (включающие КПД и КЗИ), срок службы, надежность, качественное использование воды из-за отсутствия технических и технологических сбросов и др.

Однако построенные в равнинных условиях ЗОС просты по конструкции, и методы их проектирования не могут быть применены в условиях больших уклонов и сложного рельефа местности, характерных для Верхней и Средней Кашкадарьи и обуславливающих создание разветвленной сети, аналогичной городской водораспределительной.

Обзор литературных источников и проектов закрытых оросительных систем показал, что разветвленная сеть самотечно-напорных трубопроводов проектируется на основе только гидравлического расчета, т. е. диаметры труб линий назначаются без соответствующего технико-экономического обоснования, без учета влияния взаимодействия линий и гидравлических связей. При этом толщина стенок труб принимается без расчета часто с большим запасом прочности, что ведет к увеличению строительной стоимости сети.

При проектировании ЗОС диаметры труб сложной разветвленной сети устанавливаются по «экономическим» скоростям, что позволительно лишь для водово-



дов. Известные в водоснабжении методы технико-экономического расчета здесь не могут быть применимы в силу специфики орошаемого земледелия.

Современная система ведения сельскохозяйственного производства на орошаемых землях требует организации сосредоточенных поливов, что предполагает очередную работу трубопроводов младшего порядка. При этом имеет место различная в течение вегетации продолжительность работы трубопроводов разной категории: напорный (магистральный) трубопровод работает в течение всего расчетного периода, срок работы полевых трубопроводов составляет несколько суток.

Вследствие этого кольцевание полевых трубопроводов при определенных условиях может обеспечивать экономичность и надежность ЗОС.

Решение вопроса о наивыгоднейшей схеме сети (тупиковой или закольцованной) имеет немаловажное значение и с точки зрения оснащения закрытой сети элементами автоматики для обеспечения автоматизированного полива.

Анализ немногочисленных работ по технико-экономическому расчету закрытых оросительных систем показал, что системы рассчитываются на максимальную пропускную способность без учета возможного изменения водопотребления в разрезе часовом, суточном и сезонном. Исследованиями элементов режима орошения, водопользования и технологии бороздкового полива установлена дискретность водоподачи на поливной участок, зависимость расхода воды в борозду от номера полива, изменение бороздной струи в течение одного полива, резкое уменьшение поливного тока в ночное время.

Также установлено, что от этих факторов, влияющих на режим работы насосной станции, в значительной степени зависят основные параметры и технико-экономические показатели гидравлического комплекса.

Следует отметить, что имеющийся пока еще небольшой опыт эксплуатации закрытой оросительной сети свидетельствует о необходимости разработки мероприятий, предохраняющих трубопроводы от разрушений.

Таким образом, при проектировании сети необходимо согласовать два противоположные требования — снизить стоимость гидравлического комплекса и обеспечить достаточную прочность труб.



## Характеристика закрытых оросительных систем предгорий

| Система                                    | Тип сети               | Площадь<br>брутто,<br>га | Марка ас-<br>бестоце-<br>ментных<br>труб | Строительная сто-<br>имость системы |                           |
|--------------------------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
|                                            |                        |                          |                                          | полная,<br>тыс. руб.                | удель-<br>ная,<br>руб./га |
| Экинтекинская                              | Самотечно-<br>напорная | 1507                     | BT-9                                     | 4716,62                             | 3140                      |
| Ассакинская                                | —«—                    | 685                      | BT-9                                     | 1227,95                             | 1790                      |
| Тепикташская                               | —«—                    | 595                      | BT-6                                     | 1204,86                             | 2030                      |
| Раиш (I очередь)                           | —«—                    | 109                      | BT-6                                     | 231,65                              | 2120                      |
| Раиш (II очередь)                          | —«—                    | 411                      | BT-6                                     | 494,3                               | 1200                      |
| Итого по системе:                          |                        |                          |                                          |                                     |                           |
| Раиш                                       |                        | 520                      | BT-6                                     | 725,93                              | 1400                      |
| Карагунонская                              | —«—                    | 512                      | BT-6                                     | 783,6                               | 1530                      |
| Туямуюнская                                | —«—                    | 220                      | BT-9                                     | 629,3                               | 2860                      |
| Стрелковская                               | —«—                    | 60                       | BT-9                                     | 226,1                               | 3770                      |
| Зауракская                                 | —«—                    | 43                       | BT-9                                     | 262,08                              | 6010*                     |
| Всего по системам                          |                        |                          |                                          |                                     |                           |
| Андижанской области                        |                        | 4662                     |                                          | 9776,44                             | 2090                      |
| Тюрякурганская (На-<br>манганская область) | С машинным<br>подъемом | 500                      | BT-9                                     | 840,5                               | 1680                      |

\* В связи с тем, что освоена только часть подкомандной площади машинного канала, а затраты отнесены на освоенную площадь, удельная строительная стоимость оказалась высокой.

Основные технико-экономические показатели закрытых систем приведены в табл. 19. Из данных табл. 19 видно, что самые большие затраты на 1 га приходятся на системы с высокой удельной протяженностью труб. Сравнивая системы Узбекистана с крупнейшими закрытыми системами страны, можно отметить, что удельная протяженность труб условного диаметра примерно одинакова, а удельная стоимость на системах Андижанской области несколько выше, чем на других системах. Это объясняется частым расположением трубопроводов, вписанных в сложный рельеф местности, и большим объемом планировочных работ.

По технико-экономическим показателям Тюрякурганская система, относящаяся к разряду опытно-производственных, выгодно отличается от аналогичных систем страны. Достаточно отметить, что на Экинтекинской системе удельные капитальные вложения составили 3140 руб./га при удельной протяженности труб условного диаметра 84 м/га, на Ассакинской — соответственно



1790 руб./га и 97,9 м/га, на Апшеронской системе в Азербайджанской ССР — 1773 руб./га и 102 м/га, на Явано-Обикниикской системе в Таджикистане (без стоимости головного гидроузла, но с учетом дренажа) — 2152 руб./га и 49 м/га, на системе совхоза № 3 в Гяурской долине (зона Каракумского канала) — 2330 руб./га и 46,5 м/га асбестоцементных и железобетонных труб разного диаметра.

В связи с тем, что закрытые оросительные системы находят все большее распространение во многих странах мира, усилия многих исследователей направлены на установление оптимальных параметров систем.

Однако, как правило, в имеющихся рекомендациях схема сети наперед задана, трубопроводы разной категории работают одинаковое время, водопотребление постоянно и коэффициент расхода электроэнергии равен единице или, в лучшем случае, заимствован из водопроводной практики, взаимодействие линий сложной разветвленной сети не учитывается.

Что касается вопроса выбора схемы сети: тупиковой или закольцованной, то здесь также нет серьезных работ и исследований.

Исследованиями ряда ученых установлен большой удельный вес аварий на сети, обусловленных гидравлическим ударом. Последний возникает в основном при работе водозапорной арматуры, и величина его зависит от схемы сети, месторасположения, типа и времени дросселирования арматуры, материала труб, скорости установившегося потока и для тупикового водовода имеет вид зависимости

$$H_{уд} = f(H_0, a, l, v_0, t_3).$$

Здесь  $H_{уд}$  — максимальное ударное давление;  
 $a$  — скорость распространения ударной волны, зависящая от материала трубопровода;  $l$  — протяженность трубопровода;  $H_0$  и  $v_0$  — соответственно статический напор и скорость потока;

$t_3$  — время закрытия устройства.

Для конкретного водовода при прочих равных условиях ударное давление прямо пропорционально скорости потока. Поэтому в ЗОС предгорий, особенно гравитационных, работающих при больших статических напорах, которые по требованиям экономичности прак-



тически полностью используются на преодоление сил трения, создавая высокие значения скоростей потока, следует ожидать появления больших ударных давлений.

Вопросы распространения удара в ЗОС с разными типовыми схемами сети требуют настоящего решения, т. к. от этого зависит выбор конструкции труб и противоударных сооружений.

Известно, что толщина стенок труб назначается в результате расчета по так называемым «котельным» формулам, в которых главным параметром является не скорость, а внутреннее давление, в частности, максимально возможное с учетом гидравлического удара. Исследованиями Н. Е. Жуковского установлена прямая зависимость между скоростью потока при установившемся режиме и величиной ударного давления [5]. Казалось бы, что огромная величина ударного давления при больших скоростях потребует применения дорогих толстостенных труб. Однако этого можно избежать, имея опыт эксплуатации трубопроводов в гидромеханических системах, где скорости нередко достигают 10 м/с и более, а для гашения гидравлического удара и защиты трубопроводов устанавливают противоударные устройства.

Исходя из этого, представляется необходимым выбор скорости потока осуществлять по результатам технико-экономического расчета, а толщину стенок труб рассчитывать по величине максимального внутреннего давления.

### Расчет самотечно-напорной ЗОС

В самотечно-напорных ЗОС обычно водозабор осуществляется из открытого канала, наполнение в котором поддерживается с помощью перегораживающих сооружений примерно на одинаковом уровне, в связи с чем головной напор в такой сети можно считать заданным.

В связи с тем, что решающим фактором при проектировании сети в плане является рельеф местности, начертание сети в плане также следует считать заданным. В результате водохозяйственных расчетов на основе режима орошения сельхозкультур, способа и элементов техники полива назначается общий расход сети.



Оросительные системы поверхностного орошения, в отличие от систем дождевания, характеризуются очередностью подачи воды в поливные трубопроводы. Поэтому общий расход воды системы распределяется по сети между отводами несколько раз, до тех пор, пока не определятся расходы всех участков, ветвей.

Принимая величину свободного напора в размере 2—3 м (для полива с помощью гибких или жестких поливных трубопроводов), можно определить пьезометрические отметки в концевых точках схода.

Система закрытых трубопроводов, изображенная на рис. 9, в соответствии с терминологией теории графов представляет собой связный граф, вершина которого образована узлами, а ребра — участками. Графы оросительных систем являются плоскими. Разветвленная тупиковая сеть системы ТР-57 не содержит циклов — цепочек, где начальный и конечный узлы совпадают, — и это положение присуще всем самотечно-напорным системам поверхностного полива. Следовательно, между любыми двумя вершинами такого графа существует только один путь — однократная последовательность ребер и вершин. Совокупность таких путей образует дерево. На дереве, изображенном на рис. 9, точка 0 является точкой питания, а, в, в<sub>1</sub>, в<sub>2</sub>, д, з, ж, е, б — точками схода. Назовем пути 0—а, 0—в, 0—в<sub>1</sub>, 0—в<sub>2</sub>, 0—д, 0—з, 0—ж, 0—е и 0—б, соединяющие точки питания и схода маршрутами. Число маршрутов всегда равно числу точек схода. Каждый маршрут состоит из участков, соединяющих на его продольном профиле точки перегиба.

На плане номера участков — всего их  $i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  — взяты в кружочек, а рядом с ними даются их параметры: в числителе высота падения, в знаменателе — уклон местности, а стрелками показана протяженность участка  $l_i$ . Пропускная способность каждого маршрута определяется водохозяйственным расчетом, она по всей длине одинакова и, следовательно, расходы всех участков, входящих в данную магистраль, одинаковы и равны  $q_i$ .

На каждом  $i$ -ом участке для пропуска заданного расхода могут быть назначены трубы разного диаметра. Зная величину уклона местности, по таблицам Ф. А. Шевелева подбираются стандартные диаметры  $d_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ , которые характеризуются гидравлическими уклонами, близкими по величине к уклону местности.



Любой из  $j$ -х диаметров может быть уложен на этом участке на его длине  $X$ . В таком случае  $x_{ij}$  представляет собой часть длины  $i$ -го участка с трубами  $j$ -го диаметра. Задача состоит в отыскании таких значений  $x_{ij}$ , которые бы обеспечивали минимум строительной стоимости сети при соблюдении определенных гидравлических и топографических условий.

Наиболее полно методику технико-экономического расчета разветвленных сетей с заданным начальным напором разработал М. В. Кирсанов [10].

Наряду с достоинствами метода М. В. Кирсанова, заключающегося в введении в задачу уравнений экономичности и решения ее с помощью хорошо известного итеративного метода, ему свойственны недостатки, главные из которых заключаются в том, что полученные по расчету диаметры труб являются нестандартными и требуется обоснование выбора ближайшего большего или меньшего диаметра. Кроме того, проблемным является учет сложного рельефа местности по трассе участков сети.

Задачу технико-экономического расчета сети с заданным начальным напором, на наш взгляд, можно решать значительно проще и получить при этом точное решение, используя методы линейного программирования.

Сущность задачи линейного программирования состоит в выборе таких неотрицательных значений переменных, подчиненных системе ограничений в форме линейных уравнений или неравенств, при которых достигается максимум или минимум данной линейной функции. Задача линейного программирования на минимум состоит в следующем: требуется найти

$$\min F(x) = cx \quad (31)$$

при условии  $Ax \leq b, x \geq 0$ .

Величины  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , представляющие  $n$ -мерный вектор-столбец  $X$ , являются инструментальными переменными. Используемые в задаче константы состоят из постоянных коэффициентов  $a_{mn}$ , входящих в матрицу  $A$  размерности  $m \times n$ , константы ограничений  $b_m$ , являющихся компонентами вектора-столбца  $b$ , и из  $n$  постоянных коэффициентов целевой функции  $c_n$ , являющихся компонентами вектора-строки  $c$ .



Если стоимость 1 км трубопровода  $j$ -го диаметра, уложенного на  $i$ -ом участке, составляет  $c_{ij}$ , то функция цели, выражающую строительную стоимость сети и стремящуюся к минимуму, можно представить в следующем виде:

$$\sum_i \sum_{j \in J_i} c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где  $J_i$  — множество индексов  $j$ -х стандартных диаметров труб, пригодных для укладки на  $i$ -ом участке сети;

$x_{ij}$  — инструментальная переменная, представляющая часть длины  $i$ -го участка с трубами  $j$ -го диаметра.

Переменные  $x_{ij}$  должны удовлетворять следующим ограничениям, продиктованным условиями задачи (1, 2, 3).

1. Суммарная протяженность труб различного диаметра в пределах каждого участка должна строго равняться его длине. Это условие выражает баланс длин участка и записывается в виде уравнения

$$\sum_{j \in J_i} x_{ij} = l_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

2. Так как в концевых точках схода пьезометрических напоры неодинаковые, то и располагаемые вдоль каждого маршрута напоры могут быть различны. Второе условие должно выражать требование равенства потерь напора располагаемому напору:

$$\sum_{i \in J_r} \sum_{j \in J_i} h_{ij} x_{ij} = H_r, \quad r = 1, 2, \dots, S. \quad (5)$$

Здесь  $H_r$  — располагаемый напор в  $r$ -ом маршруте;  
 $J_r$  — множество индексов  $i$ -х участков, входящих в  $r$ -й маршрут;  
 $h_{ij}$  — гидравлический уклон на  $i$ -ом участке с трубами  $j$ -го диаметра;  
 $h_{ij} x_{ij}$  — потери напора на  $i$ -ом участке с трубами  $j$ -го диаметра.

3. При неровном рельефе местности на трассе водоводов могут наблюдаться участки с обратным уклоном а также точки перегиба. Для обеспечения необходимого пьезометрического напора нужно ограничить поте



напора на части маршрута от точки питания до граничной точки

$$\sum_{i \in J_r^{(k)}} \sum_{j \in J_i} h_{ij}^{(k)} x_{ij}^{(k)} = H_k, \quad k = 1, 2, \dots, l, \quad (35)$$

где  $H_k$  — разность пьезометрических отметок точек питания и граничной.

Индекс  $K$  указывает на принадлежность участков  $K$ -му маршруту.

4. Так как протяженность труб не может быть величиной отрицательной, то необходимым условием задачи является неотрицательность переменных

$$x_{ij} \geq 0. \quad (36)$$

Для апробирования разработанной методики расчета сети был выбран фрагмент Экинтекинской ЗОС — система ТР-57.

Как принято в водохозяйственных расчетах, общий расход воды системы трубопровода ТР-57, равный 550 л/с, необходимо распределить между его ветвями в нескольких вариантах с тем, чтобы привести в соответствие с подвешенной к ветвям площадью их пропускную способность. На рассматриваемой системе получаются три расчетных варианта. В качестве основного с позиции определения максимальных размеров труб водовода ТР-57 принят второй вариант. Здесь расчетный расход распределяется между концевыми отводами, обеспечивая тем самым наибольшую протяженность транзитного участка магистрального трубопровода. Схематический план системы с показанием распределения воды, номерами вершин (узлов) и участков показан на рис. 9.

Параметры участков: протяженность, превышение концевых точек, уклон местности — положительный или отрицательный в зависимости от топографии местности — взяты из крупномасштабного плана местности с горизонталями.

Имея такие исходные данные, можно составить матричную модель задачи. В соответствии с расчетным распределением расходов воды по ветвям системы становятся вполне определенными и маршруты. В данном случае в модель вносятся шесть маршрутов: 0—в, 0—д, 0—з, 0—ж, 0—е, 0—г. По каждому из них последова-



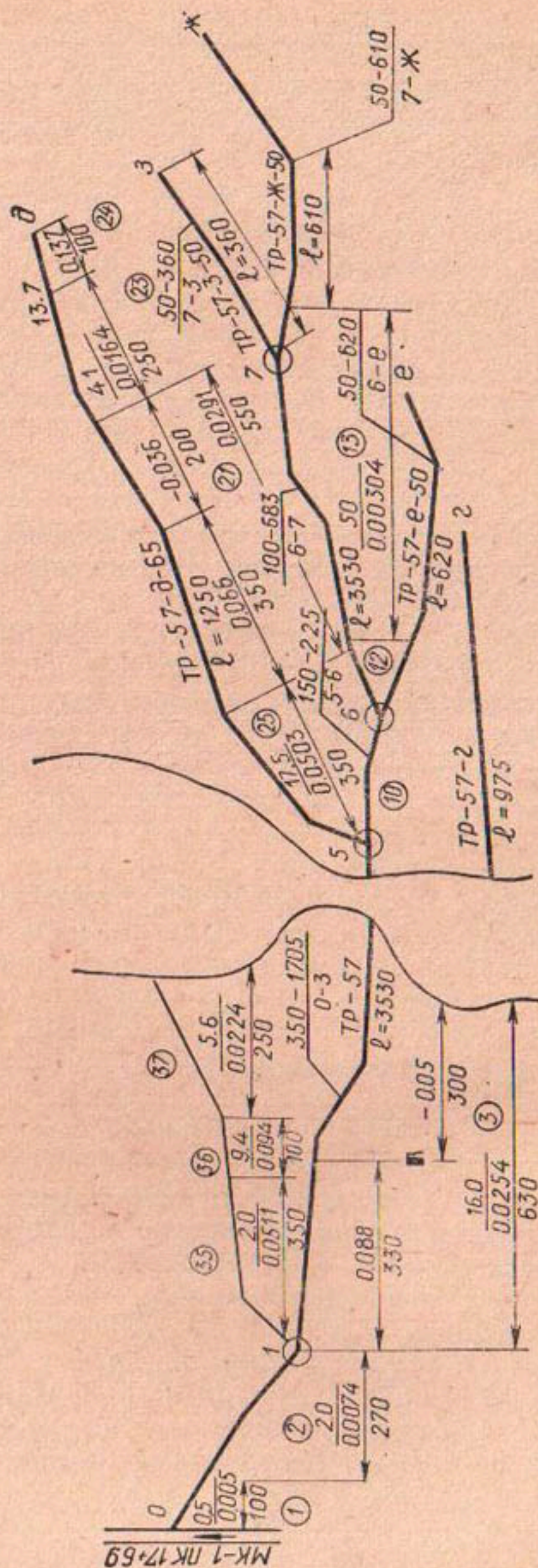


Рис. 9. Распределение расходов воды по II варианту в системе трубопровода ТР-57.



тельно от точки питания до точки схода выписываются номера участков, отмеченные на рис. 9. Пользуясь таблицами для гидравлического расчета труб Ф. А. Шевелева, для каждого участка необходимо подобрать такие значения стандартных диаметров, которым соответствуют гидравлические уклоны, близкие по величине к уклону местности. При выборе сортамента труб для участка надо руководствоваться объемом оперативной памяти ЭВМ, ее быстродействием. Немалое значение при этом имеют и подготовительные операции: кодирование исходной информации, пробивка и контроль перфокарт.

Как показал опыт работы, для одного участка достаточно задавать 2—4 диаметра. После этого в модель заносятся уравнения, выражающие условия баланса длин участков (33). В табл. 20 эти условия занимают

Таблица 20

Матрица коэффициентов при неизвестных во II варианте распределения воды в сети трубопроводов

| Линии<br>Диаметры, мм | 0—3  |      |      | 6—7    |      | 6—e    |      | Ограничения |
|-----------------------|------|------|------|--------|------|--------|------|-------------|
|                       | 368  | 456  | 576  | 189    | 235  | 141    | 189  |             |
| $X_i$                 | 1    | 2    | 3    | ... 29 | 30   | ... 71 | 72   | 73          |
| 1                     | 1    | 1    | 1    |        |      |        |      | 0,1         |
| ...                   |      |      |      |        |      |        |      |             |
| 12                    |      |      |      | 1      | 1    |        |      | 0,155       |
| ...                   |      |      |      |        |      |        |      |             |
| 32                    |      |      |      |        |      | 1      | 1    | 0,17        |
| 33                    | 22,8 | 7,9  | 2,5  |        |      |        |      | 1,5         |
| 34                    | 22,8 | 7,9  | 2,5  |        |      |        |      | 14,5        |
| 35                    | 22,8 | 7,9  | 2,5  |        |      |        |      | 39          |
| 36                    | 22,8 | 7,9  | 2,5  |        |      |        |      | 102,5       |
| 37                    | 22,8 | 7,9  | 2,5  | 51,5   | 19,9 |        |      | 110,5       |
| 38                    | 22,8 | 7,9  | 2,5  | 51,5   | 19,9 |        |      | 113,5       |
| 39                    | 22,8 | 7,9  | 2,5  |        |      | 72,3   | 15,9 | 11,5        |
| ...                   |      |      |      |        |      |        |      |             |
| 45                    | 22,8 | 7,9  | 2,5  |        |      |        |      | 85          |
| 46                    | 22,8 | 7,9  | 2,5  | 51,5   | 19,9 |        |      | 93          |
| 47                    | 22,8 | 7,9  | 2,5  | 51,5   | 19,9 |        |      | 70          |
| 48                    | 22,8 | 7,9  | 2,5  |        |      |        |      | 98          |
| Функция цели          | 10,9 | 19,6 | 31,5 | 4,83   | 6,7  | 3,25   | 4,83 |             |



позиции с 1 по 32. Затем, вычислив по каждому маршруту величины располагаемого напора и записав их в столбец свободных членов — 73 столбец таблицы, составляются уравнения гидравлических связей типа (34). Значения при неизвестных здесь выражают потери напора (м) на 1 км длины труб принятого диаметра. В табл. 20 эти уравнения занимают позиции с 36 по 41.

Для сохранения необходимого напора в промежуточных вершинах или точках перегиба отдельных маршрутов составляются дополнительные уравнения типа (35). Такое условие необходимо было поставить, например, для вершины 1, концевой точки третьего участка и др. Всего составлено 10 уравнений, и в таблице они занимают строки 33—35 и 42—48.

Целевая функция в модели выражает строительную стоимость сети. Коэффициенты функции имеют размерность тыс. руб./км.

В таблице целевая функция занимает последнюю строку. Таким образом, матрица задачи имеет размерность  $48 \times 72$ , т. е. состоит из 48 уравнений и 72 неизвестных.

Данная задача решалась на ЭВМ БЭСМ-6 в Институте кибернетики с Вычислительным центром АН УзССР по стандартной программе модифицированного симплексного метода. Время решения задачи составило 3 мин. 20 сек., число итераций — 78. Результаты расчета сети приведены в табл. 21. По скорректированным табличным данным построены линии пьезометрических уклонов по всем маршрутам. Сопоставление этих линий

Результаты рас-  
(II ва

| $X_i$           | $X_3$    | $X_5$    | $X_9$    | $X_{11}$ | $X_{13}$ | $X_{10}$ | $X_{11}$ |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $d, \text{ мм}$ | 576      | 456      | 576      | 368      | 456      | 322      | 368      |
| $l, \text{ м}$  | 100      | 106      | 164      | 538      | 92       | 228      | 317      |
| $X_i$           | $X_{61}$ | $X_{63}$ | $X_{64}$ | $X_{65}$ | $X_{66}$ | $X_{68}$ | $X_{69}$ |
| $d, \text{ мм}$ | 141      | 141      | 189      | 141      | 189      | 189      | 141      |
| $l, \text{ м}$  | 260      | 47       | 303      | 198      | 427      | 350      | 54       |



с профилями земли показало, что линии пьезометрических напоров идут параллельно линии земли на высоте, равной величине заданного свободного напора. Это положение свидетельствует о достаточном наборе стандартных диаметров для построения оптимальной линии напоров.

Для определения диаметров ветвей, не вошедших в расчетную схему второго варианта, составлены еще два варианта распределения расходов по отводам магистрального трубопровода ТР-57.

Время решения задачи по третьему варианту (матрица размерности  $48 \times 75$ ) составило 1 мин. 34 сек., число итераций 75. Имея данные расчета по всем трем вариантам, возможно, взяв за основу дерево второго варианта и добавив к нему ветви из остальных, составить оптимальную систему подачи и распределения воды. Сопоставление полученных в результате расчетов параметров сети с проектными показало, что сортамент труб в расчетном варианте значительно шире, чем принятый в проекте. Однако больший удельный вес занимают трубы с диаметром 141 мм, которых в проекте вообще не имеется. По расчету стоимость сети составляет 73 162 руб., по проекту — 91 805 руб, что дало снижение капиталовложений на 12,2%.

Удельные капитальные вложения в строительство сети по сравниваемым вариантам составляют соответственно 478 и 390 руб./га. Годовые издержки по сети на амортизацию и текущий ремонт (7,3%) определены в размере 35 и 28,5 руб./га. С учетом нормативного

Таблица 21

чета на ЭВМ

риант)

| $X_{12}$   | $X_{13}$   | $X_{17}$   | $X_{19}$   | $X_{20}$   | $X_{21}$   | $X_{22}$   | $X_{23} \dots$     |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|
| 322<br>160 | 322<br>345 | 322<br>150 | 279<br>91  | 322<br>159 | 322<br>170 | 279<br>80  | 279 ...<br>145 ... |
| $X_{40}$   | $X_{42}$   | $X_{44}$   | $X_{47}$   | $X_{48}$   | $X_{49}$   | $X_{51}$   |                    |
| 189<br>496 | 141<br>250 | 141<br>100 | 141<br>111 | 189<br>39  | 141<br>300 | 141<br>170 |                    |



коэффициента эффективности капитальных вложений 0,12-расчетный вариант дает годовой экономический эффект в размере 17 руб./га.

В проекте диаметры труб назначались по предельным скоростям, не превышающим по величине 2,5 м/с. Эта величина не аргументирована. По нашим расчетам, например, при диаметре труб 141 мм и расходе 70 л/с такие параметры имеют трубопроводы ТР-57-а, ТР-57-б, ТР-57-в, ТР-57-г, ТР-57-д, экономически наимыгоднейшие скорости достигают 4—4,5 м/с.

Для уменьшения объема вычислений возможно ограничиться расчетом сети по второму варианту. Затем, построив линию пьезометрического напора для трассы магистрального трубопровода и получив в результате этого величину напора в головах отводов, можно рассчитать каждую ветвь отдельно или по формуле Грасгофа, или с помощью симплексного метода линейного программирования, что легко осуществимо ручным путем с применением симплексных таблиц.

#### Выбор оптимальных параметров гидравлического комплекса «насосная станция — закрытая сеть»

Выбор оптимальных схем предполагает проведение предварительных расчетов по установлению диаметра труб и напора насосной станции.

Известные формулы для определения оптимального диаметра труб дают нестандартное значение. Поэтому при использовании стандартных труб полученное значение должно быть округлено в большую или меньшую сторону. Чтобы избежать этой неопределенности, Л. Ф. Мошнин предложил метод «предельных расходов» [14, 15].

Сущность этого метода заключается в нахождении таких расходов, при которых два смежных стандартных диаметра дают одинаковое значение отношения стоимости линии при стандартном диаметре к стоимости при наимыгоднейшем диаметре. Таким образом, для «предельных расходов» стоимость линии будет одинаковой при применении двух смежных сортаментных диаметров. Исходя из этого, для стандартных труб могут быть составлены таблицы «предельных расходов». Для этого достаточно приравнять выражение приведенной стоимо-



сти для двух смежных диаметров и из полученного уравнения найти величину «предельного расхода».

В приведенную стоимость линии входят строительная стоимость труб и текущие издержки по линии и насосной станции.

Для меньшего стандартного диаметра  $D_1$  выражение приведенной стоимости единицы длины трубопровода имеет вид

$$v_1 = bD_1^\alpha + \frac{\beta q^{n+1}}{D_1^m}, \quad (37)$$

для большего  $D_2$

$$v_2 = bD_2^\alpha + \frac{\beta q^{n+1}}{D_2^m}, \quad (38)$$

где  $q$  — расход воды;

$m$  и  $n$  — показатели степеней в формуле

$$i = \kappa \frac{q^n}{D^m}; \quad (39)$$

$b$  и  $\alpha$  — коэффициенты в формуле стоимости укладки труб  $S = a + bD^\alpha$ ,

$$\beta = \frac{\kappa \cdot 24 \cdot t}{10^9 \cdot 102 \cdot \eta} \cdot \frac{\sigma \gamma}{(E + R)}, \quad (40)$$

где  $t$  — время работы насосной станции, сут.;

$\kappa$  — коэффициент в формуле (39);

$\sigma$  — стоимость электроэнергии, руб./квт.ч.;

$\gamma$  — коэффициент неравномерности расходования энергии;

$\eta$  — коэффициент полезного действия насосных агрегатов;

$E$  — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

$R$  — отчисления на амортизацию и текущий ремонт по трубопроводу, в процентах от строительной стоимости.

Приравняем выражения (37) и (38)

$$bD_1^\alpha + \frac{\beta q^{n+1}}{D_1^m} = bD_2^\alpha + \frac{\beta q^{n+1}}{D_2^m}$$



и после преобразования получим

$$q_{\text{пред}} = \left( \frac{b}{\beta} \right)^{\frac{1}{n+1}} \left( \frac{D_2^\alpha - D_1^\alpha}{D_1^{-m} - D_2^{-m}} \right)^{\frac{1}{n+1}}. \quad (41)$$

Расчет «предельных расходов» предполагалось выполнить для асбестоцементных, стальных и полиэтиленовых труб, применяемых в строительстве закрытых систем.

Методика расчета «предельных расходов» требует представления формул расчета потерь напора в виде одночлена. Для асбестоцементных труб использована формула Н. Н. Абрамова, аппроксимирующая двухчленную формулу Ф. А. Шевелева, для стальных труб принята формула М. М. Андрияшева, аппроксимирующая формулу Ф. А. Шевелева как для квадратичной, так и для переходной областей [3]. Параметры одночленной формулы для расчета потерь напора в полиэтиленовых трубах получены путем подстановки коэффициента  $\lambda$ , исследованного Ф. А. Шевелевым, в формулу Дарси-Вейсбаха.

Время работы станции ( $t$ ) задается различным в зависимости от ранга трубопровода: напорный магистральный трубопровод работает в течение всего вегетационного периода — 180 суток. Время работы транспортирующих трубопроводов зависит от схемы сети и для тупиковых водоводов Тюрякурганской системы составляет 30, для закольцованных попарно — 60, закольцованных по три — 90 суток.

Коэффициенты неравномерности расходования электроэнергии ( $\gamma$ ), как установлено исследованиями на Тюрякурганской ЗОС, следует принимать в пределах 0,2—0,4. Нижний предел принимается для систем с маловодным источником орошения, допускающим вынужденные простои насосной станции. Верхний предел принимается для систем, имеющих высокообеспеченный источник орошения.

Стоимость электроэнергии равна 1 коп. за квт. ч, КПД насосных агрегатов принят в размере 0,7, отчисления на амортизацию и текущий ремонт соответствуют установленным нормам, нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений составляет 0,12.

Подставив все эти данные в расчетные формулы, получили предельные расходы и экономичные скорости:



в приложении 1— для асбестоцементных труб, в приложении 2— для стальных и в приложении 3— для полиэтиленовых. Как видно из таблиц, время работы трубопроводов разной категории оказывает существенное влияние на выбор параметров сети. Особенно это заметно сказывается на значениях экономических скоростей. Так, в асбестоцементных водоводах при времени их работы 30 суток экономические скорости могут достигать 5 м/с.

Составленные таблицы могут быть использованы для расчетов и при других исходных параметрах. Для этого новые параметры должны быть выражены через экономический фактор, определяемый по выражению

$$\Theta = \frac{m\beta}{\alpha b}.$$

Технико-экономический расчет сложной разветвленной сети с заданным напором, разработанный Л. Ф. Мошниным, базируется на методе «предельных расходов». Приведенные в приложении данные применимы к одиночным водоводам без попутных расходов. Для использования их в расчете сложной сети необходимо фактический расход линии этой сети заменить «приведенным» расходом.

Этот расход должен иметь такое значение, чтобы для действительного расхода линии при заданных параметрах  $\beta$  и  $b$  получился тот же диаметр, что и для «приведенного» расхода при табличных значениях  $\beta_r$  и  $b_r$ .

Для определения «приведенного» расхода линии составим уравнения приведенной стоимости для водовода и линии сложной сети. Для водовода оно имеет вид (37).

Введем следующие обозначения

$$\frac{1}{D^m} = A_0, \quad D^m = \frac{1}{A_0}, \quad D = A_0^{-\frac{1}{m}}, \quad D^\alpha = A_0^{-\frac{\alpha}{m}}$$

и преобразуем (37)

$$v_0 = b A_0^{-\frac{\alpha}{m}} + \beta q_0^{n+1} A_0. \quad (42)$$

Полученное выражение (42) продифференцируем по  $A_0$  и приравняем его нулю

$$\frac{dv}{dA_0} = -\frac{\alpha}{m} b A_0^{-\frac{\alpha}{m}-1} + \beta q_0^{n+1} = 0 \quad (43)$$



Из (43) найдем  $A_0$

$$A_0 = \left( \frac{m\beta}{\alpha b} \right)^{-\frac{m}{\alpha+m}} q_0^{-\frac{(n+1)m}{\alpha+m}}. \quad (44)$$

С учетом (42) выражение (44) для определения диаметра водовода приобретает вид

$$A_0 = \mathfrak{E}_r^{-\frac{m}{\alpha+m}} q_0^{-\frac{(n+1)m}{\alpha+m}}. \quad (45)$$

Приведенная стоимость для линий сложной сети, учитывающая долю участия потерь напора в ней для создания напора, затрачиваемого на преодоление сопротивления в целом по всей сети, имеет вид

$$v = bD^\alpha + \beta x \frac{q^n}{D^m}, \quad (46)$$

где  $x$  — «ситуационный фактор» — поправочный коэффициент, характеризующий роль данной линии в работе всей сети.

После преобразований получим зависимость для определения диаметра линии сложной сети

$$A = \mathfrak{E}^{-\frac{m}{\alpha+m}} q^{-\frac{mn}{\alpha+m}} x^{-\frac{m}{\alpha+m}}. \quad (47)$$

Приравняем выражения (45) и (47) и найдем значение «приведенного» расхода

$$q_0 = \left( \frac{\mathfrak{E}}{\mathfrak{E}_r} \right)^{\frac{1}{n+1}} q \left( \frac{x}{q} \right)^{\frac{1}{n+1}}. \quad (48)$$

Определив величину  $q_0$ , по таблицам предельных расходов подбирается диаметр труб. Нахождение значений  $X$  предполагает предварительное распределение фиктивного расхода, равного единице, по направлению движения воды от начала сети до конечных точек схода. Первоначальное распределение фиктивных расходов по линиям сети осуществляется в соответствии с I законом Кирхгофа. При этом получаются линейные уравнения, число которых недостаточно для нахождения всех значений  $X$ . Недостающее количество уравнений составля-



ется на основе II закона Кирхгофа. В этих нелинейных уравнениях участвуют фиктивные потери напора.

Таким образом, для нахождения значений  $X$  составляется система уравнений относительно  $X$ , часть из которых является линейной, а часть нелинейной.

В некоторых работах, посвященных технико-экономическому расчету систем подачи и распределения воды, предлагается находить значения  $X$  методом подбора. Для сложных систем эта задача становится трудноразрешимой. В связи с этим следует определять  $X$  путем решения системы линейных и нелинейных уравнений, используя метод градиента. После этого для каждой линии сети определяется «приведенный» расход и по таблице предельных расходов подбирается оптимальный диаметр. Затем, если сеть закольцованная, производится поверочный гидравлический расчет и устанавливаются действительное распределение расходов воды по системе и фактические потери напора. После проведения «внешней» увязки определяется напор насосной станции.

Такие расчеты проводятся для сети, имеющей различное начертание в плане: тупиковой и закольцованной по разным схемам. В результате сравнения этих схем по приведенным затратам может быть выбрана наиболее выгодная.

Для установления оптимальной схемы сети была выбрана закрытая оросительная система Тюрякурганской насосной станции II подъема. Предварительный анализ системы показал эффективность зонирования. Были рассмотрены два варианта зонирования: последовательное и параллельное.

Для нахождения оптимальной высоты качания в обоих расчетных вариантах задавались определенной высотой ступени каждой из двух зон. Построив график трансфигурального рельефа (рис. 10), определяли расчетный расход каждой ступени, длину напорного трубопровода и из таблицы предельных расходов — диаметр стальных труб.

По полученному диаметру напорного водовода, имея в виду, что диктующей точкой является конечная точка водовода, по таблицам Ф. А. Шевелева находили потери напора, а затем, с учетом свободного напора 3 м, и напор насосной станции. Зная расход и напор, при помощи графика зависимости стоимости и издержек по насосной станции от произведения  $Q \times H$  возможно опре-



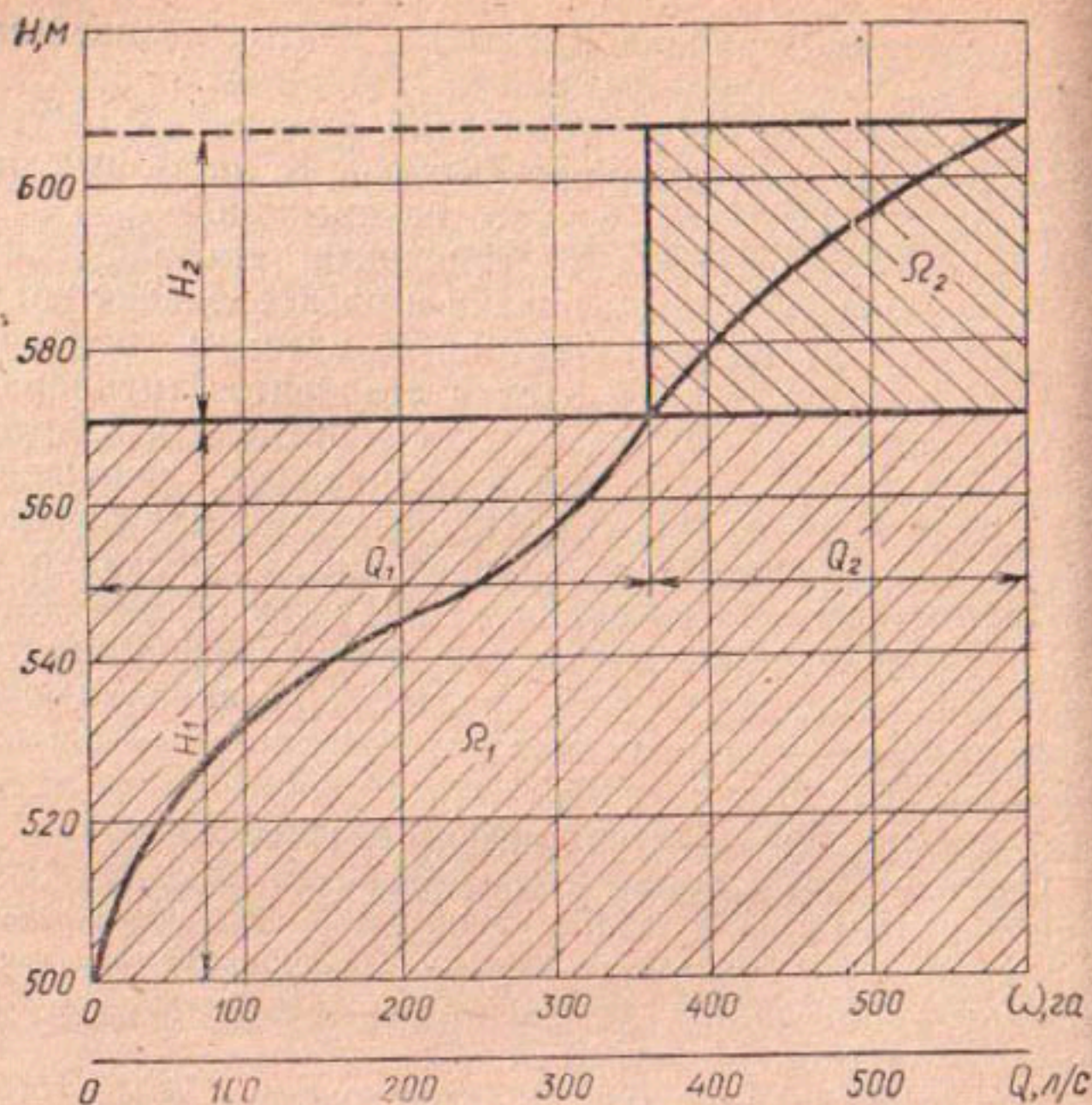


Рис. 10. Зависимость орошаемой площади от высоты подъема воды (массив Тюрякурганской насосной станции II подъема).

#### Расчет приведенных затрат по вариантам

| $\frac{H_1}{H_2}$ | $\frac{Q_1}{Q_2}$ | $\frac{l_1}{l_2}$ | $\frac{d_1}{d_2}$ | $\frac{K_{TP1}}{K_{TP2}}$ | $K_{TP}$ | $U_{TP}$ | $C_{TP}$ |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|----------|----------|----------|
| 30                | 110               | 850               | 305               | 7 650                     | 92 130   | 4238     | 15 294   |
| 70                | 390               | 4400              | 509               | 84 480                    |          |          |          |
| 50                | 270               | 1700              | 509               | 27 900                    | 88 180   | 4056     | 14 638   |
| 50                | 230               | 4400              | 406               | 60 280                    |          |          |          |
| 70                | 370               | 3560              | 509               | 49 100                    | 88 700   | 4080     | 14 724   |
| 30                | 130               | 4400              | 305               | 39 600                    |          |          |          |
| 100               | 500               | 4400              | 610               | 110 000                   | 110 000  | 5060     | 18 860   |



делить затраты по насосным станциям, а затем и всей системы. Таким образом, критерием сравнения вариантов служит приведенная стоимость системы, состоящая из затрат по устройству напорного водовода и насосной станции.

Затраты на строительство сети, как постоянные во всех вариантах, в расчете не учитываются. В табл. 22 приводится расчет оптимальной высоты ступени при двухступенчатом параллельном зонировании. Как видно из таблицы, минимум приведенной стоимости соответствует случаю, когда орошаемый массив разделяется на две ступени высотой 50 м каждая.

Расчеты по вариантному сравнению при последовательном зонировании показали следующее: оптимальному варианту соответствует высота ступеней 60 и 40 м, а приведенные затраты выражаются суммой 48 742 руб. без учета стоимости прокладки ЛЭП до станции II подъема.

Таким образом, параллельное зонирование дает больший экономический эффект, чем последовательное. По сравнению с незонированной системой экономия в приведенных затратах составляет 11,2%. Кроме того, эффективность зонирования заключается также в значительном снижении напора в разводящей сети, что влечет за собой уменьшение ее стоимости.

Построив по данным табл. 22 график зависимости приведенных затрат от высоты ступеней, уточняем

Таблица 22

при параллельном зонировании

| $\frac{Q_1 H_1}{Q_2 H_2}$ | $\frac{K_1^{HC}}{K_2^{HC}}$ | $K_{HC}$ | $\frac{U_1^{HC}}{U_2^{HC}}$ | $U_{HC}$ | $C_{HC}$ | $C_{сист}$ |
|---------------------------|-----------------------------|----------|-----------------------------|----------|----------|------------|
| 4,51                      | 12 500                      | 64 000   | 4 200                       | 25 300   | 32 980   | 48 274     |
| 43,91                     | 51 500                      |          | 21 100                      |          |          |            |
| 17,4                      | 33 200                      | 72 200   | 10 500                      | 23 300   | 26 120   | 46 602     |
| 22,86                     | 39 000                      |          | 12 800                      |          |          |            |
| 34,32                     | 47 000                      | 75 000   | 17 400                      | 26 000   | 27 825   | 49 724     |
| 13,18                     | 28 000                      |          | 8 600                       |          |          |            |
| 63,7                      | 56 000                      | 56 000   | 27 500                      | 27 500   | 30 704   | 52 480     |



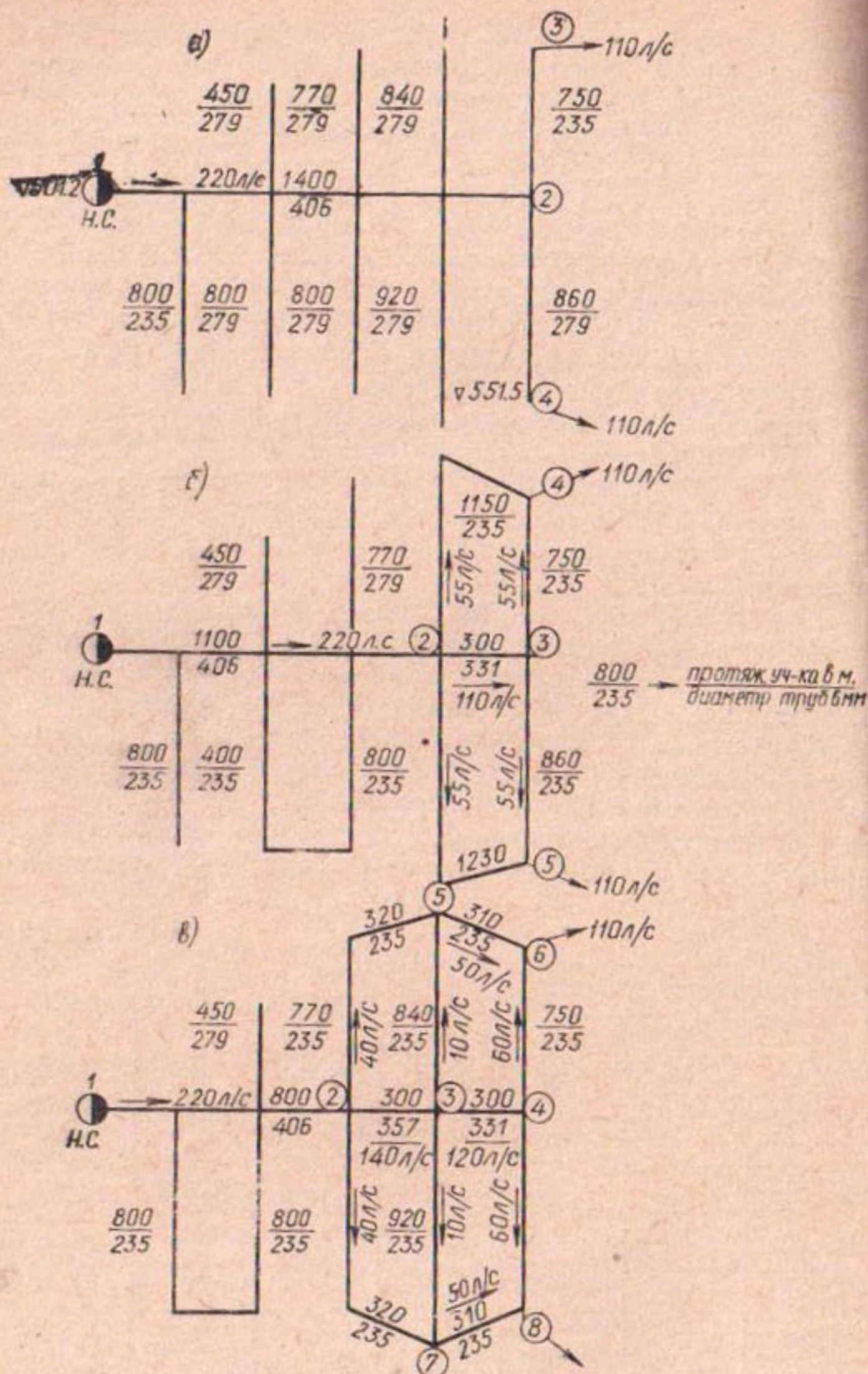


Рис. 11. Расчетные схемы сети трубопроводов:

а — тупиковая, б — закольцованная по два, в — закольцованная по три.



оптимальные параметры двух зон: первая зона имеет высоту 45 м, вторая — 55.

Для дальнейшего рассмотрения примем сеть в привязке к первой зоне. На рис. 11а представлена тупиковая сеть. На схеме даны: протяженность линий, распределение расходов по сети, пьезометрические отметки в точках схода.

В соответствии с методикой расчета для определения значений  $X$  составляются следующие 2 уравнения:

$$x_{2-3} + x_{2-4} = 1$$

$$l_{2-3} q_{2-3}^{0,453} x_{2-3}^{-0,748} + \Pi_3 = l_{2-4} q_{2-4}^{0,453} x_{2-4}^{-0,748} + \Pi_4. \quad (49)$$

Поставив в них числовые значения и заменив  $x_{2-3}$  на  $x_1$  и  $x_{2-4}$  на  $x_2$ , получим

$$x_1 + x_2 - 1 = 0$$

$$0,75 \cdot 110^{0,453} x_1^{-0,748} - 0,86 \cdot 110^{0,453} x_2^{-0,758} - 7,5 = 0 \quad (50)$$

После упрощения система (50) примет вид

$$x_1 + x_2 - 1 = 0$$

$$x_1^{-0,748} - 1,15 x_2^{-0,748} - 1,2 = 0. \quad (51)$$

Решение системы дает следующие значения корней:  $X_1 = 0,27$ ,  $X_2 = 0,73$ . Подставив эти значения в формулу (48), находим «приведенные» расходы линий 2—3—150 л/с, 2—4—212 л/с и 1—2—372 л/с. По этим значениям расходов, имея в виду, что тупиковые отводы работают поочередно и общее время работы их в течение вегетационного периода принято равным 30 суткам, пользуясь таблицей предельных расходов, выбираем оптимальные диаметры труб. Для линии 1—2 стальные трубы должны иметь диаметр 406 мм, для линий 2—3 и 2—4 диаметр асбестоцементных труб соответственно равен 235 и 279 мм.

В данной схеме диктующей является точка 4 с пьезометрической отметкой 551,5. Прибавив к этой отметке потери напора по линиям 2—4 (7,7 м), 1—2 (15 м) и всасывающей (0,5 м) и отняв отметку точки 1 (отметка оси насосных агрегатов), получим напор насосной станции — 73 м (0,73 МПа). По произведению  $Q \times H$  находим стоимость насосной станции — 31,5 тыс. руб. и ежегодные издержки — 9,8 тыс. руб.



Теперь рассмотрим сеть на рис. 11б, в которой длинные отводы магистрального трубопровода закольцованы по два. Для определения неизвестных коэффициентов  $X$  осуществляется предварительное распределение расходов по линиям в соответствии с I законом Кирхгофа, и составляется следующая система уравнений:

$$x_{2-4} + x_{2-3} + x_{2-5} = 1 \quad (52)$$

$$x_{2-3} = x_{3-4} + x_{3-5}$$

$$l_{2-4} q_{2-4}^{0,453} x_{2-4}^{-0,748} + \Pi_4 = l_{2-5} q_{2-5}^{0,453} x_{2-5}^{-0,748} + \Pi_5$$

$$l_{2-4} q_{2-4}^{0,453} x_{2-4}^{-0,748} = l_{2-3} q_{2-3}^{0,4} x_{2-3}^{-0,775} + l_{3-4} q_{3-4}^{0,453} x_{3-4}^{-0,748}$$

$$l_{2-5} q_{2-5}^{0,453} x_{2-5}^{-0,748} = l_{2-3} q_{2-3}^{0,4} x_{2-3}^{-0,775} + l_{3-5} q_{3-5}^{0,453} x_{3-5}^{-0,748}$$

Введя обозначения  $X_{2-4}=X_1$ ,  $X_{2-3}=X_2$ ,  $X_{2-5}=X_3$ ,  $X_{3-4}=X_4$ ,  $X_{3-5}=X_5$  и поставив в систему (52) числовые значения, получим

$$x_1 + x_2 + x_3 - 1 = 0$$

$$x_2 - x_4 - x_5 = 0 \quad (53)$$

$$x_1^{-0,748} - 1,072 x_3^{-0,748} - 1,063 = 0$$

$$x_1^{-0,748} - 0,278 x_2^{-0,775} - 0,653 x_4^{-0,748} = 0$$

$$x_3^{-0,748} - 0,26 x_2^{-0,775} - 0,7 x_5^{-0,748} = 0.$$

Полученная система уравнений решалась методом градиента на ЭВМ «Минск-22» по имеющейся программе [20]. В порядке подготовки задачи к решению на ЭВМ необходимо:

задать приближенные значения неизвестных;

составить программу вычисления каждого уравнения системы (53);

найти частные производные функций (уравнений);

составить программу расчета частных производных.

Ниже приводится матрица частных производных функций, представленная системой (54)

|                      |                     |                      |
|----------------------|---------------------|----------------------|
| 1                    | 1                   | 1                    |
| 0                    | 1                   | 0                    |
| $-0,748x_1^{-1,748}$ | 0                   | $0,8x_3^{-1,748}$    |
| $-0,748x_1^{-1,748}$ | $0,216x_2^{-1,775}$ | 0                    |
| 0                    | $0,201x_2^{-1,775}$ | $-0,748x_3^{-1,748}$ |



$$\begin{array}{cc}
 0 & 0 \\
 -1 & -1 \\
 0 & 0 \\
 0,488x^{-1,748} & 0 \\
 0 & 0,523x_5^{-1,748}
 \end{array} \quad (54)$$

В результате решения задачи на ЭВМ получены следующие значения неизвестных:  $X_1=0,174$ ,  $X_2=0,501$ ,  $X_3=0,325$ ,  $X_4=0,20$ ,  $X_5=0,301$ .

Подставив эти значения в формулу (48), найдем приведенные расходы, а по ним, пользуясь таблицами «предельных» расходов,— диаметры труб. Так как продолжительность работы закольцованных отводов в течение вегетации в два раза больше, чем тупиковых, то выбор диаметров труб для них осуществляется по графе, где указано время работы 60 суток.

Имея диаметры линий, необходимо с целью уточнения расчетных расходов и определения потерь напора произвести поверочный гидравлический расчет. Для проведения гидравлического расчета сложной закольцованной сети целесообразно применение ЭВМ. В основу алгоритма берется известный метод, который в последнее время получил название метода Лобачева-Кросса.

В следующем этапе расчета по найденным фактическим расходам составлялась система уравнений типа (52) и определялись коэффициенты  $X$ , соответствующие фактическому распределению потоков воды. Затем вычислялись приведенные расходы и по ним подбирались диаметры линий. Сопоставление полученных диаметров с найденными в предыдущем этапе расчета показало на полное совпадение их значений.

Это дало возможность в дальнейших исследованиях отказаться от вторичного решения системы уравнений типа (52). Но при этом необходимо на первом этапе расчета так распределять коэффициенты  $X$ , чтобы по линиям с большой протяженностью и пропускной способностью были направлены и большие значения  $X$ .

По полученным в результате гидравлического расчета потерям напора определен напор насосной станции величиной 70,7 м (0,71 МПа).

Анализ параметров систем с разным плановым расположением сети показывает, что как по напору, так и



по диаметрам труб закольцованная сеть имеет явные преимущества перед тупиковой.

Теперь рассмотрим сеть с более высокой степенью кольцевания. Как видно из рис. 11в, трубопроводы младшего ранга закольцованы по три. Это приводит к увеличению числа действующих линий и времени их работы в течение поливного периода, что, как видно из таблицы предельных расходов, при равных расходах требует выбора большего диаметра труб.

Произведя предварительное распределение расходов воды по линиям сети и «фиктивного» расхода, равного единице, составляется система уравнений.

В результате ее решения получены следующие значения неизвестных  $X$ :  $X_1=0,209$ ;  $X_2=0,482$ ;  $X_3=0,309$ ;  $X_4=0,039$ ;  $X_5=0,095$ ;  $X_6=0,348$ ;  $X_7=0,223$ ;  $X_8=0,125$ ;  $X_9=0,248$ ;  $X_{10}=0,404$ .

По найденным коэффициентам с помощью формулы (48) получены приведенные расходы и по ним из таблиц «предельных» расходов выбраны диаметры труб. Результаты этого расчета приводятся в табл. 23.

Таблица 23

Подбор диаметров линий закольцованной по три сети

| Наименование линий | Прикидочный расход, л/с | $X$   | Приведенный расход, л/с | Расчетный диаметр, мм | Принятый диаметр, мм |
|--------------------|-------------------------|-------|-------------------------|-----------------------|----------------------|
| 2—5                | 40                      | 0,209 | 71,5                    | 189                   | 235                  |
| 2—3                | 140                     | 0,482 | 215                     | 357                   | 357*                 |
| 2—7                | 40                      | 0,039 | 82                      | 235                   | 235                  |
| 3—5                | 10                      | 0,309 | 16                      | 119                   | 235                  |
| 3—7                | 10                      | 0,095 | 22                      | 119                   | 235                  |
| 3—4                | 120                     | 0,348 | 173                     | 331                   | 331*                 |
| 4—6                | 60                      | 0,223 | 95                      | 235                   | 235                  |
| 4—8                | 60                      | 0,125 | 77,5                    | 235                   | 235                  |
| 5—6                | 50                      | 0,248 | 87,6                    | 235                   | 235                  |
| 7—8                | 50                      | 0,404 | 104                     | 235                   | 235                  |
| 1—2                | 220                     | 1     | 372                     | 406                   | 406*                 |

\* Трубы стальные.

По известному начальному потокораспределению и найденным диаметрам линий осуществляется проверочный гидравлический расчет. Результаты этого расчета приводятся в табл. 24.



Результаты гидравлического расчета сети по схеме 11 в

| Наименование линий | Прикидочный расход, л/с | Фактический расход, л/с | Потери напора, м | Наименование линий | Прикидочный расход, л/с | Фактический расход, л/с | Потери напора, м |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|
| 2—5                | 40                      | 40,8                    | 4,07             | 3—4                | 120                     | 88,4                    | 1,43             |
| 2—3                | 140                     | 137,6                   | 2,33             | 4—6                | 60                      | 44,6                    | 3,17             |
| 2—7                | 40                      | 41,6                    | 4,36             | 4—8                | 60                      | 43,8                    | 3,49             |
| 3—5                | 10                      | 24,6                    | 1,44             | 5—6                | 50                      | 65,4                    | 2,89             |
| 3—7                | 10                      | 24,6                    | 1,58             | 7—8                | 50                      | 66,2                    | 2,98             |

Напор насосной станции при заданной схеме сети получается равным

$$H_{\text{нс}} = 548,5 + 3 + 7,5 + 8,1 + 0,5 - 502 = 65,5 \text{ м}$$

Таким образом, потребный напор насосной станции оказывается значительно ниже, чем в случае тупиковой сети.

Имея параметры комплекса с разным начертанием сети в плане, путем сравнения их можно выбрать вариант с минимальными приведенными затратами, который и определит оптимальное расположение сети в плане.

По произведению  $Q \times H$  находим затраты и строительную стоимость насосной станции, а затем по формуле

$$C = K + IT \quad (54)$$

и приведенные затраты.

Протяженность линий для различных схем сети дана на рис. 11. По известной стоимости и соответствующим отчислениям определим приведенные затраты по сети. Суммируя их с затратами по насосной станции, получим приведенные затраты комплекса, которые и будут служить критерием оптимальности. Расчет приведенных затрат дан в табл. 25.

Как видно из табл. 25, наиболее экономичным является комплекс «насосная станция — закрытая сеть», в котором отводы низшей категории закольцованы по три.

На основании проведенных исследований можно утверждать, что начертание сети в плане должно быть обосновано технико-экономическим расчетом. По приведенным затратам в зависимости от длины отводов и



Расчет приведенных затрат комплекса с различным начертанием сети в плане

| Тип сети                | Насосная станция                   |                          |                       |                              | Закрытая сеть          |                       |                                    | Приведенные затраты комплекса, тыс. руб. |
|-------------------------|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------------------|
|                         | $Q \times H$ , м <sup>3</sup> /с.м | строит. стоим. тыс. руб. | изде- ржки, тыс. руб. | привед. зат- раты, тыс. руб. | стои- мость, тыс. руб. | изде- ржки, тыс. руб. | приведен- ные затра- ты, тыс. руб. |                                          |
| Тупиковая               | 16                                 | 31,5                     | 10,2                  | 113,1                        | 55,2                   | 3,52                  | 84,4                               | 196,5                                    |
| Попарнозаколь- цованная | 15,5                               | 30,5                     | 9,9                   | 109,8                        | 51,9                   | 3,3                   | 78,3                               | 188,1                                    |
| Закольцованная по три   | 14,4                               | 29,5                     | 9,3                   | 103,9                        | 51,7                   | 3,3                   | 78,1                               | 182,0                                    |

расстояния между ними экономичной может стать закрытая оросительная система с закольцованными отводами младшего порядка.

### ВЛИЯНИЕ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ПОТОКА ВОДЫ В ТРУБОПРОВОДАХ НА КОНСТРУКЦИЮ ЗОС

Для изучения гидравлического удара в подземных оросительных трубопроводах предварительно была проведена классификация выбранных трубопроводов по статическому напору, их длине и ориентировочной фазе ударной волны. Последняя послужила решающим фактором для выбора измерительного устройства.

Пробные измерения давлений в трубопроводах с фазой волны не менее 8—10 с показали, что максимальное повышение давления легко может быть зарегистрировано визуально или на киноплёнку с помощью образцового манометра. На трубопроводах с меньшей фазой волны целесообразнее использовать самопишущий манометр. Однако в обычных манометрах-самописцах с часовым механизмом невысокая скорость вращения дисковой диаграммы (1 оборот за 12 часов) не позволяет осуществить запись гидравлического удара.

В результате реконструкции привода была достигнута вполне приемлемая для исследований скорость вращения диаграммы — один оборот за 100 сек.

Оба типа манометров нуждались в проверке на инерционность стрелки при ее отклонениях, вызываемых гидравлическим ударом. С этой целью на модельной установке были проведены исследования по сопоставлению результатов измерения ударного давления.



В качестве контроля использовались осциллограммы, полученные с помощью электронно-измерительной аппаратуры и безынерционных мембранных датчиков.

Сопоставление результатов измерения давления (60 опытов) показало вполне допустимую точность измерения с помощью манометра-самописца — 2—3%.

На этой же установке проведены исследования гидравлического удара, в которых фиксирование волновых процессов проводилось манометром-самописцем и образцовым манометром, показания которого регистрировались на 16 мм киноплёнку. Обработка результатов показала, что расхождение показаний приборов не превышает  $\pm 5\%$ .

Достаточно высокая точность измерений обусловила эффективность применения выбранных манометров в исследованиях величины гидравлического удара на действующих закрытых оросительных системах.

Скорость распространения ударной волны в полевых условиях определялась с помощью двух манометров-самописцев и секундомера. Для этого они ставились на трубопроводы на большом расстоянии один от другого и по сигналу включались одновременно. После этого создавался гидравлический удар и наблюдатели, стоящие у манометров-самописцев, по ходу вращения диаграммы фиксировали время наступления пиков повышения и понижения давления. По замеренным расстоянию между манометрами и времени прохождения ударной волны опытного участка трубопровода определялась скорость распространения волны.

Исследования проводились на простом низконапорном трубопроводе М-2—12, входящем в оросительную систему совхоза «Фархад». Простой трубопровод характеризуется постоянным диаметром и постоянным значением скорости ударных волн по всей длине. В трубопровод вода подается из бетонированного канала М-2, глубина наполнения в котором достигает 1,5—2 м.

Быстрое закрытие концевой задвижки при неработающих гидрантах, а также одновременное закрытие нескольких работающих гидрантов опасно для трубопровода.

В связи с тем, что время закрытия задвижки, как правило, больше фазы гидравлического удара, то в трубопроводе возникает непрямой гидравлический удар.



Для определения величины повышения давления при гидравлическом ударе на гидрантах 3, 9, 13, 18 были просверлены отверстия, нарезана резьба и установлены штуцеры для подключения манометров. Измерение давления проводилось образцовыми манометрами МО модели 12—13 с верхним пределом измерений 1 МПа. Для определения расхода воды установлен трапециевидный водослив с тонкой стенкой и шириной порога 1 м. Концевая задвижка открывалась, измерялся сбросной расход и после установления постоянства истекаемого расхода задвижка быстро закрывалась. Замеры показали, что при полном открытии задвижки расход составлял 250 л/с. Время закрытия измерялось с помощью секундомеров и колебалось от 50 до 55 с.

С помощью манометров измерялись статический и пьезометрический напоры, а также ударное давление, вызванное быстрым закрытием концевой задвижки.

Опытами установлено, что максимальное давление наблюдалось на 16-ом гидранте. Оно оказалось больше статического в 3,2 раза. На этом же трубопроводе проводились опыты по измерению давлений при одновременном закрытии трех работающих гидрантов. Для этой цели были выбраны и приведены в рабочее состояние три гидранта с задвижками одинакового диаметра (250 мм)—8, 11, 16. Расход, забираемый из этих гидрантов, измерялся с помощью водосливов, поддерживался на каждом гидранте одинаковым и постоянным, равным 70 л/с. Давление в трубопроводе при закрытии работающих гидрантов регистрировалось с помощью образцовых манометров, установленных на гидрантах 3, 9, 13, 16 и 18.

Проводились две серии испытаний с тем, чтобы избежать ошибок, которые возникают вследствие визуального снятия показаний с манометров и неодновременного закрытия гидрантов. Несмотря на некоторое расхождение результатов этих испытаний, можно заметить, что максимальное повышение давления наблюдается на 16-ом гидранте.

Таким образом, проведенные опыты на трубопроводе М-2—12 показывают, что максимальное повышение давления, вызываемое быстрым закрытием концевой задвижки при закрытых гидрантах по абсолютной величине на 20—25% больше давления, возникающего при одновременном закрытии трех работающих гидрантов с



общим расходом, близким к расходу трубопровода. Кроме того, в обоих случаях максимальное давление наблюдается не в конце трубопровода, где статический напор максимален, а на гидранте 16, расположенном на расстоянии, равном 0,83 длины трубопровода.

На закрытой оросительной системе в совхозе «Фархад» имеются трубопроводы, диаметры которых по длине не одинаковы. Такие трубопроводы относятся к сложным. Полевое обследование показало, что для исследований наиболее пригодны сложные трубопроводы М-2—10 и М-2—14. Первый из них на длине 1144 м имеет диаметр 546 мм и 456 мм на длине 340 м.

По трассам этих трубопроводов была произведена продольная нивелировка, замерены диаметры задвижек и на соответствующих гидрантах установлены штуцеры для подключения манометров. Методика исследований на сложных трубопроводах аналогична той, по которой проводились исследования на простом трубопроводе. Однако эти исследования ограничивались измерением повышения давления в результате закрытия концевой задвижки.

В конце сбросного открытого канала, по которому поток воды из трубопровода М-2—10 сбрасывается в коллекторную сеть, для измерения расхода воды был установлен трапецеидальный водослив. При полном открытии задвижки диаметром 250 мм расход воды достигал 230 л/с. Повышение давления в результате закрытия задвижки ( $t_3 = 60$  с) измерялось манометрами на 12-ом и 17-ом гидрантах.

Результаты исследования показали, что максимальное давление имеет место в конце трубопровода на гидранте 17.

Исследования, проведенные на сложном трубопроводе М-2—14, подтвердили наличие двухкратного увеличения давления в конце трубопровода (на гидранте 17): при статическом напоре на 17-ом гидранте 0,105 МПа максимальное давление достигало 0,21 МПа.

При сравнении с результатами исследований по трубопроводу М-2—12 максимальное давление в сложном трубопроводе, вызванное закрытием задвижки, оказалось примерно таким же, как и давление, возникающее при одновременном закрытии работающих гидрантов в простом трубопроводе.



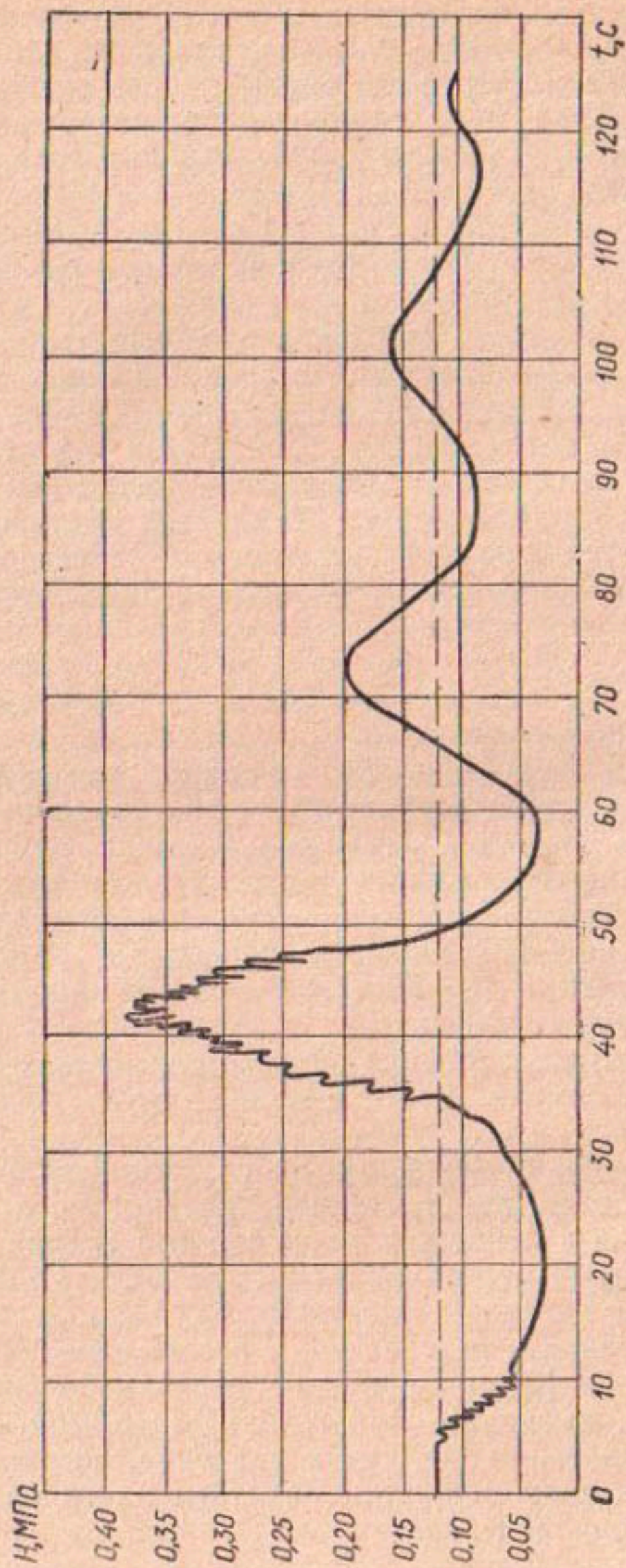


Рис. 12. Диаграмма гидравлического удара в асбестоцементном трубопроводе М-2—10.



В конце вегетационного периода, когда уровень воды в канале значительно снизился и в створе трубопровода М-2—14 находился выше оголовка всего на 15—20 см, проводились исследования гидравлического удара при промывке трубопровода.

При полном открытии концевой задвижки диаметром 250 мм промывной расход достигал 170 л/с. Задвижка закрывалась полностью примерно за 25 с. Давление измерялось манометрами, установленными на гидрантах 3, 5, 7, 9, 13, 15, 17. Максимальное ударное давление зафиксировано на 17-ом гидранте — 0,25 МПа, что в 2,5 раза больше статического.

Позднее на трубопроводе М-2—10 проводились исследования гидравлического удара с помощью самопишущего манометра. В этих исследованиях гидравлический удар создавался концевой задвижкой, а величина его фиксировалась манометром, установленным на гидранте 17. В опытах концевая задвижка открывалась не полностью, а только на 50%. Среднее время закрытия из серии опытов составило 20 с. Как видно из диаграммы на рис. 12, при статическом напоре 0,12 МПа максимальное ударное давление достигало 0,39 МПа. Таким образом, увеличение давления составило 3,35 раза.

Для изучения распределения ударного давления по длине трубопровода самопишущий манометр устанавливался на гидранте 14. При закрытых гидрантах производилось дросселирование концевой задвижкой.

Время и степень открытия задвижки поддерживались в серии опытов такими же, как и в предыдущих исследованиях ( $t_z = 20$  с;  $\frac{h}{d} = 0,5$ ). Исследованиями установлено, что при статическом напоре на гидранте 14, равном 0,10 МПа, ударное давление достигало 0,32—0,33 МПа и составляло (3,2—3,3)  $H_{ст}$ .

Сравнение результатов исследований гидравлического удара на участке трубопровода с одинаковым диаметром (гидранты 14, 17) показывает, что относительное увеличение ударного давления по длине трубопровода остается величиной постоянной. На этом же трубопроводе проводились исследования по определению скорости распространения ударной волны. Для этого на гидрантах 17 и 14, расстояние между которыми составляет 609 м, были установлены самопи-



шущие манометры. Рядом с манометрами находились наблюдатели с секундомерами, в обязанность которых входило фиксирование времени наступления максимальных ударных давлений, создаваемых закрытием концевой задвижки. Наблюдатели засекали время наступления каждого максимума давления в течение всего процесса до полного его затухания.

При этом, учитывая некоторую вероятность допущения ошибок, опыты проводились в многократной повторности с тем, чтобы получить большое число расчетных точек. При обработке полученных данных по закону больших чисел можно получить достоверные результаты. На основе изложенной методики было получено значение скорости распространения ударных волн в размере 350 м/с.

На Экинтекинской закрытой оросительной системе впервые в Узбекистане стали применяться пластмассовые трубы. Эти трубы изготавливаются Ахангаранским комбинатом стройпластмасс из полиэтилена низкой плотности (ПНП). Сортамент выпускаемых труб довольно ограничен: три типа полиэтилена (легкий, среднелегкий и средний) охватывают диапазон изменения диаметров 25—150 мм. Для исследований был выбран трубопровод ТР-21, состоящий из труб с внутренним диаметром 90 мм, наружным — 110 мм, толщиной стен — 10 мм. На гидрантах установлены вентили, а в конце трубопровода — задвижка с диаметром условного прохода 100 мм. В сбросном канале недалеко от задвижки устанавливался водослив.

В связи с тем, что трубы из ПНП имеют очень низкий модуль упругости — 1000—2500 кгс/см<sup>2</sup>, большой практический интерес представляет скорость распространения в них ударной волны. От этого зависит выбор запорной арматуры и типа труб. Исследования по определению скорости ударной волны проводились на участке трубопровода ТР-21 длиной 125 м. Гидравлический удар создавался заслонкой, установленной в конце участка. Наблюдая за шкалой манометра, установленного на первом гидранте, фиксировалось время от момента закрытия трубопровода заслонкой (время закрытия близко к нулю) до момента отклонения стрелки манометра от показания пьезометрического напора. Для исключения различного рода случайностей в опытах измерение времени распространения ударной



волны проводилось многократно. Статистическая обработка результатов исследований показала, что время распространения ударной волны на участке длиной 125 м составляет около 0,7 с. Исходя из этих условий, скорость распространения ударной волны в полиэтиленовом трубопроводе определена в размере 180 м/с.

При длине трубопровода 380 м и скорости распространения ударной волны 180 м/с фаза гидравлического удара равна

$$\mu = \frac{2L}{a} = \frac{2 \cdot 380}{180} = 4,2 \text{ с.}$$

Учитывая малое значение расхода воды в трубопроводе (7 л/с) и малый диаметр концевой задвижки, при быстром ее закрытии можно получить прямой гидравлический удар. Испытания задвижки, установленной в конце трубопровода, показали, что при полном открытии ее без особых усилий можно закрыть полностью за 2—3 с. Следовательно, время закрытия задвижки значительно меньше фазы гидравлического удара и в трубопроводе возникает прямой гидравлический удар.

Анализ диаграмм прямого гидравлического удара показал, что при статическом напоре в конце трубопровода 0,16—0,17 МПа, пьезометрическом напоре 0,01 МПа максимальное ударное давление достигало в отдельных случаях  $2 H_{\text{ст}}$  (0,32 МПа). В связи с тем, что в полиэтиленовых трубах скорость распространения ударной волны почти в 2 раза, а модуль упругости более чем в 140 раз меньше, чем в асбестоцементных, амплитуда ударной волны и время затухания в полиэтиленовом трубопроводе по величине достаточно малы.

Во второй серии опытов на этом трубопроводе длина опытного участка составила 150 м. В концевой части была устроена металлическая заслонка, с помощью которой оказалось возможным перекрывать трубопровод почти мгновенно. Рядом с заслонкой устанавливался самопишущий манометр. Выпускаемый расход трубопровода измерялся объемным способом и составил в среднем 8 л/с, статический напор в трубопроводе — 0,07 МПа. При установившемся расходе 8 л/с трубопровод работал не полным сечением и степень наполнения не превышала 0,95. Исследования гидравлического удара проводились по обычной методике. Особенностью данного опыта являлось быстрое закрытие полностью



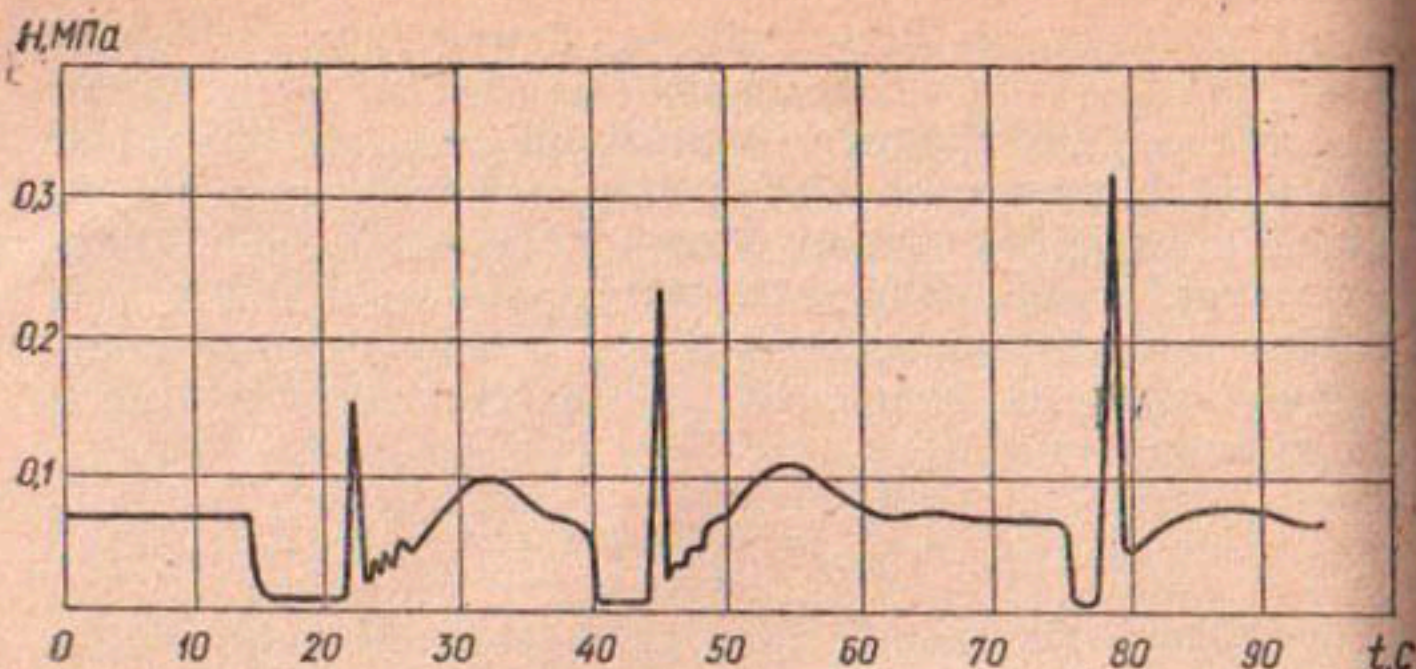


Рис. 13. Диаграмма гидравлического удара в полиэтиленовом трубопроводе ТР-21.

открытого трубопровода ( $t_3 = 0,2$  с). На рис. 13 приведена диаграмма гидравлического удара. Из диаграммы видно, что время открытия почти равно нулю и в связи с малым промежутком времени между моментами открытия и закрытия заслонки пьезометрический напор не успевает снизиться до нуля. Однако, несмотря на это, ударное давление в отдельных случаях, когда удавалось быстро и плотно закрыть трубопровод заслонкой, достигало 0,325 МПа, что в 4,6 раза больше статического напора.

Таким образом, в обоих опытах создавался прямой гидравлический удар. Величины же ударных давлений по отношению к статическому напору различны. И разница обуславливается разным временем закрытия запорного устройства.

Исследования гидравлического удара проводились также на полиэтиленовом трубопроводе ТР-23. Схема опытов с показанием расстановки задвижек и приборов показана на рис. 14а. Трубопровод устроен из труб с внутренним диаметром 139,2 мм. На пикете 1+78,5 от него отходит трубопровод ТР-23а из полиэтиленовых труб с внутренним диаметром 84 мм. В голове отвода установлена задвижка диаметром 100 мм. На трубопроводе перед отводом ТР-23а установлена промежуточная задвижка диаметром 150 мм. Сбросная задвижка на ТР-23 имеет диаметр 150 мм. Расход воды, выпускаемый из трубопровода, измерялся с помощью водослива. На



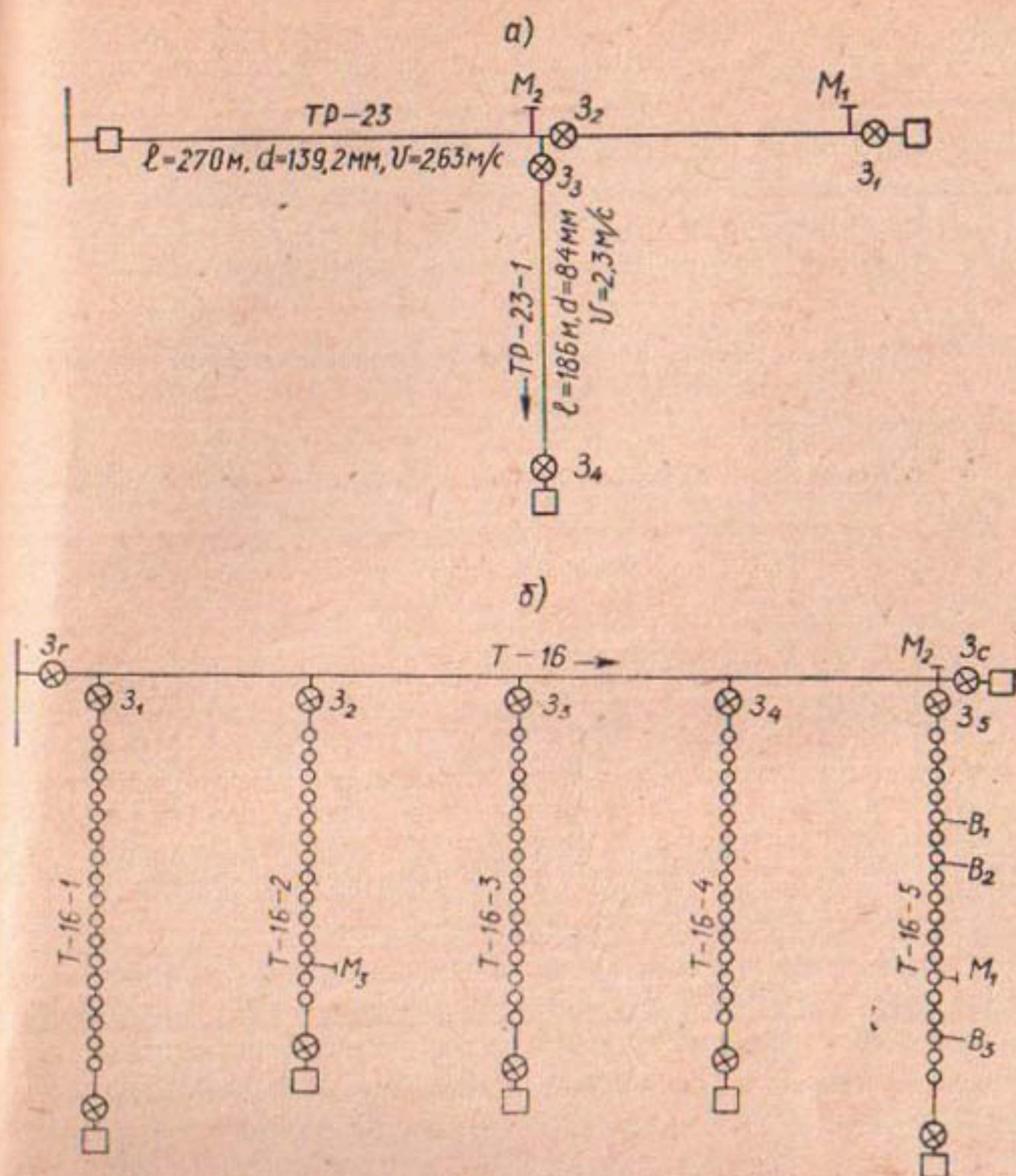


Рис. 14. Схема расположения арматуры и манометров на системе трубопровода:  
 а — TP-23, б — T-16.

трубопроводе TP-23а расход измерялся объемным способом с помощью бочки емкостью 100 л. Запись процесса гидравлического удара производилась на дисковые диаграммы манометра-самописца.

Самописец устанавливался с помощью штуцеров, оборудованных трехходовыми кранами. В опытах гидравлический удар создавался двумя принципиально различными способами. Первый из них отличается тем,



что из трубопровода выпускается некоторый расход воды. Это достигалось открытием сбросной задвижки  $Z_1$ , промежуточной  $Z_2$  (при открытой  $Z_1$ ) и боковой  $Z_3$  (при открытой  $Z_4$ ). Во втором способе гидравлический удар создается без сброса воды из трубопровода: он возникает в заполненном водой трубопроводе, когда промежуточная задвижка  $Z_2$  быстро открывается.

Результаты исследований приводятся в табл. 26.

Таблица 26

Результаты исследования величины гидравлического удара  
в системе полиэтиленового трубопровода ТР-23

| Код<br>опыта | Статиче-<br>ский на-<br>пор Н<br>ст, МПа | Расход<br>воды,<br>л/с | Скорость<br>движе-<br>ния по-<br>тока, м/с | Степень<br>открытия<br>задвиг-<br>ки | Время<br>открытия<br>задвиг-<br>ки, с | Время<br>закры-<br>тия<br>зад-<br>вижки,<br>с | Ударн.<br>давле-<br>ние,<br>Н уд.<br>МПа | Отно-<br>сит.<br>уве-<br>личе-<br>ние<br>дав-<br>ления |
|--------------|------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| $Z_1 M_1$    | 0,25                                     | 38,5                   | 2,53                                       | 0,45                                 | —                                     | 7                                             | 0,38                                     | 1,52                                                   |
| $Z_2 M_2$    | 0,18                                     | 38,5                   | 2,53                                       | 0,45                                 | —                                     | 7                                             | 0,285                                    | 1,58                                                   |
| $Z_3 M_2$    | 0,18                                     | 5,6                    | 1,01                                       | 1                                    | —                                     | 4                                             | 0,33                                     | 1,83                                                   |
| $Z_1 M_2$    | 0,18                                     | 38,5                   | 2,53                                       | 0,45                                 | —                                     | 8                                             | 0,23                                     | 1,28                                                   |
| $Z_3 M_1$    | 0,25                                     | 13                     | 2,34                                       | 1                                    | —                                     | 3,5                                           | 0,44                                     | 1,76                                                   |
| $Z_3 M_1$    | 0,25                                     | 13                     | 2,34                                       | 1                                    | —                                     | 3,8                                           | 0,39                                     | 1,55                                                   |
| $Z_2 M_1$    | 0,25                                     | 0                      | 0                                          | 1                                    | 12                                    | —                                             | 0,305                                    | 1,22                                                   |
| $Z_2 M_1$    | 0,25                                     | 0                      | 0                                          | 1                                    | 14                                    | —                                             | 0,29                                     | 1,16                                                   |

Диаграмма гидравлического удара, полученная из серии опытов под кодовым названием  $Z_1 M_1$ , приводится на рис. 15. Анализ полученных диаграмм показывает, что максимальное ударное давление возникает в конце трубопровода при закрытии боковой задвижки диаметром 100 мм за время 3,5 с (серия опытов  $Z_3 M_1$ ). Как видно из табл. 26, в результате гидравлического удара увеличение давления более чем в 1,76 раза против статического не происходило. Это говорит о том, что в данном простом трубопроводе в опытах создавался не прямой гидравлический удар. Характерной особенностью проведенных опытов создания удара, связанного с выпуском жидкости из трубопровода, является то, что концевая и промежуточная задвижки не открывались полностью, а только на 45%. Это объясняется тем, что удар в трубопроводе возникает при прохождении диска задвижки последней четверти хода, в связи с чем принятая в опытах величина открытия задвижки методически может считаться вполне приемлемой.



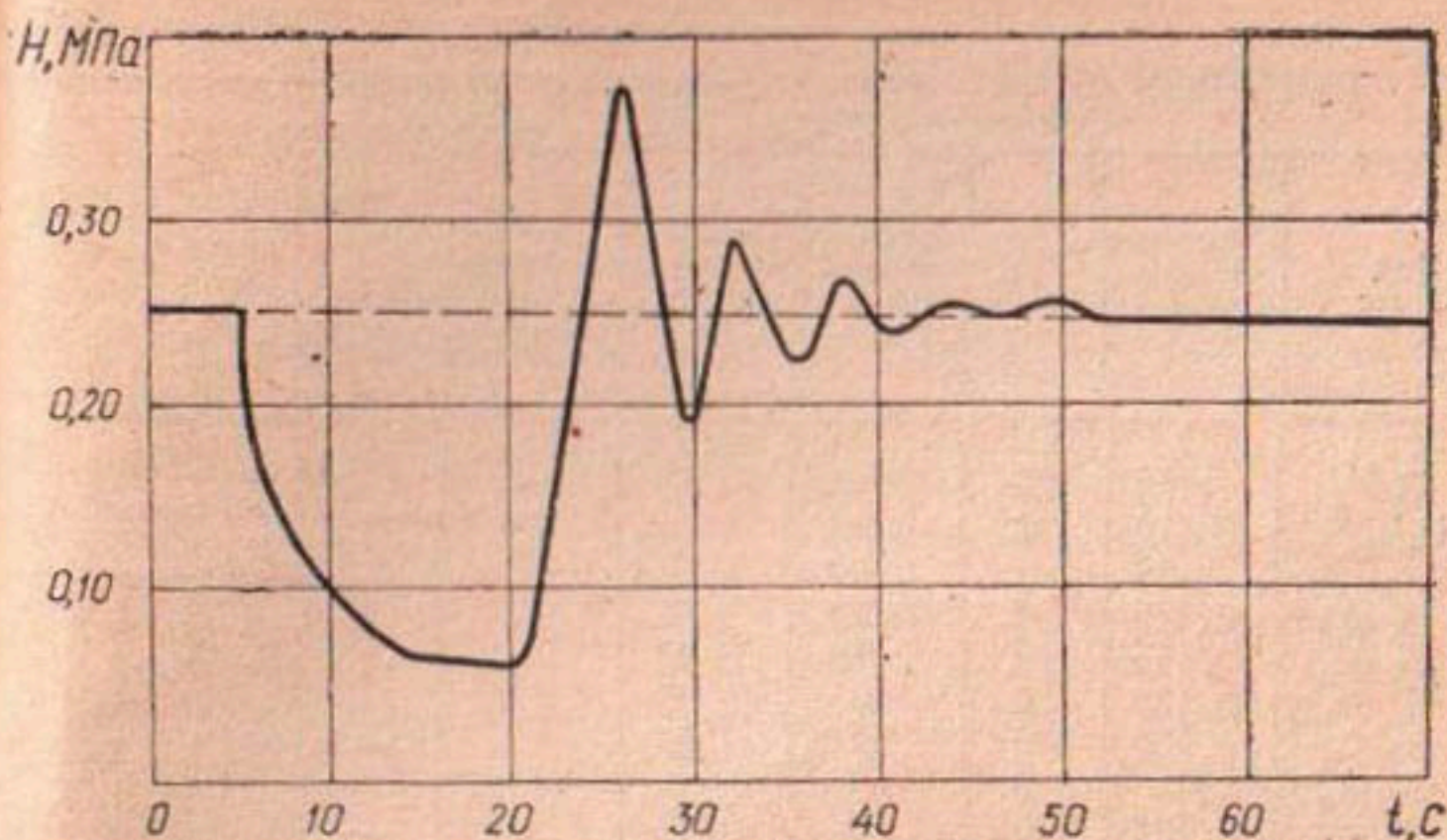


Рис. 15. Диаграмма гидравлического удара в трубопроводе ТР-23 (опыт  $З_1 М_1$ )

В другой серии опытов ( $З_2 М_1$ ) гидравлический удар создавался без выпуска воды из трубопровода. Здесь при полностью заполненном трубопроводе промежуточная задвижка быстро открывалась и на концевом участке трубопровода появлялся гидравлический удар. В этой серии опытов при меньшем времени дросселирования задвижкой максимальное ударное давление значительно меньше, чем в предыдущих опытах.

Для исследований гидравлического удара в сложной разветвленной сети была выбрана система распределительного трубопровода Т-16 системы Тюрякурганской насосной станции второго подъема. Схема сети с показанием задвижек и мест установки манометра-самописца приводится на рис. 14 б. Исследования, как это предусмотрено методикой, можно разделить на две серии: в первой гидравлический удар создавался сбросной завихжкой с выпуском жидкости из сети трубопроводов, во второй же сброс воды из сети не производился. Результаты исследований приводятся в табл. 27.

В табл. 27 код  $В_1 В_2 М_1$  соответствует опыту, когда на трубопроводе Т-16—5 одновременно открывались и закрывались два вентиля диаметром два дюйма, установленные на гидрантах; код  $В_1 В_2 В_3 М_1$  соответствует опыту с тремя одновременно работающими гидранта-



Результаты исследования гидравлического удара в системе  
асбестоцементного трубопровода Т-16

| Код<br>опыта                                                | Статичес-<br>кий на-<br>пор, Нст,<br>МПа | Расход<br>воды,<br>л/с | Скорость<br>движе-<br>ния по-<br>тока, м/с | Степень<br>открытия<br>задвиж-<br>ки | Время<br>открытия<br>задвиж-<br>ки, с | Время-<br>закры-<br>тия<br>задвиж-<br>ки, с | Ударн.<br>давле-<br>ние<br>Н <sub>уд</sub> ,<br>МПа | Относи-<br>тельное<br>увели-<br>чение<br>давле-<br>ния,<br>раз |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Зс М <sub>1</sub>                                           | 0,16                                     | 26                     | 0,43                                       | 0,30                                 | —                                     | 6                                           | 0,25                                                | 1,56                                                           |
| В <sub>1</sub> В <sub>2</sub> М <sub>1</sub>                | 0,13                                     | 7                      | 0,25                                       | 1                                    | 11                                    | 10                                          | 0,145                                               | 1,1                                                            |
| В <sub>1</sub> В <sub>2</sub> В <sub>3</sub> М <sub>1</sub> | 0,13                                     | 10,5                   | 0,38                                       | 1                                    | 7                                     | 7                                           | 0,155                                               | 1,2                                                            |
| Зс М <sub>2</sub>                                           | 0,115                                    | 54                     | 0,89                                       | 0,35                                 | —                                     | 10                                          | 0,135                                               | 1,17                                                           |
| Зс М <sub>2</sub>                                           | 0,115                                    | 54                     | 0,89                                       | 0,28                                 | —                                     | 7,5                                         | 0,135                                               | 1,17                                                           |
| Зс М <sub>1</sub>                                           | 0,18                                     | 0                      | 0                                          | 0,37                                 | 15                                    | —                                           | 0,24                                                | 1,33                                                           |
| Зг М <sub>1</sub>                                           | 0,225                                    | 0                      | 0                                          | 0,30                                 | 20                                    | —                                           | 0,29                                                | 1,29                                                           |
| Зг М <sub>3</sub>                                           | 0,14                                     | 0                      | 0                                          | 0,30                                 | 13,5                                  | —                                           | 0,196                                               | 1,4                                                            |
| Зг М <sub>3</sub>                                           | 0,126                                    | 0                      | 0                                          | 0,30                                 | 10                                    | —                                           | 0,196                                               | 1,55                                                           |

ми. В опытах серии Зс М<sub>2</sub> под номером 4 головная задвижка трубопровода Т-16—5 была открыта, под номером 5—закрыта. Как видно из табл. 27, величина ударных давлений в опытах без выпуска жидкости из сети значительно выше, чем в опытах со сбросом жидкости. Это объясняется тем, что в голове распределительного трубопровода Т-16 установлена диафрагма, которая при открытии сбросной задвижки нарушает гидравлическую связь его с напорным трубопроводом.

Различная величина статического напора обусловлена переменным режимом работы напорного трубопровода. Анализ диаграмм в опытах серии Зс М<sub>2</sub> показывает, что включение трубопровода Т-16—5 (номер опыта 4) способствует формированию плавной кривой изменения давления во времени. В серии испытания Зг М<sub>3</sub> задвижка в голове Т-16—5 была закрыта (опыт 8) и открыта (опыт 9). Однако ощутимой разницы в результатах опытов это явление не дало.

По-видимому, на величину ударного давления, создаваемого головной задвижкой без выпуска жидкости, не оказывает сколько-нибудь существенного влияния подключение дополнительных ветвей трубопроводов.

По результатам проведенных исследований получена следующая зависимость для определения величины максимального давления в простом трубопроводе

$$H_{уд} = \left( H_0 + \frac{av_0}{g} - \frac{5,92t_3}{\mu} \right) 0,01, \text{ МПа}, \quad (55)$$



где  $H_0$  — статический напор, м;

$a$  — скорость распространения ударной волны, м/с;

$g$  — ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>

$t_2$  — время закрытия задвижки, с;

$\mu$  — фаза гидравлического удара, с.

Полученная зависимость выражает физическую сущность процесса, состоящего из взаимодействия прямых и отраженных волн и действительна при условии  $t_2 < T$ , где  $T$  ограничено следующим соотношением

$$\frac{5,92T}{\mu} < \frac{av_0}{g}$$

По формуле (55) проведены расчеты ударного давления применительно к данным, представленным в работе Сурина А. А. [17]. Результаты этих расчетов и полученные с помощью других ранее известных методов приведены в табл. 28.

Таблица 28

Сравнение данных опытов с расчетными

| Ударное давление, МПа |                      |                       |                 | Относительная погрешность, % |                       |                 |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------|------------------------------|-----------------------|-----------------|
| опытное               | расчетное            |                       |                 | по Сури-<br>ну А. А.         | по Блоки-<br>ну В. И. | по ф-ле<br>(55) |
|                       | по Сури-<br>ну А. А. | по Блоки-<br>ну В. И. | по ф-ле<br>(55) |                              |                       |                 |
| 1,266                 | 1,307                | 1,25                  | 1,287           | 3,3                          | 1,4                   | 1,9             |
| 0,488                 | 0,517                | 0,522                 | 0,468           | 0,0                          | 7,0                   | 4,1             |
| 1,60                  | 1,72                 | 1,495                 | 1,788           | 7,5                          | 11,5                  | 3,9             |
| 0,976                 | 0,979                | 0,955                 | 0,935           | 0,4                          | 2,2                   | 4,0             |
| В сред-<br>нем        |                      |                       |                 | 4,28                         | 6,6                   | 3,6             |

Как видно из данных табл. 28, полученная зависимость (55) обеспечивает достаточно высокую точность расчета.

Учитывая большие расходы воды в трубопроводах ЗОС и на гидрантах, частые открытия и закрытия арматуры, которые приводят к созданию неустановившегося потока жидкости, а также сложную configura-



цию сети, большой практический интерес представляет изучение влияния конфигурации сети на величину ударного давления.

Для изучения этого вопроса была построена модельная установка из стальных труб. Подача воды в нее осуществлялась из магистрали диаметром 100 мм, статический напор составлял 0,3 МПа. На входе и выходе установлены пробковые краны диаметром два дюйма. Расход воды, измеренный объемным способом, составил 1,2 л/с, а скорость потока при полном открытии кранов — 0,56 м/с. По длине магистрали устроены несколько патрубков, к которым присоединялись отводы из труб разного диаметра — тупиковые и закольцованные. Гидравлический удар создавался закрытием выходного крана.

Измерение давления производилось при помощи индуктивных датчиков типа ДД-10 с пределами измерения 0—1 МПа. Питание датчиков осуществлялось переменным током частотой 20 кГц и напряжением 35в от звукового генератора типа ГЭ-56/1 при выходном сопротивлении 600 Ом и включенной внутренней нагрузке. Запись производилась осциллографом Н-041У на бумажную ленту шириной 120 мм и чувствительностью 600 единиц ГОИ. В качестве гальванометров применялись шлейфы типа М001-А1 с током полного отклонения 250 мкА. Для выравнивания чувствительности датчиков и гальванометров применялся магазин шунтов и добавочных сопротивлений Р-1. Запись гидравлического удара производилась преимущественно при скорости движения ленты 40 мм/с, однако в некоторых опытах для выявления более тонкой структуры импульса от датчиков применялась более высокая скорость — 160 мм/с. При этом в обоих режимах производились отметки времени через каждые 0,1 с от встроенного в осциллограф отметчика времени.

Перед началом и после окончания опытов была произведена тарировка датчиков по образцовому манометру типа МО класса 0,2 (пределы измерения 0—1 МПа). Проявление осциллограмм производилось в стандартном проявителе № 1 и в нейтральном фиксаже.

В первой серии опытов на модели, состоящей из магистрального трубопровода и тупикового отвода, изучалась зависимость ударного давления в магистрали от местоположения тупика.



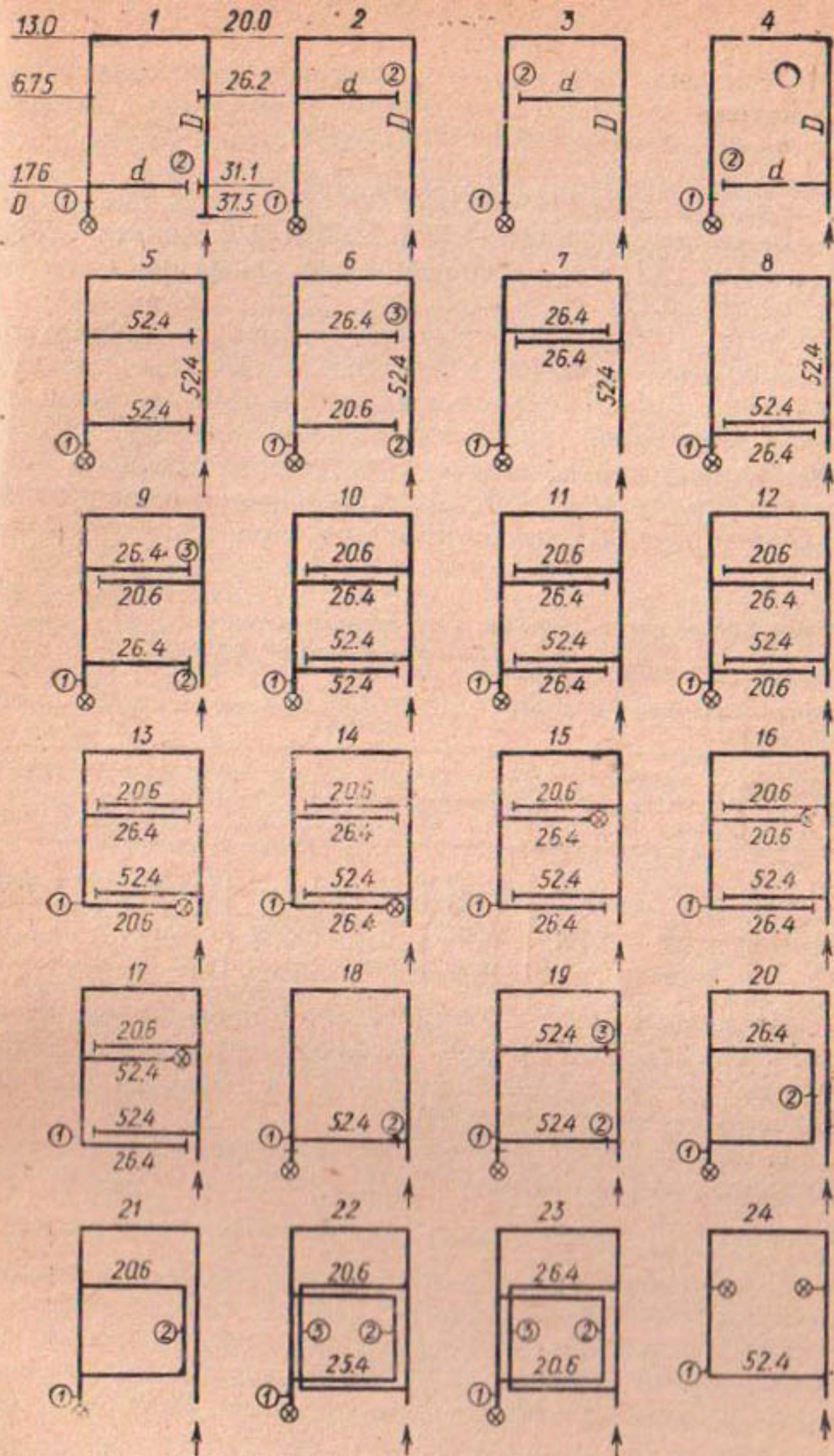


Рис. 16. Схемы опытной сети трубопроводов

x — сбросной кран; 2 — место установки датчика давления № 2; 26,1 — диаметр трубы в мм. На схеме 1 цифры означают расстояние от крана в м.



Тупиковые отводы разного диаметра присоединялись к магистрали в точках, отстоящих от выходного пробкового крана на расстоянии, определяемом соотношением  $\frac{l}{L} = 0,047, 0,18, 0,7, 0,83$  (рис. 16).

Диаметры отводов — 2, 1, 3/4 и 1/2 дюйма (52,4; 26,4; 20,6; 15,1 мм), а соотношение длин отвода и магистрали — 0,17.

Система была оборудована образцовым манометром. Специальные штуцера, в которые вставлялись датчики давления, имели трехходовые краны для выпуска воздуха. Выходной кран закрывался вручную за 0,4 с (по ручному секундомеру). Опыты проводились в пятикратной повторности. Результаты измерения повышения ударного давления представлены в табл. 29.

Таблица 29

Повышение ударного давления в магистрали в зависимости от диаметра и места присоединения отвода (МПа)

| Отноше-<br>ние диа-<br>метров<br>отвода и<br>магистра-<br>ли (d/D) | Отношение расстояния от выходного крана до отвода к длине магистра-<br>ли (l/L) |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                                                    | 0,047                                                                           |      | 0,18 |      | 0,7  |      | 0,83 |      |
|                                                                    | т. 1                                                                            | т. 2 | т. 1 | т. 2 | т. 1 | т. 2 | т. 1 | т. 2 |
| 1                                                                  | 0,45                                                                            | 0,88 | 0,20 | 0,28 | 0,21 | 0,02 | 0,28 | 0,01 |
| 0,5                                                                | 0,37                                                                            | 0,62 | 0,22 | 0,34 | 0,26 | 0,06 | 0,23 | 0,03 |
| 0,375                                                              | 0,43                                                                            | 0,91 | 0,25 | 0,45 | 0,20 | 0,09 | 0,33 | 0,05 |
| 0,25                                                               | 0,46                                                                            | —    | 0,28 | —    | 0,34 | —    | —    | —    |

Из данных табл. 29 видно, что максимальное давление при непрямом ударе наблюдается в магистрали в случае, когда отвод находится в непосредственной близости от выходного крана.

В общем случае с уменьшением диаметра отвода оно увеличивается и при отсутствии тупика, т. е. когда соотношение  $\frac{d}{D}$  равно нулю, оно становится равным давлению, замеренному в магистрали без отводов. Из опыта следует, что ударное давление в магистрали с отводом не всегда больше давления при отсутствии отвода. Так, в общем случае влияние отвода на повышение давления в магистрали сказывается лишь в схемах, где соотношение  $\frac{l}{L}$  находится в пределах от 0 до 0,14 и от 0,77 до 1.



В схемах с соотношением  $\frac{l}{L}$  в пределах  $0,14 \div 0,77$  присоединение отвода способствует снижению давления.

Однако окончательный выбор безопасного местоположения отвода определяется в результате анализа давлений, полученных в конце тупика (точка 2). В общем случае давление в тупиках мало зависит от диаметра труб и при  $\frac{l}{L} < 0,26$  оно выше давления в магистрали без отводов, а при  $\frac{l}{L} > 0,26$  — ниже.

На основании этого можно считать, что безопасное место присоединения отвода к магистрали находится от выходного запорного устройства на расстоянии  $l = 0,26L$ .

Во второй серии опытов испытывалась более сложная схема модельной сети — с несколькими тупиковыми отводами разного диаметра. Результаты измерения давления в различных точках сложной сети приводятся в табл. 30.

Таблица 30

Повышение давления при гидравлическом ударе в сложной разветвленной сети (МПа)

| Номер<br>схемы | Повышение давления в<br>точках |      |      | Номер<br>схемы | Повышение давления в<br>точках |   |   |
|----------------|--------------------------------|------|------|----------------|--------------------------------|---|---|
|                | 1                              | 2    | 3    |                | 1                              | 2 | 3 |
| 5              | 0,62                           |      |      | 12             | 0,38                           |   |   |
| 6              | —                              | 0,95 | 0,47 | 13             | 0,35                           |   |   |
| 7              | 0,70                           |      |      | 14             | 0,35                           |   |   |
| 8              | 0,46                           |      |      | 15             | 0,27                           |   |   |
| 9              | 0,47                           | 0,67 | 0,70 | 16             | 0,20                           |   |   |
| 10             | 0,38                           |      |      | 17             | 0,08                           |   |   |
| 11             | 0,38                           |      |      |                |                                |   |   |

Результаты измерения давления при гидравлическом ударе в сложной сети показывают, что наличие двух тупиковых отводов (за исключением схемы 6) способствует увеличению давления в магистрали у выходного крана (схемы 5—8 на рис. 16). В схемах с 4 отводами разных диаметров давление больше, чем в магистрали без отводов, но меньше, чем в схемах с одним и двумя отводами. Таким образом, независимо от числа отводов ударное давление в магистрали существенно выше, чем в водоводе без ответвлений.



В схемах 10—12 повышение давления не зависит от диаметра последнего отвода, как и в схемах 13, 14, где двухдюймовый кран ставился на конце последнего отвода. В схемах 15—17 удар создавался закрытием крана на конце промежуточного отвода. И как видно из табл. 30, здесь получено минимальное давление.

Из опытов этой серии установлено, что максимальное давление в магистрали наблюдается при закрытии выходного крана и одновременным включением в работу 2—4 тупиковых отводов.

Таким образом, полученные результаты исследований дают основание считать влияние тупиков на величину ударного давления в магистрали гораздо значительнее, чем предполагал А. А. Сурин, вводя поправочный коэффициент 1,10—1,20. Вместе с тем, как было доказано ранее, отводы младшего ранга, работающие в течение вегетационного периода по очереди, эффективно кольцевать по два и три. Поэтому несомненный интерес представляет изучение распространения гидравлического удара в такой сети. В связи с отсутствием кольцевых сетей в природе и слабой изученностью этого вопроса мы поставили перед собой задачу исследовать характер влияния кольцевой схемы на величину гидравлического удара, создаваемого закрытием задвижки на модельной сети (рис. 16, схемы 18—24). Опыты проводились сначала на одном кольце труб, затем на магистрали с отводами в виде одного и двух колец при статическом напоре 0,3 МПа, расходе воды 1,2 л/с, скорости потока 0,56 м/с. Результаты их

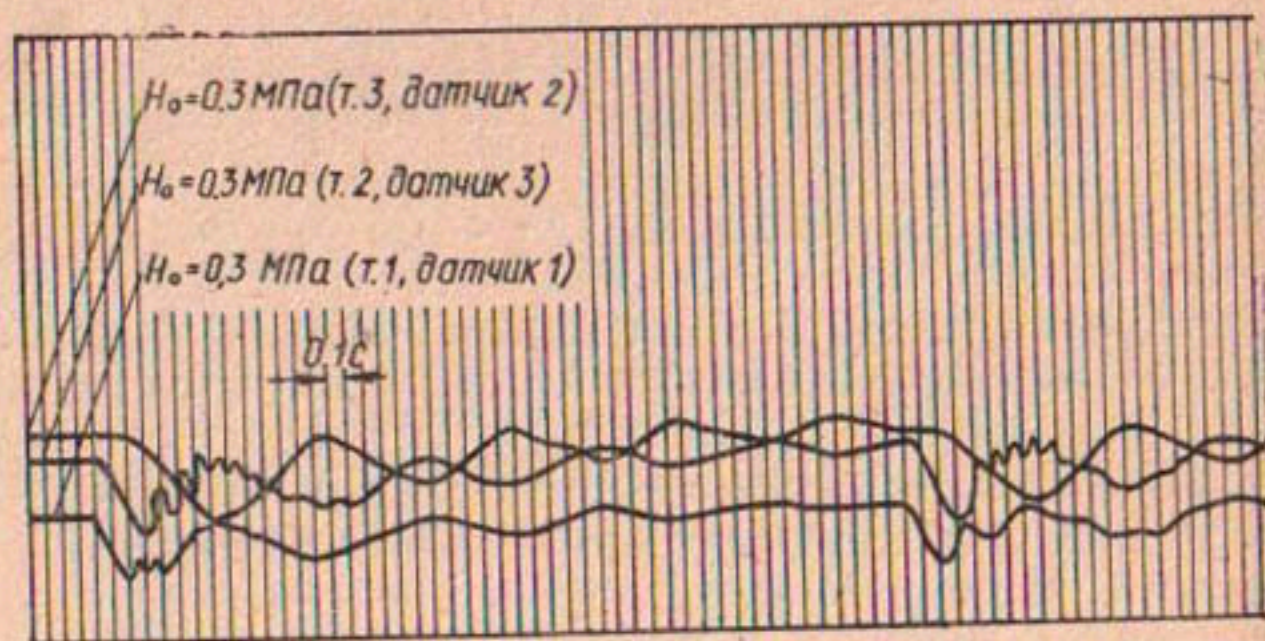


Рис. 17. Осциллограмма гидравлического удара



приводятся в табл. 31. На рис. 17 приведена осциллограмма с записью гидравлического удара в различных точках сети, построенной по схеме 22.

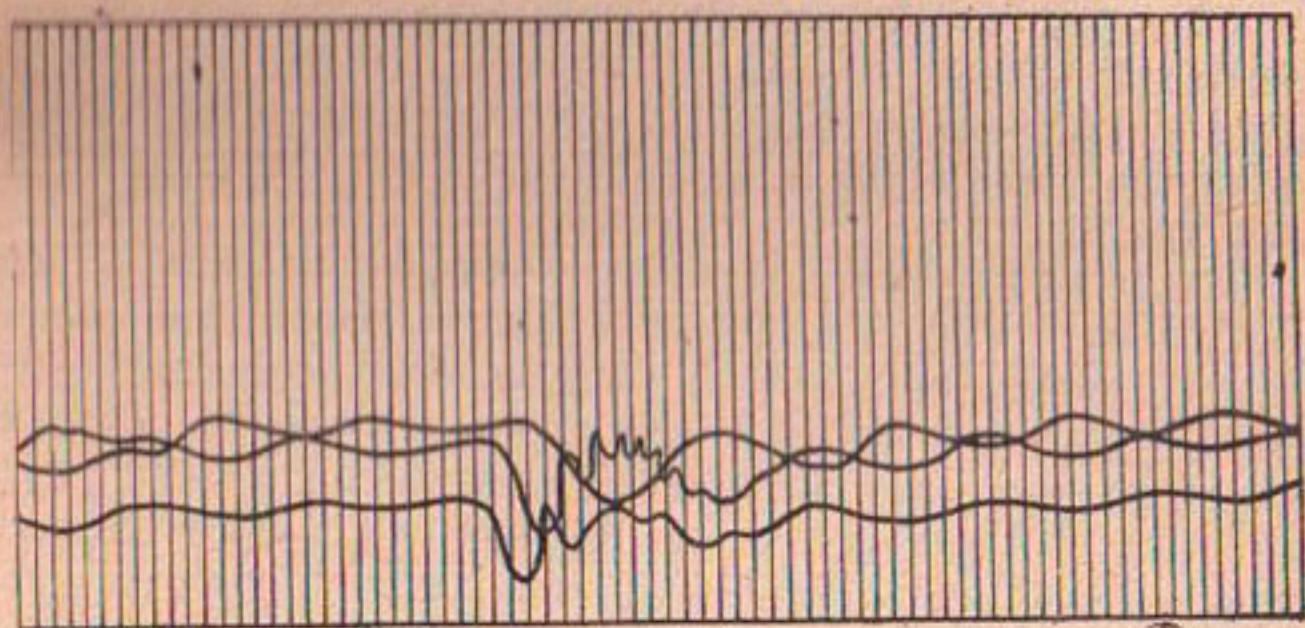
Таблица 31

Повышение давления в магистрали с кольцевыми отводами (МПа)

| Номер<br>схемы | Давление в точках |      |      | Номер<br>схемы | Давление в точках |      |   |
|----------------|-------------------|------|------|----------------|-------------------|------|---|
|                | 1                 | 2    | 3    |                | 1                 | 2    | 3 |
| 18             | 0,04              | 0,04 |      | 22             | 0                 | 0    | 0 |
| 19             | 0,04              | 0,04 | 0,04 | 23             | 0,2               | 0,19 | 0 |
| 20             | 0,70              | 0,32 |      | 24             | 0,10*             |      |   |
| 21             | 0,67              | 0,18 |      |                | 0,12              |      |   |

\* В числителе приводится давление, полученное при закрытии одного крана; в знаменателе—при одновременном закрытии двух кранов.

Как видно из табл. 31, в схемах 18, 19 и 22 повышения давления не наблюдалось. В схемах 20, 21 с отводами в виде одного кольца давление в магистрали соответствует случаю с тупиковыми отводами (схемы (5—7)). Однако в самом кольце давление значительно меньше, чем в конце тупиков. Давление в кольце, создаваемое закрытием одного или двух пробковых кранов диаметром два дюйма, ниже, чем при закрытии крана в магистрали без отводов. В то же время подключение



в сети с кольцевыми отводами (схема 22).



отводов в виде одного кольца, независимо от диаметра их труб, способствует увеличению ударного давления (схемы 20, 21).

Таким образом, результаты этой серии опытов показывают, что кольцевые отводы, диаметр труб которых находится в соотношении  $\geq 0,5$  с диаметром труб магистрали, полностью срезают скачки давления. При соотношении диаметров труб  $< 0,5$  кольцевые отводы уже в меньшей степени защищают магистраль. Однако и здесь повышение давления не превышает 80% от измеренного в магистрали без отводов.

На этой же модели проводились опыты по изучению эффективности работы различных гасителей гидравлического удара. В опытах схема сети выбиралась самая неблагоприятная (рис. 16, сх.7) и перед выходным краном устанавливался гаситель. В качестве гасителя использовались поршневой клапан и воздушно-гидравлический колпак, емкость которого изменялась и составляла 9, 11 и 15 л, что в 7,5; 9,2 и 12,5 раза превосходило расход воды в магистрали. Во всех опытах с гасителями удара давление было незначительным — 0,015 МПа при установке поршневого клапана и 0,005 МПа — при воздушно-гидравлическом колпаке.

Из сравнения величины гидравлического удара в опытах с кольцевыми отводами и гасителями становится очевидным их равнозначимость в части защиты магистрали. Однако кольцевание имеет еще и другие преимущества. Так, значительное повышение давления в магистрали вызывается закрытием крана в конце отвода (сх. 15, 16), и поэтому магистраль должна быть защищена путем установки гасителей в местах подключения тупиковых отводов. В схемах же с кольцевыми отводами небольшие скачки давления безопасны для магистрали.

Таким образом, наряду с экономической эффективностью, обусловленной рассредоточением тока воды, кольцевание отводов несет в себе и преимущества технического порядка, — снижая величину ударного давления, оно дает возможность применять менее прочные трубы и это является другой, не менее важной, стороной эффективности кольцевания.

Все эти опыты проводились при средней скорости распространения ударной волны 1200 м/с и фазе гидрав-



лического удара 0,0625 с. Отношение времени закрытия крана к фазе удара составило 6,5.

По результатам исследований оказалось возможным выразить влияние тупиковых отводов на давление в магистрали зависимостью отношения повышения давления в сети к давлению в тупиковой магистрали  $\frac{\Delta H_{\text{сети}}}{\Delta H_{\text{маг}}}$  от выра-

жения  $\frac{v_{\Sigma \text{отв}}}{v_{\text{маг}}} \cdot \frac{l_1}{L}$ ,

где  $v_{\Sigma \text{отв}}$  — объем воды во всех работающих отводах;

$v_{\text{маг}}$  — объем воды в магистрали;

$l_1$  — расстояние от выходной задвижки до первого отвода;

$L$  — длина магистрали.

Такая зависимость была получена обработкой опытных данных методом наименьших квадратов.

Опыты с несколькими отводами (схемы 5—12) проводились при времени закрытия 0,6 с и отношения  $\frac{t_3}{\mu} = 8,5$ , а их результаты также оказалось возможным представить в виде функции

$$\frac{\Delta H_{\text{сети}}}{\Delta H_{\text{маг}}} = f \left( \frac{v_{\Sigma \text{отв}}}{v_{\text{маг}}} \cdot \frac{l_1}{L} \right).$$

По полученным результатам, пользуясь методами интерполяции и экстраполяции, для различных отношений  $\frac{t_3}{\mu}$  составлены соответствующие графики (рис. 18). Эти графики дают возможность учитывать влияние тупиковых отводов при расчете гидравлического удара в магистрали.

Такие же исследования проведены для установления функциональной зависимости повышения давления в конце тупиковых отводов сложной разветвленной сети от места их присоединения к магистрали. В результате установлены зависимости

$$\frac{\Delta H_{\text{сети}}}{\Delta H_{\text{маг}}} = f \left( \frac{l}{L} \right),$$

которые представлены графически на рис. 18.

На модельной установке изучалось также влияние длины отводов на величину удара в магистрали. В схеме 7 с двумя отводами, диаметры которых в два раза меньше



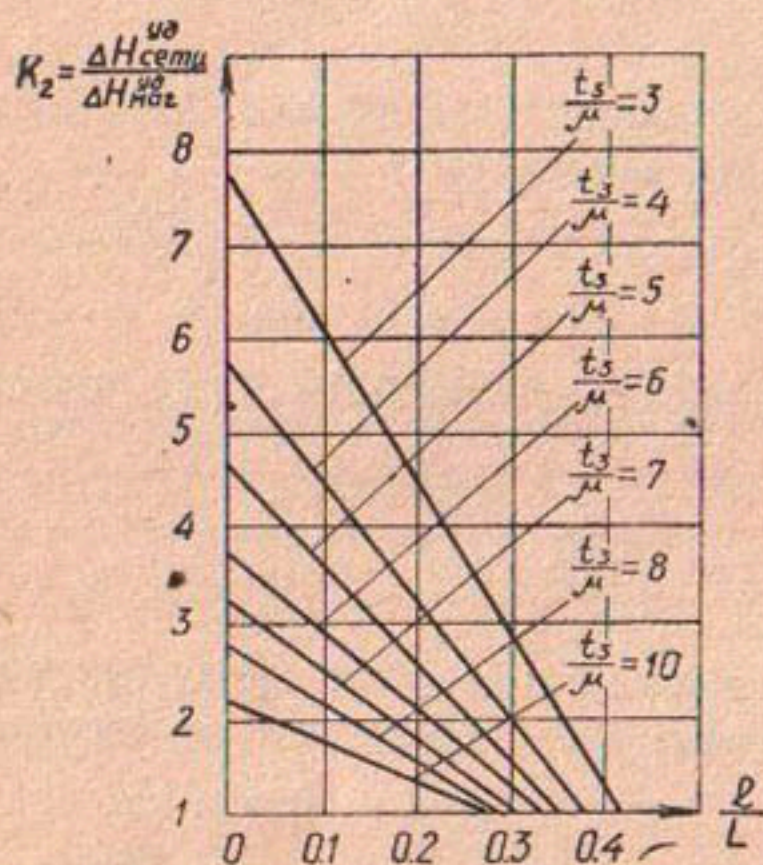
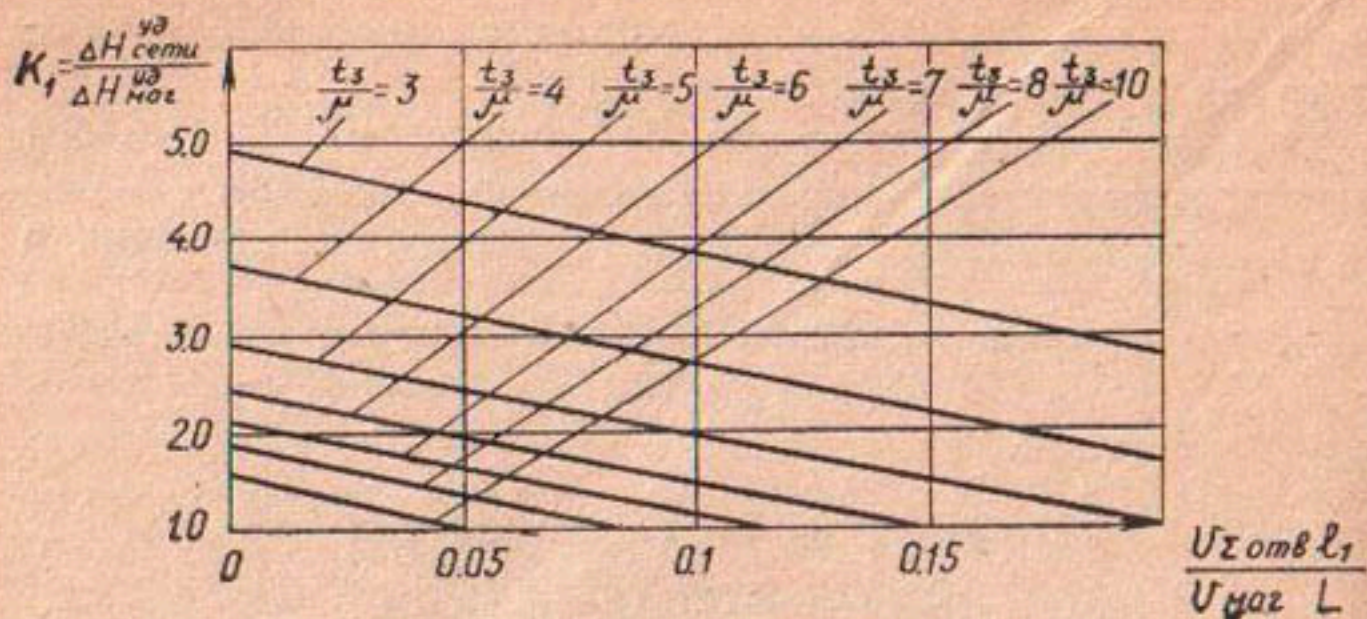


Рис. 18. Поправочные коэффициенты к расчету ударного давления в трубопроводах разного ранга ЗОС:

а — в магистрали, б — в тупиковом отводе.

диаметра магистрали, опыты проводились при различных соотношениях длин отводов и магистрали  $\frac{l_{отв}}{L}$ : 0,147; 0,2; 0,29. Во втором случае ( $\frac{l_{отв}}{L} = 0,2$ ) получено наименьшее ударное давление — 0,65 МПа, что на 7% меньше, чем в других опытах.

Аналогичный опыт проводился на сети с одним отводом. К магистрали длиной 50 м на расстоянии 14 и 19 м от выходного крана присоединялся отвод разной длины: 5,5; 11 и 16 м. Соотношение диаметров труб отвода и магистрали — 0,5. Минимальное ударное давление получено при длине отвода 11 м, т. е. при отношении



длины отвода и магистрали 0,22. При такой длине отвода снижение давления составило 16%.

В схеме с отводом, местоположение которого соответствовало параметру  $\frac{l}{L} = 0,70$ , минимальное давление получено при соотношении длин отвода и магистрали 0,29.

Таким образом, на величину ударного давления в магистрали оказывает влияние и длина отвода. Минимальное повышение давления наблюдается при длине отвода (и отводов)  $l_{\text{отв}} = (0,20 - 0,30)L$ . При такой длине отводов снижение ударного давления в магистрали может достигать 10—15%.

На сети, состоящей из магистрали диаметром 52,4 мм и длиной 50 м и отвода диаметром 26,4 мм, отстоящего от выходного крана на расстоянии 37,5 м, проведены исследования гидравлического удара с целью определения ударного давления в конце тупика. Опыты проводились при длине тупика 5,5; 16 и 22 м.

В опытах с длиной тупика 16 и 22 м повышение давления было одинаковым (0,12 МПа) и несколько выше, чем при длине 5,5 м (0,07 МПа), что также подтверждает эффективность схемы с короткими отводами.

Таким образом, экспериментально установлено влияние длины отводов на величину гидравлического удара. Выявление зависимости ударного давления от длины отводов (тупиковых и кольцевых) и их местоположения является предметом дальнейших исследований. Однако, имея в виду, что схема ЗОС в предгорных условиях диктуется рельефом местности, расчет гидравлического удара можно вести без учета длины отводов, создавая тем самым некоторый запас прочности.

Расчет непрямого гидравлического удара и прочности труб. В литературе известны несколько аналитических методов расчета сложных водоводов: метод живых сил (метод Кригера), метод наложения Кнаппа, метод Егера и метод «эквивалентных длин» М. А. Мосткова [13, 17].

Анализ методов Кнаппа и Егера, проведенный М. А. Мостковым, показал, что метод Егера при достаточно большом времени закрытия задвижки громоздкий, а метод Кнаппа для водоводов с малым статическим напором не пригоден. В связи с этим рассмотрим возможность применения для расчетов методов живых сил и «эквивалентных длин».



Приближенный метод живых сил основан на замене сложного трубопровода общей длиной  $L$  и состоящего из нескольких участков длиной  $l_1, l_2, \dots, l_n$  с разными сечениями и скоростями—потока  $v_1, v_2, \dots, v_n$  и распространения ударных волн  $a_1, a_2, \dots, a_n$  простым, имеющим ту же длину и пропускную способность. При этом живые силы движущейся воды в заменяющем и сложном трубопроводе равны между собой. Исходя из этого, параметры заменяющего трубопровода определяются из следующих соотношений:

$$L = \sum_i l_i, \quad \omega_0 = \frac{L}{\sum_i \frac{l_i}{\omega_i}}, \quad v_0 = \frac{\sum_i l_i v_i}{L}, \quad a_0 = \frac{L}{\sum_i \frac{l_i}{a_i}}, \quad (56)$$

где  $m$ —число участков,  $i=1, 2, \dots, m$ .

По найденным параметрам любым из известных методов определяется ударное давление у задвижки. Метод «эквивалентных длин» состоит в замене сложного трубопровода простым с ординатой удара сложного, но с длиной  $L = \lambda L$ , названной «эквивалентной». Коэффициент эквивалентной длины зависит от степени сложности трубопровода и для водовода с одной разрывностью определяется из выражения

$$\lambda = 1 + \frac{s_1}{s_2} n_2 (1 - r_2^k), \quad (57)$$

где  $s_1$  и  $s_2$  — коэффициенты проскока;

$n_2$  — отношение продолжительности фаз участков водовода  $\left(n_2 = \frac{\mu_2}{\mu_1}\right)$ ;

$r_2^k$  — коэффициент отражения;

$$k = \frac{\Theta - 1}{n_2}, \quad \Theta = \frac{t_3}{\mu_1}.$$

При достаточно большом времени закрытия задвижки ( $K \geq 8$ )  $r_2^k \rightarrow 0$  и выражение (57) значительно упрощается

$$\lambda = 1 + \frac{s_1}{s_2} n_2. \quad (58)$$



Коэффициенты проскока и отражения определяются из выражений

$$s_i = \frac{\frac{2\omega_1}{a_1}}{\frac{\omega_1}{a_1} + \frac{\omega_2}{a_2}}, \quad (59)$$

$$r_i = 1 - s_i, \quad i = 1, 2.$$

Вычислив длину некоторого эквивалентного простого трубопровода с диаметром и упругими свойствами сложного, по обычным формулам можно определить величину ударного давления простого трубопровода.

Для сложного трубопровода М-2—10 при времени закрытия 50с вычисление ударного давления произведено по нескольким методам.

Наиболее близкие к опыту результаты получены по формуле (55) и с использованием численных методов В. И. Блохина и Л. Ф. Мошнина, которые могут быть рекомендованы для расчетов непрямого удара в сложных водоводах.

В системах с автоматизацией полива гидравлический удар создается при открытии головной задвижки. Исследованиями неустановившегося движения потока в трубопроводе ТР-23 при открытии промежуточной задвижки З<sub>2</sub> была получена следующая формула

$$H_{ya} = H_0^* \left( 1,89 - 0,027 \frac{at_0}{L} \right) 0,01, \quad (60)$$

где  $H_{ya}$  — ударное давление в конце трубопровода, м;

$H_0^*$  — статический напор в конце водовода при открытой задвижке, м;

$t_0$  — время открытия задвижки, с.

Эта формула справедлива при условии

$$\tau < t_0 \leq 33 \tau,$$

где  $\tau$  — фаза ударной волны  $\left( \tau = \frac{L}{a} \right)$ .

Метод расчета сложных водоводов, в которых гидравлический удар создается путем открытия головной задвижки без сброса воды, остается прежним. Здесь в качестве формулы для простого трубопровода необходимо использовать формулу (60).



Расчет повышения давления в сложной разветвленной сети при непрямом гидравлическом ударе, создаваемого закрытием выходной задвижки на конце магистрали, является приближенным и ведется в следующей последовательности.

С помощью методов «эквивалентных длин» или живых сил магистраль преобразуется в простой водовод. Для магистрали по диаметру концевой задвижки по формуле (63) находится время ее закрытия ( $t_z$ ), скорость распространения ударной волны, фаза гидравлического удара ( $\mu$ ) и соотношение  $\frac{t_z}{\mu}$ .

Определяются объемы воды в магистрали ( $v_{\text{маг}}$ ) и всех рабочих отводов, вместе взятых ( $v_{\Sigma \text{отв}}$ ), отношение расстояния от задвижки до первого отвода ( $l_1$ ) к длине магистрали ( $L$ ). По выражению  $\frac{v_{\Sigma \text{отв}}}{v_{\text{маг}}} \cdot \frac{l_1}{L}$  для соответствующего значения  $\frac{t_z}{\mu}$  по графику (рис. 18а) находится поправочный коэффициент  $k_1$ .

На этот коэффициент следует умножить величину давления, вычисленную по формуле (55) для магистрали без отводов.

Для тупиковых отводов разветвленной сети повышение давления может быть определено с помощью соответствующих поправочных коэффициентов ( $k_2$ ), зависящих от местоположения отводов ( $\frac{l}{L}$ ) и отношения времени закрытия задвижки к фазе гидравлического удара ( $\frac{t_z}{\mu}$ ) (рис. 18б). Расчету подвергаются те отводы, положение которых определяется граничным значением  $\frac{l}{L}$ . По формуле (55) производится проверочный расчет ударного давления при закрытии концевой задвижки самого отвода и из двух значений выбирается большее.

Для более удаленных от задвижки отводов повышение давления принимается равным давлению в магистрали, которое определяется графическим построением, рассмотренным в работах М. А. Мосткова и А. А. Сурина (13, 17).

Таким образом, в сложной разветвленной сети повышение давления, вызываемое закрытием концевой задвижки, может быть определено по формуле



$$\Delta H_{уд} = \left( \frac{av}{g} - \frac{5,92l_3}{\mu} \right) 0,01 \kappa_1 \kappa_2, \quad (61)$$

где  $\kappa_1$  и  $\kappa_2$  — поправочные коэффициенты, определяемые по графикам рис. 18;

$\Delta H_{уд}$  — повышение давления при гидравлическом ударе МПа ( $\Delta H_{уд} = H_{уд} - H_0$ ).

В расчетах повышения давления в магистрали влияние тупиков учитывается поправочным коэффициентом  $\kappa_1$  из рис. 18 а и  $\kappa_2$ , равным 1. Для расчета давления в отводах в формулу (61) подставляются коэффициенты  $\kappa_2$ , определяемые графически из рис. 18 б и  $\kappa_1$ , равный 1.

Выше было сказано, что водоводы закрытых оросительных систем предгорий имеют большие статические напоры, а экономические скорости потока могут достигать 4—4,5 м/с. Эти параметры наряду с отношением времени закрытия задвижки к фазе гидравлического удара, согласно формуле (55) влияют на величину ударного давления. Повышение давления ( $\Delta H_{уд} = H_{уд} - H_0$ ) существенно зависит от скорости установившегося движения. Для асбестоцементных труб при соотношении  $\frac{l_3}{\mu} = 5$  при скоростях 1, 2, 3 и 4 м/с  $\Delta H_{уд}$  составляет 0,005; 0,4; 0,75 и 1,1 МПа. Учитывая это, можно предполагать появление при эксплуатации закрытых систем больших ударных давлений, способных разрушить трубы. Поэтому для выбора необходимой толщины стенки трубы следует проводить расчеты на прочность.

Существующие нормативные документы разработаны для труб из разных материалов и дают самые различные рекомендации по выбору гидравлического фактора при статическом расчете труб. Так, в «Указаниях по расчету стальных трубопроводов» СН 373—67 рекомендуется назначать толщину стенки труб по рабочему давлению. Имеются предложения, в которых расчет стальных труб следует производить по испытательному давлению. Для напорных железобетонных труб В. И. Овсянкин рекомендует определять расчетное гидравлическое давление по следующим формулам (16)

$$P_{пр} = P_{раб} + 0,5 \text{ МПа при } P_{раб} > 0,5 \text{ МПа}, \quad (62)$$

$$P_{пр} = 2P_{раб} \text{ при } P_{раб} < 0,5 \text{ МПа.}$$



Здесь  $P_{пр}$  — расчетное приведенное внутреннее давление в трубопроводе с учетом гидравлического удара;  $P_{раб}$  — рабочий напор.

В качестве гидравлического фактора при расчете незащищенных трубопроводов закрытых оросительных систем на прочность следует принимать величину ударного давления. Для систем самотечно-напорных в зависимости от схемы сети и ранга водоводов максимальное давление необходимо определять в соответствии с предложенной методикой. Для систем с механической подачей воды максимальное давление должно быть выбрано из сопоставления величины гидравлического удара, вызываемого закрытием задвижки и внезапной остановкой насосных агрегатов при отключении электроэнергии.

Как видно из формулы (61), неизвестными для расчета ударного давления являются скорость распространения ударной волны ( $a$ ) и время закрытия задвижки ( $t_3$ ). В опытах с дисковыми задвижками установлена возможность определения величины  $t_3$  по следующей зависимости

$$t_3 = 172D^{1.3}, \quad (63)$$

где  $D$  — диаметр условного прохода задвижки, м.

Скорость распространения ударной волны в трубопроводе из стальных труб может быть определена по известной формуле Аллиеви [17]. Для других труб — полиэтиленовых, асбестоцементных — в формулу Аллиеви вводятся коэффициенты, учитывающие анизотропность материала труб или влияние упругих стыков. Для железобетонных труб вводится приведенная толщина стенки труб.

Определив в результате технико-экономического расчета оптимальный стандартный диаметр трубы и соответствующую ему величину толщины стенки трубы, вычисляется скорость ударной волны и по формуле (61) — максимальное ударное давление. Затем по «котельным» формулам выполняется статический расчет (4, 8, 16, 18).

В результате расчета определяется толщина стенки труб, по которой выбирается стандартный диаметр. Последний определяет строительную стоимость сети.

В ряде случаев имеется возможность существенно уменьшить величину ударного давления за счет, напри-



мер, уменьшения статического напора. В самотечно-напорных сетях это достигается зонированием с помощью гасителей напора, в гидравлическом комплексе — установкой регуляторов напора, обратных клапанов и других устройств. В связи с этим необходимо рассмотреть все возможные варианты оснащения сети специальными сооружениями и по приведенным затратам выбрать оптимальную конструкцию сети.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования по обоснованию переустройства внутрихозяйственных гидромелиоративных систем позволили установить высокую технико-экономическую эффективность водохозяйственных работ по техническому совершенствованию систем Кашкадарьинской области. Однако нельзя считать предложенные методы обоснования переустройства всеобщими, пригодными для всех природно-климатических зон Средней Азии. В некоторых районах древнего орошения со сложившимися вековыми традициями на первый план при переустройстве могут быть выдвинуты иные критерии обоснования, а эффективность капитальных вложений окажется ниже нормативной. В этой связи становится очевидной необходимость введения очередности переустройства.

Считая вопрос обоснования переустройства внутрихозяйственных гидромелиоративных систем в известной мере решенным — свидетельством тому могут служить качественные проекты специализированных институтов водохозяйственного профиля, тем не менее необходимо отметить, что за последние 20—25 лет практически ни в одном хозяйстве не был проведен весь комплекс по переустройству. В условиях действующего сельскохозяйственного производства с его напряженными плановыми заданиями для проведения строительных работ требуется выделение мелиоративных полей, что ведет к уменьшению посевных площадей и снижению валового урожая. К тому же после капитальной планировки земель требуется несколько лет для восстановления былого плодородия.



Однако пример недалекого прошлого показывает на возможность решения этой проблемы. В 50-х годах в период перевода земель на новую систему орошения в больших масштабах в республике проводилось укрупнение поливных участков, капитальная планировка, строительство и реконструкция каналов и коллекторно-дренажной сети, т. е. весь комплекс работ, предусматриваемый генеральными планами переустройства внутрихозяйственных гидромелиоративных систем.

В современных условиях, когда жизнь выдвигает новые проблемы — покрытие дефицита водных ресурсов, охрана окружающей среды и т. д., массовым работам по переустройству должно предшествовать изучение опыта переустройства в отдельных хозяйствах, типичных для каждого региона. В Узбекистане имеется ряд хозяйств, где работы по переустройству близятся к концу. В них предстоит изучить многие вопросы, связанные с организацией и технологией гидромелиоративных работ, фактической экономической эффективностью переустройства. Несомненно, что накопленный на примере этих хозяйств опыт, подкрепленный научно-методической основой, окажет большую помощь в решении важнейшей водохозяйственной проблемы аридной зоны страны — комплексного переустройства гидромелиоративных систем.



Приложение 1

Предельные расходы и экономичные скорости  
для асбестоцементных труб

| Диаметр<br>внутр.<br>услов.,<br>мм | $\Theta_1 = 0,0197$<br>$t_1 = 30$ сут.<br>$\beta_1 = 0,84 \cdot 10^{-9}$ |       | $\Theta_2 = 0,0394$<br>$t_2 = 60$ сут.<br>$\beta_2 = 1,682 \cdot 10^{-9}$ |       | $\Theta_3 = 0,059$<br>$t_3 = 90$ сут.<br>$\beta_3 = 2,523 \cdot 10^{-9}$ |       | $\Theta_4 = 0,118$<br>$t_4 = 180$ сут.<br>$\beta_4 = 5,046 \cdot 10^{-9}$ |       |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------|-------|
|                                    | мин.                                                                     | макс. | мин.                                                                      | макс. | мин.                                                                     | макс. | мин.                                                                      | макс. |
| 100                                |                                                                          | 23,5* |                                                                           | 18,5  |                                                                          | 16    |                                                                           | 12,6  |
| 100                                |                                                                          | 3,0   |                                                                           | 2,36  |                                                                          | 2,04  |                                                                           | 1,6   |
| 119                                | 23,5                                                                     | 36,6  | 18,5                                                                      | 28,5  | 16                                                                       | 25    | 12,6                                                                      | 19,6  |
| 125                                | 2,04                                                                     | 3,18  | 1,61                                                                      | 2,51  | 1,39                                                                     | 2,18  | 1,09                                                                      | 1,7   |
| 141                                | 36,6                                                                     | 59,6  | 28,8                                                                      | 47    | 25                                                                       | 40,8  | 19,6                                                                      | 32    |
| 150                                | 2,35                                                                     | 3,84  | 1,86                                                                      | 3,02  | 1,61                                                                     | 2,62  | 1,26                                                                      | 2,06  |
| 189                                | 59,6                                                                     | 110   | 47                                                                        | 85    | 40,8                                                                     | 74,5  | 32                                                                        | 57,8  |
| 200                                | 2,13                                                                     | 3,93  | 1,68                                                                      | 3,04  | 1,46                                                                     | 2,67  | 1,15                                                                      | 2,07  |
| 235                                | 110                                                                      | 170   | 85                                                                        | 133   | 74,5                                                                     | 117,5 | 57,8                                                                      | 91,3  |
| 250                                | 2,54                                                                     | 3,93  | 1,97                                                                      | 3,08  | 1,72                                                                     | 2,72  | 1,34                                                                      | 2,08  |
| 279                                | 170                                                                      | 245   | 133                                                                       | 195   | 117,5                                                                    | 170   | 91,3                                                                      | 132   |
| 300                                | 2,79                                                                     | 4,02  | 2,18                                                                      | 3,2   | 1,92                                                                     | 2,79  | 1,50                                                                      | 1,18  |
| 322                                | 245                                                                      | 355   | 195                                                                       | 276   | 170                                                                      | 240   | 132                                                                       | 191   |
| 350                                | 2,64                                                                     | 3,82  | 2,1                                                                       | 2,97  | 1,83                                                                     | 2,59  | 1,42                                                                      | 2,06  |
| 368                                | 355                                                                      | 468   | 276                                                                       | 363   | 240                                                                      | 316   | 191                                                                       | 248   |
| 400                                | 3,35                                                                     | 4,41  | 2,6                                                                       | 3,42  | 2,26                                                                     | 2,96  | 1,8                                                                       | 2,34  |
| 456                                | 468                                                                      | 831   | 363                                                                       | 645   | 316                                                                      | 562   | 248                                                                       | 437   |
| 500                                | 2,86                                                                     | 5,08  | 2,22                                                                      | 3,95  | 1,93                                                                     | 3,44  | 1,52                                                                      | 2,67  |
| 576                                | 831                                                                      | 1320  | 645                                                                       | 1025  | 562                                                                      | 891   | 437                                                                       | 700   |
| 600                                | 3,3                                                                      | 5,24  | 2,56                                                                      | 4,06  | 2,23                                                                     | 3,54  | 1,73                                                                      | 2,78  |
| 672                                | 1320                                                                     | 1860  | 1025                                                                      | 1412  | 891                                                                      | 1235  | 700                                                                       | 978   |
| 700                                | 3,74                                                                     | 5,27  | 2,9                                                                       | 4,0   | 2,53                                                                     | 3,5   | 1,98                                                                      | 2,77  |

\* В числителе — расход воды, л/с;  
В знаменателе — скорость потока, м/с.



## Предельные расходы и экономические скорости для стальных труб

| Диаметр<br>внутр.<br>условн.,<br>мм | $\mathfrak{D}_1 = 0,0353$<br>$t_1 = 30 \text{ сут.}$<br>$\beta_1 = 0,105 \cdot 10^{-8}$ |       | $\mathfrak{D}_2 = 0,0706$<br>$t_2 = 60 \text{ сут.}$<br>$\beta_2 = 0,21 \cdot 10^{-8}$ |       | $\mathfrak{D}_3 = 0,1059$<br>$t_3 = 90 \text{ сут.}$<br>$\beta_3 = 0,315 \cdot 10^{-8}$ |       | $\mathfrak{D}_4 = 0,2118$<br>$t_4 = 180 \text{ сут.}$<br>$\beta_4 = 0,63 \cdot 10^{-8}$ |       |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------|
|                                     | мин.                                                                                    | макс. | мин.                                                                                   | макс. | мин.                                                                                    | макс. | мин.                                                                                    | макс. |
| 105                                 |                                                                                         | 21,4  |                                                                                        | 17,1  |                                                                                         | 14,8  |                                                                                         | 11,7  |
| 100                                 |                                                                                         | 2,47  |                                                                                        | 1,97  |                                                                                         | 1,71  |                                                                                         | 1,35  |
| 125                                 | 21,4                                                                                    | 33,8  | 17,1                                                                                   | 26,6  | 14,8                                                                                    | 23,4  | 11,7                                                                                    | 18,5  |
| 125                                 | 1,75                                                                                    | 2,76  | 1,4                                                                                    | 2,17  | 1,28                                                                                    | 1,91  | 0,95                                                                                    | 1,51  |
| 147                                 | 33,8                                                                                    | 50,6  | 26,6                                                                                   | 39,8  | 23,4                                                                                    | 34,8  | 18,5                                                                                    | 27,6  |
| 150                                 | 2,0                                                                                     | 2,99  | 1,57                                                                                   | 2,35  | 1,38                                                                                    | 2,05  | 1,08                                                                                    | 1,63  |
| 173                                 | 50,6                                                                                    | 64,6  | 39,8                                                                                   | 51,2  | 34,8                                                                                    | 44,5  | 27,6                                                                                    | 35,1  |
| 175                                 | 2,19                                                                                    | 2,8   | 1,72                                                                                   | 2,21  | 1,50                                                                                    | 1,92  | 1,19                                                                                    | 1,52  |
| 198                                 | 64,6                                                                                    | 97,0  | 51,2                                                                                   | 74,2  | 44,5                                                                                    | 66    | 35,1                                                                                    | 52,4  |
| 200                                 | 2,1                                                                                     | 3,15  | 1,66                                                                                   | 2,41  | 1,44                                                                                    | 2,14  | 1,14                                                                                    | 1,7   |
| 224                                 | 97,0                                                                                    | 120   | 74,2                                                                                   | 95    | 66                                                                                      | 82,5  | 52,4                                                                                    | 66    |
| 225                                 | 2,46                                                                                    | 3,05  | 1,89                                                                                   | 2,41  | 1,68                                                                                    | 2,1   | 1,33                                                                                    | 1,68  |
| 252                                 | 120                                                                                     | 158   | 95                                                                                     | 124,4 | 82,5                                                                                    | 109   | 66                                                                                      | 85    |
| 250                                 | 2,41                                                                                    | 3,17  | 1,91                                                                                   | 2,5   | 1,65                                                                                    | 2,18  | 1,32                                                                                    | 1,70  |
| 278                                 | 158                                                                                     | 190   | 124,4                                                                                  | 151   | 109                                                                                     | 132   | 85                                                                                      | 105   |
| 275                                 | 2,6                                                                                     | 3,13  | 2,06                                                                                   | 2,5   | 1,8                                                                                     | 2,17  | 1,40                                                                                    | 1,73  |
| 305                                 | 190                                                                                     | 235   | 151                                                                                    | 186   | 132                                                                                     | 163   | 105                                                                                     | 132   |
| 300                                 | 2,6                                                                                     | 3,22  | 2,07                                                                                   | 2,54  | 1,80                                                                                    | 2,23  | 1,44                                                                                    | 1,81  |
| 331                                 | 235                                                                                     | 276   | 186                                                                                    | 219   | 163                                                                                     | 186   | 132                                                                                     | 148   |
| 325                                 | 2,73                                                                                    | 3,21  | 2,16                                                                                   | 2,55  | 1,90                                                                                    | 2,16  | 1,53                                                                                    | 1,74  |
| 357                                 | 276                                                                                     | 355   | 219                                                                                    | 282   | 186                                                                                     | 246   | 148                                                                                     | 192   |
| 350                                 | 2,76                                                                                    | 3,55  | 2,19                                                                                   | 2,82  | 1,86                                                                                    | 2,46  | 1,48                                                                                    | 1,92  |
| 406                                 | 355                                                                                     | 478   | 282                                                                                    | 380   | 246                                                                                     | 330   | 192                                                                                     | 257   |
| 400                                 | 2,76                                                                                    | 3,7   | 2,18                                                                                   | 2,94  | 1,9                                                                                     | 2,54  | 1,48                                                                                    | 1,98  |
| 458                                 | 478                                                                                     | 616   | 380                                                                                    | 484   | 330                                                                                     | 422   | 257                                                                                     | 335   |
| 450                                 | 2,9                                                                                     | 3,74  | 2,31                                                                                   | 2,93  | 2,0                                                                                     | 2,56  | 1,56                                                                                    | 2,04  |
| 509                                 | 616                                                                                     | 778   | 484                                                                                    | 624   | 422                                                                                     | 537   | 335                                                                                     | 428   |
| 500                                 | 3,03                                                                                    | 3,83  | 2,38                                                                                   | 3,04  | 2,08                                                                                    | 2,68  | 1,65                                                                                    | 2,11  |
| 610                                 | 778                                                                                     | 1175  | 624                                                                                    | 935   | 537                                                                                     | 812   | 428                                                                                     | 645   |
| 600                                 | 2,66                                                                                    | 4,02  | 2,14                                                                                   | 3,2   | 1,84                                                                                    | 2,79  | 1,47                                                                                    | 2,21  |
| 700                                 | 1175                                                                                    |       | 935                                                                                    |       | 812                                                                                     |       | 645                                                                                     |       |
| 700                                 | 3,05                                                                                    |       | 2,43                                                                                   |       | 2,11                                                                                    |       | 1,67                                                                                    |       |



**Предельные расходы и экономичные скорости  
для полиэтиленовых труб**

| Диаметр<br>внутр.<br>условн.,<br>мм | $\Xi_1 = 0,0139$<br>$t_1 = 30 \text{ сут.}$<br>$\beta_1 = 1,48 \cdot 10^{-9}$ |       | $\Xi_2 = 0,0278$<br>$t_2 = 60 \text{ сут.}$<br>$\beta_2 = 2,96 \cdot 10^{-9}$ |       | $\Xi_3 = 0,0417$<br>$t_3 = 90 \text{ сут.}$<br>$\beta_3 = 4,44 \cdot 10^{-9}$ |       | $\Xi_4 = 0,0834$<br>$t_4 = 180 \text{ сут.}$<br>$\beta_4 = 8,88 \cdot 10^{-9}$ |       |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------|-------|
|                                     | мин.                                                                          | макс. | мин.                                                                          | макс. | мин.                                                                          | макс. | мин.                                                                           | макс. |
| 97,4                                |                                                                               | 35,3  |                                                                               | 27,5  |                                                                               | 23,8  |                                                                                | 18,5  |
| 100                                 |                                                                               | 4,73  |                                                                               | 3,69  |                                                                               | 3,19  |                                                                                | 2,48  |
| 124                                 | 35,3                                                                          | 53,1  | 27,5                                                                          | 41,6  | 23,8                                                                          | 35,7  | 18,5                                                                           | 27,8  |
| 125                                 | 2,93                                                                          | 4,4   | 2,28                                                                          | 3,45  | 1,97                                                                          | 2,96  | 1,53                                                                           | 2,3   |
| 141,8                               | 53,1                                                                          | 88    | 41,6                                                                          | 69,2  | 35,7                                                                          | 59,5  | 27,8                                                                           | 46,5  |
| 150                                 | 3,36                                                                          | 5,58  | 2,64                                                                          | 4,39  | 2,26                                                                          | 3,77  | 1,76                                                                           | 2,94  |
| 199,4                               | 88                                                                            | 174   | 69,2                                                                          | 136   | 59,5                                                                          | 118   | 46,5                                                                           | 91,2  |
| 200                                 | 2,81                                                                          | 5,56  | 2,21                                                                          | 4,35  | 1,9                                                                           | 3,77  | 1,48                                                                           | 2,91  |
| 258,4                               | 174                                                                           | 276   | 136                                                                           | 214   | 118                                                                           | 186   | 91,2                                                                           | 144,5 |
| 250                                 | 3,32                                                                          | 5,26  | 2,6                                                                           | 4,1   | 2,26                                                                          | 3,55  | 1,74                                                                           | 2,76  |
| 290,6                               | 276                                                                           |       | 214                                                                           |       | 186                                                                           |       | 144,5                                                                          |       |
| 300                                 | 4,16                                                                          |       | 3,24                                                                          |       | 2,81                                                                          |       | 2,18                                                                           |       |



## ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы XXIV съезда КПСС.— М., Политиздат, 1971.
2. Материалы XXV съезда КПСС.— М., Политиздат, 1978.
3. Абрамов Н. Н. Теория и методика расчета систем подачи и распределения воды.— М., Стройиздат, 1972.
4. Гюнерберг К. Асбестоцементные напорные трубы.— М., Стройиздат, 1968.
5. Жуковский Н. Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах.— М.-Л., Гостехиздат, 1949.
6. Инструкция (методика) по определению экономической эффективности капитальных вложений в орошение и осушение земель и обводнение пастбищ.— М., 1972.
7. Кабаков М. М. и др. Производственные исследования на оросительных системах.— Фрунзе, 1961.
8. Каган Д. Ф. Исследование свойств и расчет полиэтиленовых труб, применяемых в водоснабжении.— М., Стройиздат, 1964.
9. Кашкадарьинская область. Ташкент: Т. I—II, Издание САГУ, 1959.
10. Кирсанов М. В. Экономический расчет водопроводных сетей.— М.-Л., Изд-во Минкомхоза РСФСР, 1949.
11. Костяков А. Н. Основы мелиорации.— М., Сельхозгиз, 1960.
12. Лактаев Н. Т. Полив хлопчатника.— М., Колос, 1978.
13. Мостков М. А. Гидравлический удар в гидроэлектрических станциях.— М.-Л., ГОНТИ НКТП СССР, 1938.
14. Мошин Л. Ф. Техничко-экономический расчет водопроводных сетей. Водоснабжение и санитарная техника, 1969, № 7.
15. Мошин Л. Ф. Применение ЭВМ для технико-экономического расчета водораспределительных сетей по методу фиктивных расходов. Водоснабжение и санитарная техника, 1975, № 5.
16. Овсянкин В. И. Железобетонные трубы для напорных водоводов.— М., Стройиздат, 1965.



17. Сури н А. А. Гидравлический удар в водопроводах борьба с ним.— М., Трансжелдориздат, 1946.
18. Указания по расчету стальных трубопроводов различного назначения. СН 373—67
19. Ф о м и н Г. Е. О гидравлическом ударе в длинных и коротких оросительных трубопроводах. Труды ВНИИМ и ТИ Коломна, 1972.
20. Чернышева М. Н., Писаренко А. Ф. Решение системы нелинейных уравнений. Вып. IV—38.— М.; Гипротис 1967.



## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Введение                                                                                                                                     | 3   |
| Реконструкция межхозяйственной сети и водохозяйственные мероприятия по повышению водообеспеченности орошаемых земель Кашкадарьинской области | 6   |
| Водохозяйственные основы переустройства внутрихозяйственных гидромелиоративных систем                                                        | 19  |
| Технико-экономическая эффективность капитальных вложений в переустройство внутрихозяйственных гидромелиоративных систем                      | 42  |
| Организация проектирования, строительства и финансирования переустройства внутрихозяйственных гидромелиоративных систем.                     | 49  |
| Техника и технологические схемы полива по бороздам                                                                                           | 63  |
| Технико-экономические основы выбора схем и конструкций совершенных закрытых оросительных систем (ЗОС)                                        | 85  |
| Расчет самотечно - напорной ЗОС.                                                                                                             | 89  |
| Выбор оптимальных параметров гидравлического комплекса «насосная станция — закрытая сеть»                                                    | 98  |
| Влияние неустановившегося потока воды в трубопроводах на конструкцию ЗОС.                                                                    | 112 |
| Заключение                                                                                                                                   | 142 |
| Литература                                                                                                                                   | 147 |



Хурсанд Ташевич Ташев,  
Герман Александрович Безбородов

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕУСТРОЙСТВА  
ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ**

Редактор *Р. Рахманова*  
Художник *Ю. Кученков*  
Худож. редактор *К. Алиев*  
Техн. редактор *С. Сабираева*  
Корректор *И. Гринцова*

ИБ № 2422

Сдано в набор 6.01. 1982г. Подписано в печать 26.05. 1982г. Р-01205, Формат 84×108 1/32. Бумага типографская, № 2 Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 7,92. Усл.-кр. отт. 8,19. Уч.-изд. л. 8,0. Тираж 2000. Заказ № 676 Цена 1 руб. 20 коп.

Издательство «Узбекистан». Договор № 427-80. Ташкент, 3-700129, Навои, 30.

Набрано в Ташполиграфкомбинате. Отпечатано в типографии № 1 Ташкентского полиграфического производственного объединения «Матбуот» Государственного комитета УзССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. Ташкент, Ж-700001, ул. Хамзы, 21.



**Т 25 Ташев Х., Безбородов Г.**

Технико-экономические основы переустройства гидромелиоративных систем.—Т.: Узбекистан, 1982.— 149 с.

И. Соавт.

ББК 65. 9 (2) 45  
333

№ 211—82  
Гос. б-ка УзССР  
им. А. Навои.

Т  $\frac{40201-189}{М 351 (04) 82}$  121—82 3802040100