

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО  
ХОЗЯЙСТВА СССР

СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ  
имени В. Д. ЖУРИНА (САНИИРИ)

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ИНСТИТУТ  
«СРЕДАЗГИПРОВОДХЛОПОК» имени А. А. САРКИСОВА

**В О П Р О С Ы**  
**ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТИ**  
**РАБОТЫ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ**  
**СИСТЕМ СРЕДНЕЙ АЗИИ**

Сборник научных трудов

Выпуск 8

Ташкент — 1977

626.8  
с-75

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО  
ХОЗЯЙСТВА СССР

Среднеазиатский ордена Трудового Красного Знамени  
научно-исследовательский институт ирригации  
имени В. Д. Журина (САНИИРИ)

Ордена Трудового Красного Знамени институт  
„Средазгипроводхлопок“ имени А. А. Саркисова

В О П Р О С Ы  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТИ  
РАБОТЫ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ  
СИСТЕМ СРЕДНЕЙ АЗИИ

Сборник научных трудов  
Выпуск 8



Ташкент—1977

В сборнике освещаются вопросы эффективности комплексного освоения целинных земель Узбекистана, усовершенствования техники полива, мелиорации засоленных земель, рассматриваются эффективные методы инженерных изысканий для обоснования водохозяйственного проектирования и строительства.

Материалы сборника могут быть использованы работниками научно-исследовательских и проектных институтов, а также в практике гидромелиоративного строительства.

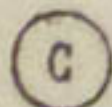
#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ф.А.Абуталиев, Н.М.Алавиев (ответственный за выпуск),  
В.И.Антонов, А.П.Воронов, Ф.П.Комарницкий, М.Х.Кондраков,  
Ф.Ш.Мухамеджанов, Б.Я.Нейман, Э.Л.Окулич-Козарин, Г.Н.Павлов,  
А.В.Петров, А.К.Пужко, К.А.Ракитин, Л.А.Фримерман, В.Р.Шредер,  
Ф.Я.Эйнгорн

Ответственный редактор А.А.Кадыров

Сборник подготовлен институтом "Средазгипроводхлопок"

По плану 1977 г.



Среднеазиатский научно-исследовательский институт  
ирригации имени В.Д.Журина "САННИРИ", 1977.

УДК 333.8:634.6

А.П.Воронов, нач.отдела

(Среднеазиатский хлопководческий институт)

И.Халиков, нач.отдела

(Министерство просвещения УзССР)

### НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ ЦЕЛИННЫХ ЗЕМЕЛЬ УЗБЕКИСТАНА

Разрабатывая актуальные проблемы аграрной политики на современном этапе развернутого коммунистического строительства, КПСС исходит из все более возрастающей роли сельскохозяйственного производства в экономике страны.

Сегодня свыше 50% сельскохозяйственной продукции используется как сырье в промышленности и других отраслях народного хозяйства. Сельское хозяйство является источником формирования значительной части социалистических накоплений и фондов народного потребления. Поэтому вопросы развития сельскохозяйственного производства перерастают чисто хозяйственные рамки и приобретают большое народнохозяйственное значение.

"Интересы советского народа, интересы коммунистического строительства требуют, чтобы у нас была не только мощная промышленность, но и высокоразвитое сельскохозяйственное производство, способное полностью обеспечить растущие потребности населения в продуктах питания, а промышленность в сырье"<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Л.И.Брежнев. Ленинским курсом. — В кн.: Речи и статьи. Т.2.М., Политиздат, 1973, стр.102.

Одним из главных направлений аграрной политики партии в наше время стала мелиорация земель.

Трудно переоценить значение ирригации и поливного земледелия для сельскохозяйственного производства Узбекской ССР.

"Орошение и мелиорация являются в республике основой всего сельскохозяйственного производства, главным фактором повышения плодородия почв и культуры земледелия, выращивания гарантированных высоких урожаев. Это — важнейшее направление и самый надежный путь интенсификации сельскохозяйственного производства, решения задач подъема хлопководства"<sup>1</sup>.

Узбекская ССР, занимая по территории пятое и по населению четвертое место в стране, находится по площади орошаемых земель на втором, после Российской Федерации, месте.

В настоящее время прирост орошаемых земель в республике только за один год составляет почти столько же, сколько было орошено за весь дореволюционный период в Средней Азии.

Узбекистан производит две трети всего валового сбора хлопка-сырца страны, значительную часть кенафа, риса, фруктов, винограда, продукции овощеводства и бахчеводства, которые идут не только на удовлетворение нужд населения республики, но и во всевозрастающих количествах поставляются в промышленные центры Европейской части СССР, бурно развивающиеся районы Сибири, Дальнего Востока и Крайнего Севера.

Крупномасштабность водохозяйственных мероприятий, комплексный подход к решению вопросов мелиорации, переход к строительству ирригационных и осушительных систем высокого инженерного класса индустриальными методами и с внедрением новейших достижений науки и техники — характерная черта современного этапа развития водного хозяйства.

Практическое воздействие мелиорации земель на весь ход социалистического строительства приобрело невиданный ранее характер, стало одним из главных факторов успешного осуществления народнохозяйственных задач.

---

<sup>1</sup> Ш. Рашидов. Ленинская национальная политика в действии. — "Коммунист", 1974, № 15, стр. 46.

Л.И. Брежнев, выступая на майском Пленуме ЦК КПСЗ, отмечая: "Из этого, казалось бы специального вопроса о мелиорации земель выявились крупные мероприятия государственного значения", подчеркивая при этом, что в недалеком будущем "... острота этой проблемы раскроется в еще большем многообразии и глубине..."<sup>1</sup>.

Эти слова Л.И. Брежнева подтверждаются анализом развития орошения и поливного земледелия Узбекистана за годы восьмой и девятой пятилеток.

За такой исключительно короткий исторический период в республике осуществлены значительные работы по вовлечению в аграрное производство дополнительных водных и земельных ресурсов, резко увеличилось производство сельскохозяйственной продукции на орошаемых землях.

Новые задачи и огромный объем водохозяйственных работ предопределили подъем научно-технического прогресса в ирригации до уровня, характерного для самых современных отраслей народного хозяйства страны.

За истекший период водное хозяйство Узбекской ССР достигло такого уровня развития, которое обеспечивает успешное ведение сельскохозяйственного производства в неблагоприятные годы.

Особенность нового этапа развития орошения и поливного земледелия в республике состоит в том, что с ним связано развертывание в громадных масштабах работ по комплексному освоению крупных пустынных массивов земель, имеющих большое не только экономическое, но и социальное значение.

Как известно, такие работы, впервые в мировой практике, начались в конце 50-х-начале 60-х гг. на территории новой зоны орошения Голодной степи с целью создания здесь крупного аграрно-промышленного района.

При этом ставилась принципиально новая задача — построить такую оросительную систему, которая позволит довести до максимума уровень интенсификации сельскохозяйственного производства.

<sup>1</sup> Л.И. Брежнев. Ленинским курсом. — В кн.: Газы и статьи. Т. I. М., Политиздат, 1973, стр. 411.

в результате чего должны быть обеспечены условия труда и быта сельских тружеников, которые мало чем бы отличались от городских.

Сложившаяся практика орошения и освоения земель, применявшаяся до этого в обжитых районах, при намечавшихся масштабах работ была неприемлема. Потребовалось разработать принципиально новые методы и способы ведения водохозяйственного строительства и освоения земель.

Суть их сводится к тому, что выполнение всего комплекса работ по орошению и освоению целинных земель должна осуществлять единая строительно-освоенческая организация, в которой концентрируются материальные и трудовые ресурсы, необходимые для достижения следующих задач: создание баз строительной индустрии, ремонтных и других промышленных предприятий; строительство железнодорожных линий, автомобильных дорог, систем газо-, водо- и электроснабжения, связи, оросительных систем, совхозных поселков и др.; организация временной эксплуатации вводимых объектов включая ирригационно подготовленные земли.

Так родился комплексный метод орошения и освоения земель, означавший принципиально новый этап в освоении крупных массивов пустынной территории.

Этот метод строительства и освоения земель в последнее десятилетие получил дальнейшее развитие в Каршинской, Джизакской, Сурхан-Шерабадской степях и на иных целинных объектах Узбекистана, а также в Казахстане, Туркмении и других союзных республиках.

Небывалый размах работ по комплексному строительству и освоению земель predetermined широкий научный и технический поиск, приведший к созданию новых типов строительных, дренажных и бетоноукладочных машин, механизмов по очистке закрытого горизонтального дренажа и другой техники, способствовавшей значительному росту производительности труда и улучшению качества водохозяйственных, строительных и эксплуатационных работ.

Осуществление мероприятий по комплексному строительству и освоению земель позволило приступить к созданию оросительных систем нового типа, с коэффициентом полезного действия 0,80-0,85, коэффициентом земельного использования в сельском

хозяйстве до 0,90, оптимальным водно-воздушным и водно-солевым режимом почвогрунтов. На таких системах имеются все возможности для внедрения наиболее прогрессивных и эффективных способов полива сельскохозяйственных культур и агротехники их возделывания.

Как показывает анализ практических результатов сельскохозяйственного производства в Голодной степи за годы восьмой и девятой пятилеток, комплексное строительство и освоение земель позволит достичь высокой экономической эффективности капиталовложений. Достаточно отметить, что здесь на каждый рубль капитальных вложений в восьмой пятилетке получено 0,62 руб. совокупного чистого дохода, а в девятой пятилетке — уже 1,73 руб.

Резко возросло в Голодной степи производство хлопка-сырца и другой сельскохозяйственной продукции. Так, с начала освоения целинных земель, т.е. с 1961г., здесь получено 2,3 млн.т хлопка-сырца, в том числе за годы девятой пятилетки 1,66 млн.т. В несколько раз возросло производство зерна, бахчево-овощной и животноводческой продукции.

Говоря о народнохозяйственном значении освоения Голодной степи, необходимо отметить, что орошение этих земель способствует ускорению темпов развития производительных сил Узбекской ССР, так как близко расположенная к Ферганской и Зарафшанской долинам, Голодная степь в значительной мере поглощает рабочую силу Ферганской, Андижанской, Наманганской и Самаркандской областей, освобождающуюся в результате роста производительности труда в сельском хозяйстве этих областей. Кроме того, создание нового экономического района в Голодной степи ускоряет темпы роста валового национального продукта и национального дохода республики. Так, по узбекской части Голодной степи объем валовой продукции промышленного, строительного и сельскохозяйственного производства достиг в 1975 г. 370 млн.руб.

Разработка и внедрение комплекса мероприятий по водохозяйственному строительству и мелиоративному освоению целинных земель Голодной степи способствовали комплексному развитию народного хозяйства ряда областей Узбекистана. Наиболее ярко это иллюстрирует развитие в последнее десятилетие производительных

сия Сырдарьинской области.

Площадь орошаемых земель по области в современных границах выросла до 210 тыс.га, или удвоилась против 1956г., а производство хлопка-сырца увеличилось со 140 тыс.т до 314 тыс.т в 1975г., или более чем в 2,2 раза. На базе производимой сельскохозяйственной продукции построены или строятся десятки новых предприятий обрабатывающей, легкой и пищевой промышленности. Речь, по сути дела, идет о создании и развитии совершенно нового многоотраслевого народнохозяйственного комплекса Сырдарьинской области. Рост сельскохозяйственного и промышленного производства стимулировал строительство крупной энергетической базы — Сырдарьинской ГРЭС проектной мощностью 4,4 млн.кВт.

Население Сырдарьинской области растет высокими темпами. Его численность в 1975г. составила 405 тыс.чел. Возникли новые крупные промышленные, административные и культурные центры (г.Ширин, Янгиер, Сырдарья и т.д.).

С орошением Голодной степи были созданы предпосылки для организации новой крупной административно-хозяйственной единицы — Джизакской области с территорией 20,3 тыс.км<sup>2</sup> и принципиально новой инфраструктурой, обеспечивающей дальнейшее гармоничное развитие производительных сил, неуклонное повышение материального благосостояния населения и его духовный рост.

До недавнего прошлого огромный массив новой области представлял собой в основном малопродуктивную богарную пашню и пустынно-степные пастбища. К 1961г. на территории созданной области орошалось немногим более 20 тыс.га и собиралось 35-40 тыс.т хлопка.

В результате осуществления мероприятий по освоению Голодной степи площадь орошаемых земель в 1975г. в Джизакской области выросла до 144 тыс.га, посевы хлопчатника — до 110 тыс.га, а валовой сбор хлопка — до 254 тыс.т, или более чем в 6,2 раза против 1961 г. Значительно увеличилось производство овощей, фруктов, кормов и другой продукции сельского хозяйства.

Еще большие перспективы открываются перед областью с освоением 150 тыс.га новых земель Джизакской степи.

В недалекой перспективе Джизакская область станет одним из крупнейших в республике производителей хлопка, зерна, мяса и другой продукции. Ее население пополнится переселенцами из Ферганской, Андижанской, Наманганской и других густонаселенных областей республики. По уровню технической оснащенности оросительных систем, производительности труда в сельском хозяйстве и другим показателям интенсификации сельскохозяйственного производства область станет одним из наиболее передовых экономических районов не только в Узбекистане, но и в целом по хлопководческой зоне страны.

Опыт орошения Голодной степи и создание здесь нового экономического района с развитой инфраструктурой позволили приступить к выполнению еще более сложной и масштабной задачи — освоению Каршинской степи, расположенной на юге Узбекистана, в Кашкарьинской области.

Общая площадь земель Каршинской степи, пригодных к орошению, составляет свыше 900 тыс. га.

Орошение этого огромного пустынного массива связано с решением сложной технической задачи — машинного подъема больших расходов воды из Амударьи на большую высоту.

В 1975 г. эта задача успешно решена — был дан в эксплуатацию уникальный Каршинский магистральный канал, обеспечивающий оросительной водой I очередь освоения на площади 200 тыс. га.

Уже сегодня ощутимы результаты освоения Каршинской степи. Введено 76 тыс. га новых орошаемых земель, а производство хлопка-сырца в 1975 г. на территории I очереди достигло 110 тыс. т. В ближайшей же перспективе здесь будет организовано 32 новых хлопководческих и других совхоза, создано 4 новых административных района.

На территории Каршинской степи в больших масштабах ведется строительство школ, жилья, детских садов, производственно-хозяйственных центров, бригадных станков, животноводческих ферм, автомобильных дорог, линий электропередач и т.д.

Стройки Каршинской степи осуществляются индустриальным методом, т.е. с высокой степенью заводской готовности строи-

тельных конструкций и деталей. В г.Карши построен крупнейший в республике комбинат строительных конструкций и деталей.

В перспективе, по завершении всех работ в Каршинской степи, будет производиться свыше 1,3 млн.т хлопка-сырца, в том числе около 0,6 млн.т ценнейших тонковолокнистых сортов, 350 тыс.т зерна и другая сельскохозяйственная продукция. Орошение Каршинской степи позволит организовать здесь 23 новых административных сельских района со средней площадью орошаемых земель 35,0 тыс.га, выделить из состава Кашкадарьинской две новые области с соответствующими административными, хозяйственными и культурными центрами и развитой инфраструктурой.

Для этого в Каршинской степи уже сейчас существуют определенные предпосылки. Так, в частности, идет формирование нового аграрно-промышленного комплекса, развиваются города Талимарджан, Касан, Мубарек и другие, возникшие в последние десятилетия, созданы новые отрасли промышленности и транспортная сеть.

Таким образом, комплексное освоение пустынных районов аридной зоны, как это видно на примере Голодной, Джизакской и Каршинской степей, ведет к коренным изменениям экономических и социальных основ жизни, обеспечивает ускоренный рост производительных сил.

Комплексное освоение целинных земель создает все предпосылки для роста общей культуры производства и связанных с этим коренных экономических и социальных преобразований, имеющих большое народнохозяйственное значение.

Так, в настоящее время удельный вес новых целинных районов комплексного освоения в производстве хлопка по республике превысил 40%, а по рису 55%.

Целинные земли комплексного освоения отличаются высоким уровнем индустриализации всех сфер производства, включая и сельское хозяйство, а также высоким материальным и культурным уровнем жизни строителей и освоителей целинных земель.

Только в Голодной и Каршинской степях и в низовьях Каракалпакки в новых совхозах к концу девятой пятилетки было построено 3,2 млн.м<sup>2</sup> благоустроенного жилья, школ на 39,4 тыс. мест и много других объектов культурно-бытового и коммунального назначения.

Комплексное освоение целинных земель за последние десять лет позволило выявить и проверить на практике наиболее рациональные и эффективные пути дальнейшего создания новых высоко-развитых экономических районов на пустынных территориях.

УДК 627.8

К.А.Ракитин, нач.отдела  
(Средазгипроводхлопок)

### РОЛЬ ВОДОХРАНИЛИЩ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ В УСЛОВИЯХ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СРЕДНЕЙ АЗИИ

Водное хозяйство Средней Азии на современном этапе развития характеризуется наличием сложных водохозяйственных систем, обслуживающих различных водопотребителей, которые предъявляют свои, часто противоречивые требования к водотокам. В условиях комплексного, т.е. многоцелевого и многократного, использования речного стока, с характерной неравномерностью распределения его во времени, одним из основных элементов водохозяйственной системы являются водохранилища.

Водные ресурсы среднеазиатских рек оцениваются в объеме около  $127 \text{ км}^3$  по году средней водности и  $95 \text{ км}^3$  по маловодному, 90%-ной обеспеченности. По основным водным бассейнам они распределяются следующим образом: бассейн Амударьи —  $79,5 \text{ км}^3$ ; бассейн Сырдарьи —  $37,2 \text{ км}^3$ ; прочие бассейны (бессточные) —  $10,2 \text{ км}^3$ .

Эти объемы воды, по существу являющиеся теоретическими потенциальными запасами, следует рассматривать только как учтенный речной сток (см.ниже).

Гидрографическая система Средней Азии представлена рядом разобщенных, самостоятельных речных бассейнов: Амударьи, Сырдарьи, Чу, Таласа и др. Важнейшие водотоки — Амударья и Сырдарья. На их стоке, главным образом, базируется развитие водного хозяйства региона.

Все среднеазиатские реки имеют преимущественно снегово-ледниковое питание с соответствующим гидрологическим режимом.

Наиболее крупным по площади и водоносности является бассейн Амударьи. Он включает водотоки, формирующие сток Амударьи, и бессточные реки с самостоятельными бассейнами (Зарафшан, Карадарья, Мургаб, Теджен, Атрек и др.).

Сток Амударьи формируется, в основном, водами Вахша и Пянджа. В соответствии с условиями питания наибольшие расходы наблюдаются в июне-августе, минимальные — в декабре-марте. Для годового стока Амударьи характерна цикличность чередования лет разной водности: маловодные годы наступают через 4-6 лет, многоводные — через 6-10 лет. При этом наблюдаются затяжные маловодные периоды продолжительностью до 5 лет, что вызывает перебои и значительные сложности в водообеспечении даже в условиях зарегулированного стока.

В гидрографическую систему бассейна Амударьи входят многочисленные мелкие водотоки (Мургаб, Теджен, Атрек, Хульм, Балхаб и др.), сток которых формируется за пределами Советского Союза и уже в современных условиях почти полностью используется на орошение. Их сток (около  $5 \text{ км}^3$ ) входит в учтенные водные ресурсы, но он не может быть гарантирован к использованию в народном хозяйстве нашей страны.

Естественное внутригодовое распределение и колебания стока Амударьи по годам не обеспечивают гарантированного покрытия гидрографа водопотребления на орошение.

Второе место по водоносности в Средней Азии занимает бассейн Сырдарьи, ресурсы которого включают сток Нарына, Карадарьи, Чирчика, Ангрена, Келеса (ЧАКИР), рек Ферганской долины и др. и оцениваются в  $37,2 \text{ км}^3$ .

Сырдарья образуется от слияния Нарына и Карадарьи, и в верховьях ее режим близок к режиму рек снегово-ледникового питания: маловодный период октябрь-март, наибольшие расходы в июне-июле. Ниже по течению гидрограф несколько сглаживается.

Хронологический график колебания годовых расходов Сырдарьи показывает цикличность чередования маловодных и многоводных лет. Маловодные периоды продолжительностью 4-5 лет наступают через 2-5 лет, многоводные чаще бывают единичными. Внутригодовое рас-

пределение стока неблагоприятно для ирригации.

К северо-востоку от бассейна Сырдарьи расположены бессточные речные бассейны с суммарным стоком  $10,2 \text{ км}^3$ . Основные водотоки здесь — Чу, Талас, Асса (сток  $5,8 \text{ км}^3$ ). Внутригодовое распределение их стока крайне неблагоприятно для использования, и в современных условиях обеспеченность водоотдачи довольно низкая.

Развитие народного хозяйства Средней Азии полностью базируется на использовании водных ресурсов. Основной водопотребитель как на современном этапе, так и в перспективе, — орошаемое земледелие.

Самый крупный район орошаемого земледелия в Союзе, основная хлопковая база страны, Средняя Азия имеет большие потенциальные возможности для дальнейшего широкого роста орошаемых площадей и всемерного увеличения объемов производства сельскохозяйственной продукции. В соответствии с общегосударственными интересами страны и внутренними потребностями среднеазиатских республик, общую площадь орошения в данном регионе намечается в течение 15 лет (1976–1990 гг.) увеличить в 1,5 раза.

Значительные требования к объему водотоков и к режиму стока предъявляют также промышленность, коммунальное хозяйство, гидроэнергетика и рыбное хозяйство.

Несоответствие внутригодового распределения речного стока и гидрографа водопотребления при комплексном использовании воды, стабильная цикличность лет разной водности при острых дефицитах в маловодные периоды предопределяют необходимость регулирования стока среднеазиатских рек как в сезонном, так и многолетнем разрезе.

Регулирование речного стока водохранилищами, изменяя его режим в соответствии с требованиями водопотребителей, обеспечивает наиболее эффективное и полное использование водных ресурсов региона и является самым радикальным способом удовлетворения непрерывно возрастающих потребностей народного хозяйства Средней Азии в воде в период до 1990–1995 гг.

Для устранения диспропорций между водными ресурсами и требованиями к ним потребителей в Средней Азии с 40-х гг. проводят-

ся мероприятия по регулированию речного стока — сооружение водохранилищ, строительство которых в последние 40–45 лет достигло значительных масштабов.

Все крупные русловые водохранилища проектируются и сооружаются как комплексные, с ирригационно-энергетическим режимом работы.

Однако в современных условиях баланс почти всех водисточников Средней Азии очень напряженный, по многим рекам отмечается дефицит стока в маловодные годы, а по отдельным и в средневодные. В 1975–1976 гг. расчетная обеспеченность водоотдачи не превышала 75%, что объясняется, в основном, низкой зарегулированностью речного стока (суммарная полезная емкость всех водохранилищ составляет только 45 км<sup>3</sup>).

Получение максимальной водоотдачи источников с достаточно высокой гарантией возможно только при глубоком многолетнем регулировании речного стока. В условиях водного хозяйства Средней Азии для удовлетворения требований водопотребителей необходимо в период 1980–1990 гг. осуществить полное зарегулирование стока всех водотоков. При этом суммарную полезную емкость водохранилищ следует довести до 50 км<sup>3</sup>, т.е. увеличить почти в три раза.

Предельная водоотдача всех среднеазиатских рек при достаточно глубоком зарегулировании их стока составляет 404,2 км<sup>3</sup>. Объем располагаемых водных ресурсов, установленный с учетом обязательных затрат и неизбежных потерь речного стока (санитарные попуски, экстремальные сливы, потери на испарение, водоотборы зарубежными потребителями и др.), т.е. объем водного стока, гарантированный к использованию в народном хозяйстве Средней Азии, составляет 94–92 км<sup>3</sup> (табл. I). При планировании водохозяйственных мероприятий в регионе следует ориентироваться только на этот объем водных ресурсов.

Общая схема регулирования стока основных рек Средней Азии выглядит так.

На Амударье нет действующих русловых водохранилищ и ее сток используется в естественном режиме, что отрицательно сказывается на обеспеченности водопотребления.

Водные ресурсы Средней Азии (км<sup>3</sup>)

| Бассейн. Река                  | Средне-<br>много-<br>летний<br>сток | Зарегу-<br>лирован-<br>ный сток<br>с 90%-ной<br>гарантией | Неизбеж-<br>ные за-<br>траты и<br>потери<br>стока | Сток, га-<br>рантиро-<br>ванный и<br>исполь-<br>зованию |
|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Бассейн Амударьи               | 79,5                                | 65,9                                                      | 9,2                                               | 56,7                                                    |
| в том числе Амударьи           | 68,1                                | 59,9                                                      | 8,9                                               | 51,0                                                    |
| Бассейн Сырдарьи               | 37,2                                | 33,2                                                      | 3,6                                               | 29,6                                                    |
| в том числе Сырдарьи           | 33,8                                | 31,1                                                      | 3,6                                               | 27,5                                                    |
| Восточные бассейны             | 10,2                                | 5,1                                                       | 0,1                                               | 5,0                                                     |
| в том числе Чу, Талас,<br>Асса | 5,8                                 | 5,1                                                       | 0,1                                               | 5,0                                                     |
| Всего по Средней Азии          | 126,9                               | 104,2                                                     | 12,9                                              | 91,3                                                    |

В настоящее время в бассейне ведется сооружение двух круп-  
ных русловых водохранилищ: Нурекского на Вахше (полезная ем-  
кость 4,5 км<sup>3</sup>) и Таямунского на Амударье (5,2 км<sup>3</sup>), которые  
станут основными элементами комплексного использования водных  
ресурсов Амударьи. Ввод этих водохранилищ, работающих в со-  
вместном режиме, обеспечит полное сезонное регулирование стока  
Амударьи, что позволит удовлетворить требования водопотребите-  
лей с достаточно высокой гарантией в период до 1985 г.

В дальнейшем необходимо осуществить глубокое многолетнее  
регулирование амударьинского стока, что обеспечивается вводом  
верхового Рогунского водохранилища (полезная емкость 8,6 км<sup>3</sup>),  
обладающего широкими возможностями компенсирующего регулирова-

ния. Суммарная полезная емкость русловых водохранилищ в бассей-  
не Амударьи составит 18 км<sup>3</sup>, что обеспечит гарантированную во-  
доподачу 59,9 км<sup>3</sup> при коэффициенте зарегулированности 0,92.

Бассейн Сырдарьи — высокоразвитый и наиболее сложный в во-  
дохозяйственном отношении район Средней Азии, где построены и  
строятся русловые водохранилища, которые позволяют полностью  
использовать водные ресурсы. Из действующих крупнейшие — Кай-  
раккунское (полезная емкость 2,5 км<sup>3</sup>) и Чардаринское (4,7 км<sup>3</sup>).

Они регулируют сезонный сток. Ведется строительство Тоиктогуль-ского водохранилища на Нарыне ( $14,0 \text{ км}^3$ ), Андижанского на Карадарье ( $1,6 \text{ км}^3$ ) и Чарвакского водохранилища на Чирчике ( $1,6 \text{ км}^3$ ), ввод которых в 1975–1980 гг. обеспечит многолетнее регулирование стока Сырдарьи.

По завершении строительства регулирующих сооружений общая полезная емкость всех водохранилищ в бассейне Сырдарьи достигнет  $26 \text{ км}^3$ , что позволит к 1980 г. почти полностью использовать водные ресурсы бассейна. При этом гарантированная отдача стока составит порядка  $31 \text{ км}^3$ .

В табл. 2 представлена общая схема регулирования водотоков Средней Азии.

В целом по региону водохозяйственный эффект, или дополнительный сток, полученный за счет полного регулирования среднеазиатских рек водохранилищами, составит около  $56 \text{ км}^3$ . Эффективность сезонного регулирования определяется в  $40 \text{ км}^3$ .

Кроме русловых водохранилищ на реках, намечено создание внутрисистемных наливных водохранилищ суммарной полезной емкостью  $5,4 \text{ км}^3$  к 1985 г. и  $8,0 \text{ км}^3$  – в перспективе. Сооружение их будет способствовать более эффективному использованию водных ресурсов и повышению гарантии водоподачи в системы.

Таблица 2

Схема регулирования стока рек Средней Азии ( $\text{км}^3$ )

| Наименование            | Расчетный уровень |         |         |
|-------------------------|-------------------|---------|---------|
|                         | 1980 г.           | 1985 г. | 1990 г. |
| <u>Бассейн Амударьи</u> |                   |         |         |
| Суммарная емкость       | 12,0              | 12,1    | 21,1    |
| Гарантированный сток    | 57,4              | 57,8    | 65,9    |
| В том числе Амударья    |                   |         |         |
| Суммарная емкость       | 9,7               | 9,7     | 18,1    |
| Гарантированный сток    | 52,2              | 52,2    | 59,9    |
| <u>Бассейн Сырдарьи</u> |                   |         |         |
| Суммарная емкость       | 26,3              | 26,3    | 26,3    |
| Гарантированный сток    | 33,2              | 33,2    | 33,2    |

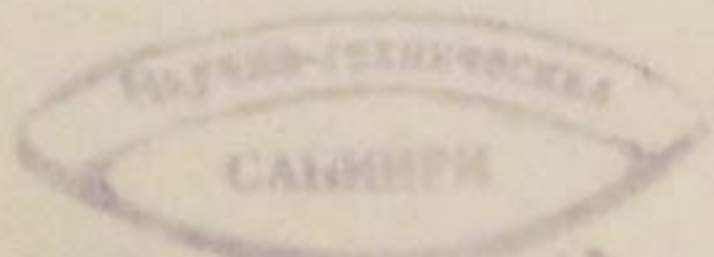
| Наименование                            | Расчетный уровень |        |        |
|-----------------------------------------|-------------------|--------|--------|
|                                         | 1980г.            | 1985г. | 1990г. |
| В том числе Сырдарья                    |                   |        |        |
| Суммарная емкость                       | 21,2              | 21,2   | 21,2   |
| Гарантированный сток                    | 31,1              | 31,1   | 31,1   |
| <u>Бассейны бессточных рек</u>          |                   |        |        |
| (Чу, Талас)                             |                   |        |        |
| Суммарная емкость                       | 0,9               | 1,8    | 2,1    |
| Гарантированный сток                    | 4,6               | 4,9    | 5,1    |
| Всего                                   |                   |        |        |
| Суммарная полезная емкость водохранилищ | 39,2              | 40,2   | 49,5   |
| Гарантированная отдача                  | 95,2              | 95,2   | 104,2  |

Регулирование стока среднеазиатских рек выдвигает специфическую для региона проблему рациональной увязки противоречивых интересов ирригации и энергетики, объясняемых различными режимными требованиями этих отраслей к водотокам.

Решение этой задачи имеет очень важное значение в условиях маловодных периодов, особенно для бассейна Сырдарьи, где в настоящее время сложилась напряженная водохозяйственная обстановка в связи с проблемой заполнения Токтогульского водохранилища.

Расчеты институтов "Средазгипроводхлопок" и "Средазгидропроект" показывают, что при сохранении существующих требований потребителей на воду в бассейне, а тем более при их планируемом увеличении, Токтогульское водохранилище в годы средней и ниже водности заполнено быть не может.

Вместе с тем в условиях постоянной напряженности водного баланса, усугубляемой несвоевременным вводом ряда регулирующих гидроузлов, необходимо рассмотреть вопрос о повышении степени водообеспеченности потребителей и отдачи водохранилищ за счет более рациональной их работы и возможности периодического использования их мертвых объемов. Основные водохранилища Средней Азии, особенно с емкостями многолетнего регулирования, являются высоконапорными и имеют значительные мертвые объемы. Так,



мертвый объем строящегося Токтогульского водохранилища  $5 \text{ км}^3$ , Нурекского —  $6 \text{ км}^3$ , проектируемого Рогунского —  $3 \text{ км}^3$ . Даже низконапорное Кайраккумское водохранилище имеет  $1,6 \text{ км}^3$  мертвого объема. Заполнение этих объемов, особенно в периоды низкой водности, требует длительного времени.

Однако отсутствие на ряде гидроузлов регулируемых донных водовыпусков исключает возможность использования таких запасов воды даже в случае острой необходимости. По этой причине в остромаловодный период 1973–1974 гг. не были обеспечены потребности полуски по Нарыну, что заставило применить крайние аварийные меры на Токтогульском гидроузле.

Не вдаваясь в данной статье в сопоставительные оценки возможных ущербов, представляется бесспорным, что в сложных условиях водохозяйственного баланса Средней Азии значительные мертвые объемы водохранилищ должны рассматриваться как стратегический водный резерв для критических маловодных периодов. Необходимо в сжатые сроки разработать схему регулирования стока Амударьи и Сырдарьи в реально сложившихся условиях, установив разумные пределы сработки полных объемов основных водохранилищ с учетом возможности их последующего наполнения.

Очевидно, периодическая сработка мертвых объемов комплексных водохранилищ (или части объемов) приведет к появлению на отдельных этапах энергодефицитов, в связи с чем существующие энергетические балансы требуют корректировки в части снижения расчетной отдачи ГЭС и установления дополнительных энергоисточников.

К 1990 г. собственные водные ресурсы Средней Азии будут практически полностью исчерпаны. В общей схеме мероприятий по переброске части стока сибирских рек в бассейн Аральского моря значительна роль среднеазиатских водохранилищ. Сибирскую воду намечается подать в Чардаринское (бассейн Сырдарьи) и Тюнмунское (бассейн Амударьи) водохранилища, емкости которых будут использоваться для ее перерегулирования.

В бассейне Амударьи к 2000 г. (после очередь переброски) сибирской водой намечается обеспечить всю зону командования Тюнмунского водохранилища, а его емкость полностью использовать для перерегулирования сибирского стока. Для сохранения общей

схемы регулирования стока Амударьи, т.е. суммарной полезной емкости, в верхней или средней части бассейна и этому периоду необходимо создать новое водохранилище емкостью около 6 км<sup>3</sup>.

В бассейне Сырдарьи сибирская вода на покрытие дефицита приводится до створа Яныкургана. Чардаринское водохранилище в этих условиях "загружено" собственным стоком и практически не имеет свободной емкости. Вместе с тем это водохранилище является основным ключевым пунктом водораспределения для районов нижнего и частично среднего течения Сырдарьи и, безусловно, должно быть включено в общую водохозяйственную систему подачи сибирского стока для обеспечения рационального перераспределения всех водных ресурсов района, включая и сибирскую воду.

Оптимизационными расчетами, выполненными в Средазгипроводхлопке (отдел перспективного проектирования), доказана возможность и целесообразность использования части емкости Чардаринского водохранилища для перерегулирования сибирского стока. Полученный режим работы водохранилища позволит обеспечить минимальные расчетные расходы и равномерность водоподачи по каналу переброски, а также значительно улучшить качество воды на водозаборах.

На современном этапе, в условиях напряженного водного баланса Средней Азии, при стабильной цикличности затяжных маловодных периодов на реках, необходимо форсировать ввод основных русловых водохранилищ, установив наиболее рациональные режимы их эксплуатации, чтобы не допустить возможных срывов и глубоких провалов в работе комплексных водохозяйственных систем региона.

УДК 634.6:634.4

Н.Р.Хамраев, канд.техн.наук,  
начальник Главсредазирсовхоз-  
строя

#### О ВОЗМОЖНОЙ АЛЬТЕРНАТИВЕ ПОВЕРХНОСТНЫМ СПОСОБАМ ПОЛИВА

Мартовский (1965г.) Пленум ЦК КПСС выработал основы аграрной политики партии на современном этапе, подчеркнув значение мелиорации как одного из главных направлений интенсификации сельскохозяйственного производства. В общем плане мелиорации важней-

шая роль отводится орошению, о значении которого можно судить по тому факту, что свыше 50% всей мировой сельскохозяйственной продукции дают орошаемые земли, составляющие лишь 16% обрабатываемых площадей [1].

Развитие орошения зависит от наличия пригодных для этой цели водных запасов. Советский Союз располагает богатыми водными ресурсами. Объем ежегодно возобновляемого среднемноголетнего речного стока в СССР превышает  $4500 \text{ км}^3$  в год, но естественное распределение водных ресурсов по территории страны крайне неравномерно и неблагоприятно для народного хозяйства, особенно для сельского с его большим безвозвратным водопотреблением на орошаемое земледелие. В частности, в среднеазиатском регионе, обладающем значительным фондом свободных земель и благоприятными агроклиматическими условиями, распределение речного стока чрезвычайно неравномерно.

Согласно подсчетам Средазгипроводхлопка, водные ресурсы рек бассейна Амударьи в год средней водности равны  $79,5 \text{ км}^3$ , бассейна Сырдарьи —  $37,2 \text{ км}^3$  и прочих бессточных бассейнов —  $10,2 \text{ км}^3$ . Таким образом, общие потенциальные водные запасы среднеазиатских рек составляют около  $127 \text{ км}^3$  по году средней водности.

Между тем среднеазиатский регион, в котором уже сейчас сосредоточено более 50% поливных земель страны и выращивается примерно 95% хлопка-сырца, в том числе 100% тонковолокнистых сортов, 40% риса и свыше 30% общесоюзного производства фруктов и винограда, располагает большими потенциальными возможностями для дальнейшего увеличения производства сельскохозяйственной продукции, и в первую очередь хлопка-сырца.

Общий фонд пригодных для орошения земель в регионе — 58,1 млн. га (в том числе в бассейне рек Сырдарьи и Амударьи около 35 млн. га), из которых в настоящее время орошается около 5 млн. га. В соответствии с общегосударственными интересами и внутренними потребностями среднеазиатских республик намечается к 1990г. увеличить орошаемую площадь в 1,5 раза.

Увеличение орошаемых площадей сопровождается ростом безвозвратного водопотребления и, следовательно, уменьшением речного

стока. Например, сток Сырдарьи в створе Бекабада к 1985г. составит лишь  $14,6 \text{ км}^3$ , что соответствует 80% теперешнего стока в этом створе [2]. Сооружение Каршинского магистрального канала с водозабором из Амударьи  $350 \text{ м}^3/\text{с}$  и продолжение строительства Каракумского канала приведет к сокращению стока в средней и нижнем течении Амударьи.

Уже к настоящему времени общий водозабор из среднеазиатских рек составляет около  $100 \text{ млн. км}^3$ , в том числе на нужды орошаемого земледелия  $95 \text{ млн. км}^3$ , или 75% учтенных водных ресурсов.

На базе собственных водных запасов Средней Азии возможно орошение лишь около 15% пригодных для этой цели земель, т.е. порядка 10 млн.га, но и в этом случае водные ресурсы рек бассейна Сырдарьи к 1985г., а Амударьи к 1990г. полностью иссякнут.

Кардинальное решение проблемы устранения дефицита поливной воды может быть достигнуто за счет переброски части стока сибирских рек в бассейн Аральского моря, осуществленной в рамках единой государственной системы регулирования и межбассейнового перераспределения водных ресурсов [3].

Поскольку подобный проект, не имеющий прецедента в мировой практике, потребует немалых капитальных вложений, стоимость оросительной воды значительно возрастет. Это обстоятельство настоятельно диктует необходимость изыскивать возможности экономного расходования воды на базе реконструкции оросительной сети, строительства эффективных дренажных систем, повышения коэффициента земельного использования, внедрения АСУ.

Особо актуальной представляется рационализация режима орошения хлопчатника и других сельскохозяйственных культур на основе использования результатов комплексных исследований структуры, водного, солевого, теплового и питательного балансов зоны аэрации, а также дифференцированного перехода на новые, прогрессивные способы полива.

В работе [4] рассматриваются пять основных способов полива: поверхностное орошение, дождевание, мелкодисперсное увлажнение, внутрипочвенное орошение (в том числе капельное) и суб-ирригация, или подземное орошение.

В настоящее время в хлопководческих районах среднеазиатских республик, безусловно, преобладает наиболее прогрессивная разновидность поверхностного орошения — полив по бороздам, требующий сравнительно небольших капиталовложений на строительство и невысоких эксплуатационных затрат. Однако этот способ, основанный на периодическом создании в почве значительных запасов влаги, постепенно используемой растениями, по-видимому, уже не отвечает современным требованиям, в частности требованиям экономного расходования оросительной воды. Действительно, бороздковому орошению практически повсеместно сопутствуют: быстрый подъем уровня грунтовых вод, переувлажнение, а местами и заболачивание верхних горизонтов зоны аэрации, значительные потери воды в процессе полива, а в межполивные интервалы неоправданно высокие величины испарения, достигающие нередко 50% общего расхода влаги орошаемым полем под хлопчатником.

Бороздковый полив, предусматривающий подачу на поле значительного количества воды за короткий интервал времени, неизбежно ухудшает структуру почвы, способствует возникновению и активизации эрозийных процессов, не дает желательной степени равномерности увлажнения по площади и требует регулярных послеполивных обработок почвы.

Одним из существенных недостатков бороздкового полива является все еще малая степень механизации (в силу объективных причин) и, следовательно, низкая производительность труда на поливе. На полив и связанные с ним операции в колхозах и совхозах Узбекистана приходится до 20% всех затрат труда на выращивание хлопка-сырца [5].

Согласно существующим подсчетам [6], затраты труда на проведение одних только вегетационных поливов хлопчатника в Узбекистане превышают 20 млн. чел.-дней, что составляет 12-13 чел.-дней на гектар посевов. При подобном положении выработка одного поливальщика за весь вегетационный период не превышает 10-12 га.

Следует особо подчеркнуть, что затраты труда на поливе концентрируются в короткие интервалы времени и поливы требуют ручного, квалифицированного и вместе с тем тяжелого, а в условиях научно-технического прогресса становящегося все более непопулярным труда.

При таком положении поливы, основанные на ручном труде, могут стать серьезным препятствием на пути сельскохозяйственного освоения новых территорий.

В условиях Средней Азии орошение хлопчатника дождеванием имеет более чем 40-летнюю историю, но систематически применяется лишь в староорошаемой зоне хлопководства Голодной степи — Пахтааральском, Жетысайском и Кировском районах Чимкентской области на площади около 30 тыс. га. В последние годы, в связи с выпуском отечественной промышленностью новых широкозахватных дождевальных машин "Фрегат" и "Волжанка", активизировалось экспериментальное внедрение дождевания на новоосваиваемых землях.

Дождевание позволяет механизировать процесс полива и повысить производительность труда при возделывании сельскохозяйственных культур. При этом реализуются и малые (вплоть до осветительных поливов) поливные нормы, строго рассчитанные по дефициту влажности корнеобитаемого слоя почвы.

Вместе с тем дождевание как способ орошения характеризуется небольшими удельными потерями воды в процессе полива, складывающимися из испарения дождя в воздухе, ветрового сноса за пределы орошаемого контура и перехвата пологом растительного покрова с последующим испарением. Сумма указанных видов потерь оросительной воды, например в условиях Голодной и Каршинской степей, оценивается в размере 30—40% водоподачи.

Утверждение отдельных специалистов, например авторов работы [7], о возможности в 2—3 раза снизить затраты оросительной воды при дождевании хлопчатника в условиях близкого залегания грунтовых вод не оправдывается на практике.

При близком залегании уровня грунтовых вод (УГВ) оросительная норма, поданная дождевальным агрегатом, составляет, как правило, лишь часть суммарного водопотребления, дефицит которого покрывается за счет грунтовых вод. Образующееся таким образом превышение испарения над водоподачей чревато сезонным накоплением солей в корнеобитаемых горизонтах зоны аэрации, для предупреждения которого необходимы специальные промывные поливы. Если учесть общую (годовую) водоподачу при дождевании, становится очевидным, что экономии оросительной воды по сравнению с по-

верхностным способом полива нет.

Дождевание хлопчатника в начале вегетации может вызвать полегание или повреждение растений как в результате механического воздействия дождевых капель, особенно при низком качестве дождя, так и из-за налипания мелкозема на листья нижнего яруса. Известны случаи опадения завязей хлопчатника при дождевании и развития ирригационной эрозии.

К числу основных недостатков дождевания следует отнести и значительные, а нередко и непреодолимые трудности при проведении влагозарядковых и промывных поливов, требующих концентрированной водоподдачи большой нормой, а также создание сравнительно малых запасов влаги в период вегетации. Эти запасы, размещаясь в верхних, наиболее динамичных горизонтах зоны аэрации, быстро срабатываются, что влечет за собой необходимость частых поливов и, следовательно, частых послеполивных обработок почвы.

Технико-экономическое сравнение вариантов с бороздковым поливом и дождеванием складывается не в пользу последнего. Так, по данным института "Средазгипроводхлопок", показатели по капитальным вложениям, текущим и приведенным затратам при дождевании в 2-2,5 раза выше по сравнению с обычной лотковой оросительной системой. По данным САНИИРИ, удельные приведенные затраты для оросительной системы с машиной "Волжанка" в 7,1 раза выше, чем при поливе по бороздам.

Все же дождевание может, по-видимому, найти ограниченное применение в районах, где по каким-либо причинам другие способы орошения малоэффективны. В первую очередь это относится к рыхлым, гравелистым почвам с высокой водопроницаемостью, а также маломощным почвам, подстилаемым высоководопроницаемыми грунтами.

Внутрипочвенное орошение (ВПО) сельскохозяйственных культур, первые исследования которого относятся еще к середине прошлого столетия, не нашло пока широкого применения на больших площадях лишь по причине значительных капитальных затрат на строительство.

Между тем ВПО, основанное на подаче воды непосредственно к сосущим корням растений, обладает целым рядом таких очевид-

ных достоинств, которые в условиях аридной зоны делают этот способ полива наиболее перспективным, а капитальные затраты на строительство сравнительно быстро окупаемыми. Прежде всего следует отметить то немаловажное обстоятельство, что ВПО, вероятно, единственный из известных способов полива, практически полностью исключаящий потери оросительной воды. В силу поддержания дневного горизонта зоны аэрации в относительно сухом состоянии весь вегетационный период, имеет место депрессия физического (непродуктивного) испарения с поверхности почвы между растениями. Верхний сухой слой почвы, играя в данном случае роль мульчи, препятствует непродуктивному расходу влаги и из более глубоких горизонтов зоны аэрации.

Совокупность этих факторов, действующих одновременно, определяет чрезвычайно существенную экономию оросительной воды, стоимость которой в условиях ограниченных водных ресурсов среднеазиатского региона значительно возрастет.

Достоинство ВПО и в легко реализуемой возможности непрерывно поддерживать заданную влажность корнеобитаемого горизонта зоны аэрации, что позволяет сравнительно несложно автоматизировать полив. Соответственно повышается производительность труда при общем снижении его затрат и улучшении сопутствующих технических условий.

Наличие источника орошения почвы ниже ее поверхности сохраняет почвенную структуру, при поливе не вытесняется полностью почвенный воздух и, следовательно, не нарушается микробиологическая деятельность, в результате чего физико-химические процессы в почве протекают в оптимальном режиме. В случае необходимости в почву легко может быть подано и дополнительное количество воздуха, а также растворы удобрений в объеме, отвечающем потребностям культуры в каждую конкретную фазу ее вегетации.

Немаловажно, что при ВПО наблюдается резкое сокращение количества сорной растительности и отсутствие корки на поверхности почвы. Последнее практически полностью исключает из технологического процесса серию послеполивных обработок. В то же время из-за отсутствия борозд для механизированной обработки почвы и растений, а также для уборки урожая создаются более благоприятные условия.

По утверждению большинства исследователей, внутрипочвенное орошение обеспечивает более раннее созревание сельскохозяйственных культур, в частности хлопчатника, и повышенную урожайность сырья по сравнению с другими способами полива. Поскольку урожай формируется в результате одновременного воздействия многих факторов, в числе которых способ полива не всегда имеет решающее значение, едва ли все случаи роста урожайности можно отнести за счет достоинств ВПО. Все же очевидный рост валового сбора хлопка-сырца на полях с ВПО достигается за счет увеличения равномерности увлажнения зоны аэрации и отсутствия приущей, например, бороздковому поливу нестроты фенологических параметров хлопчатника по орошаемой площади. Поскольку меморативная система с ВПО исключает необходимость в нарезке борозд, дальнейший рост урожайности обеспечивается внедрением загущенного сева специальных сортов хлопчатника.

Мелкодисперсное увлажнение в условиях аридной зоны, характеризующейся прежде всего большой напряженностью метеорологических и актинометрических факторов, по понятным причинам неприемлемо. Что же касается субирригации, то, вероятно, нет необходимости в выделении ее в качестве самостоятельного способа орошения, поскольку она является разновидностью поверхностного полива или ВПО и может им сопутствовать. Например, обильная влагозарядка, осуществленная поверхностным способом и поднявшая УГВ, обеспечивает водой хлопчатник в течение всей его вегетации. Такие случаи описаны в литературе [8]. Аналогичный случай имел место на участке ВПО в совхозе № 10 Голодной степи, когда первый вегетационный полив нормой около  $5000 \text{ м}^3/\text{га}$  поднял УГВ с 4 до 0,5 м и дальнейшие поливы хлопчатника не требовались. Урожай на этом участке достиг 37 ц/га.

Таким образом, в аридной зоне представляется возможным применить лишь три способа орошения, охватывающих, по-видимому, все варианты подачи воды в зону аэрации: поверхностный, дождевание и внутрипочвенный. Среди них ВПО, как обеспечивающее оптимальный водно-воздушный, солевой, тепловой и питательный режимы почвы и способствующее получению высоких и устойчивых урожаев хлопчатника и других культур при значительной экономии оросительной воды, снижении затрат труда на поливе и

при обработке почвы, следует рассматривать в качестве наиболее целесообразной альтернативы бороздному орошению.

### Л и т е р а т у р а

1. Алексеевский В.Е. Мелиорация и международное сотрудничество. — "Гидротехника и мелиорация", 1975, №7, с.2-10.
2. Иванов Ю.Н., Рубинова Ф.Э. Преобразование водного баланса мелиорируемых территорий бассейна р.Сырдарьи и изменение ее стока в современных условиях и в перспективе. — В ст.: Преобразование водного баланса под влиянием хозяйственной деятельности. (Дополнительные сообщения советских участников симпозиума "Международная гидрологическая программа") Л., Гидрометеоиздат, 1976, с.37-39.
3. Герарди И.А. Единая государственная система регулирования и межбассейнового перераспределения водных ресурсов. — "Гидротехника и мелиорация", 1975, №7, с.22-28.
4. Штепа Б.Г. Генеральный доклад по вопросу "Прогрессивные способы орошения, включая машинное орошение". — "Гидротехника и мелиорация", 1975, №10, с.40-44.
5. Новиков Ю.С. Экономическая эффективность механизированных способов полива хлопчатника. — Тр. Проблемной лаборатории по экономической эффективности капиталовложений в ирригацию, вып.1. Ташкент, 1969, с.123.
6. Лапин К.И. Размещение и специализация сельскохозяйственного производства Узбекистана. Ташкент, "Фан", 1966, с.331.
7. Саттаров Ф.Н., Меднис М.П. Поливные режимы хлопчатника при дождевании для земель с близким и глубоким залеганием грунтовых вод Узбекистана. — Тр. СоюзНИИ, вып.27, 1974, с.92-101.
8. Киселева И.К. Регулирование водно-земного режима почв Узбекистана. Ташкент, "Фан", 1973, с.151.

В.Р.Шредер, канд.с.-х.наук, гл. спец.  
И.К.Васильев, нач. отдела  
Т.А.Трунова, ст. инж.

(Средазгипроводхлопок)

## ГИДРОМОДУЛЬНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ОРОСИТЕЛЬНЫХ НОРМ ДЛЯ ХЛОПЧАТНИКА В УСЛОВИЯХ АРИДНОЙ ЗОНЫ

Научное обоснование режима орошения сельскохозяйственных культур имеет первостепенное значение для проектирования и эксплуатации оросительных систем и сооружений.

Институт "Средазгипроводхлопок" на протяжении длительного времени занимается вопросами расчета режима орошения сельскохозяйственных культур. В настоящее время разработана методика определения оросительных норм хлопчатника, основанная на почвенно-мелиоративном районировании территории с широким учетом природной обстановки. Выделение гидромодульных районов производится по литологическому составу почвообразующих пород, основными генетическими типами которых являются: золовые аккумуляции зоны пустыни и полупустыни, лессы и лессовидные суглинки, аллювиальные и пролювиальные отложения, ирригационные наносы.

Механический состав и плотность сложения грунтов наиболее тесно коррелируют с основными водно-физическими свойствами: водопроницаемостью, влагоемкостью, водоотдачей и другими, учитываемыми при расчете режимов орошения сельскохозяйственных культур.

На основании исследований института "Средазгипроводхлопок", авторов работ [1]-[3] и др. почвогрунты подразделены на пять основных групп почв, характеризующих определенные гидромодульные районы: I - песчаные; II - супесчаные; III - легко- и среднесуглинистые (пылеватые); IV - среднесуглинистые (плотные) и тяжело-суглинистые; V - глинистые. Количественные значения водно-физических свойств почв, учитываемые при выделении гидромодульных районов, приведены в табл. I.

Таблица 4

Основные показатели водно-физических свойств почвогрунтов,  
учитываемые при выделении гидромодульных районов

| Ги-<br>дро-<br>модуль-<br>ный рай-<br>он | Механичес-<br>кий состав<br>почвогрун-<br>тов                   | Водно-физические свойства                           |                       |                                                                                 |                                                                 |                                                                              |                                      |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
|                                          |                                                                 | объем-<br>ный<br>вес, $\gamma$<br>г/см <sup>3</sup> | пороз-<br>ность,<br>% | предель-<br>ная по-<br>левая вла-<br>гоем-<br>кость<br>(ППВ),<br>% от<br>объема | свобод-<br>ная по-<br>розность<br>при<br>ППВ,<br>% от<br>объема | макси-<br>мальная<br>молеку-<br>лярная<br>влаже-<br>мость,<br>% от<br>объема | водо-<br>проница-<br>емость,<br>мм/ч |
| I                                        | Песчаные                                                        | 1,5-1,6                                             | 40-44                 | 15-20                                                                           | > 25                                                            | 4-10                                                                         | > 50                                 |
| II                                       | Супесчаные                                                      | 1,4-1,5                                             | 44-48                 | 20-25                                                                           | 20-25                                                           | 10-16                                                                        | 20-50                                |
| III                                      | Легко- и<br>среднесу-<br>глинистые<br>(пылеватые)               | 1,3-1,4                                             | 48-50                 | 25-30                                                                           | 15-20                                                           | 16-22                                                                        | 10-20                                |
| IV                                       | Среднесу-<br>глинистые<br>(плотные) и<br>тяжелосу-<br>глинистые | 1,4-1,5                                             | 44-48                 | 30-35                                                                           | 10-15                                                           | 22-26                                                                        | 5-10                                 |
| V                                        | Глинистые                                                       | 1,5-1,7                                             | 37-44                 | 35-37                                                                           | < 10                                                            | 26-30                                                                        | < 5                                  |

Основные площади I гидромодульного района представляют золотые аккумуляции зоны пустыни, II - золотые аккумуляции полупустыни, III - лессы и лессовидные суглинки, IV и V - аллювиальные, пролювиальные отложения и ирригационные наносы.

Почвы иного литологического профиля по влагоемкости и условиям расходования почвенной влаги группируются по основным районам следующим образом: к I гидромодульному району относятся маломощные суглинистые на песчано-галечниковых отложениях и на гипсах; к II - среднемощные суглинистые на песчано-галечниковых отложениях и на гипсах; к III - суглинистые, облегчающиеся книзу; к IV - суглинистые, утяжеляющиеся книзу; к V - резкослоистые с наличием глин.

Дальнейшая дифференциация гидромодульных районов строится

с учетом глубины залегания грунтовых вод. Оптимальная глубина и режим грунтовых вод устанавливаются в зависимости от литологического профиля почвогрунтов, их водно-физических свойств и доли участия в формировании суммарного испарения. В.А.Ковда [4] указывал, что интенсивность испарения грунтовых вод весьма сильно зависит от характера грунтов. В этой же работе приводятся глубины залегания грунтовых вод, на которых практически прекращается их расход на испарение через почву:

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| лессы, пылеватые суглинки | 3,5-4,0 м  |
| средние суглинки          | 3,0 м      |
| тяжелые суглинки          | 2,0 м      |
| тяжелые глины             | 1,2-1,5 м  |
| пески                     | 0,5-1,2 м. |

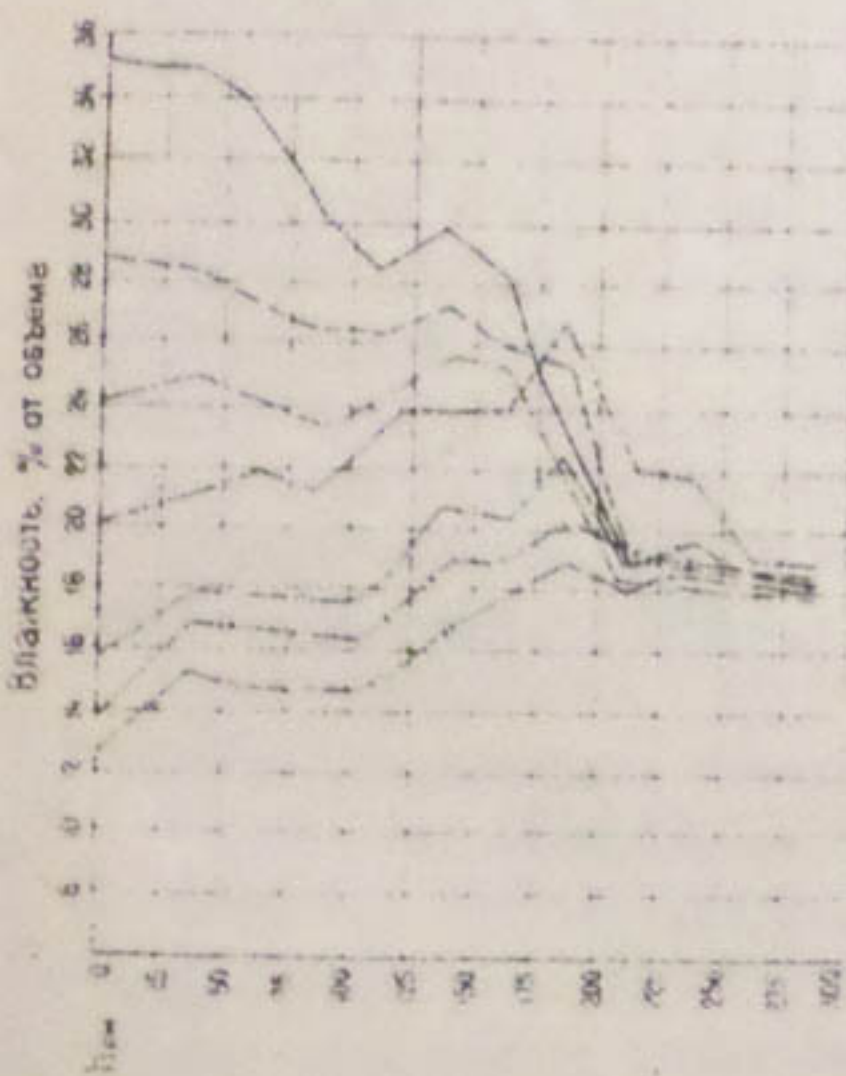
Нашими наблюдениями за динамикой влажности почвы на опытно-балансовых участках в Голодной, Каршинской, Шерабадской и Джизакской степях установлено, что одой активного влагопереноса достигает максимальных значений на легко- и среднесуглинистых почвогрунтах (III гидромодульный район - рис.1а). В тяжелых почвогрунтах (IV-V гидромодульные районы - рис.1б и 1в), а также почвах легкого механического состава (I и II гидромодульные районы - рис.1г и 1д) он меньше (табл.2).

Таблица 2

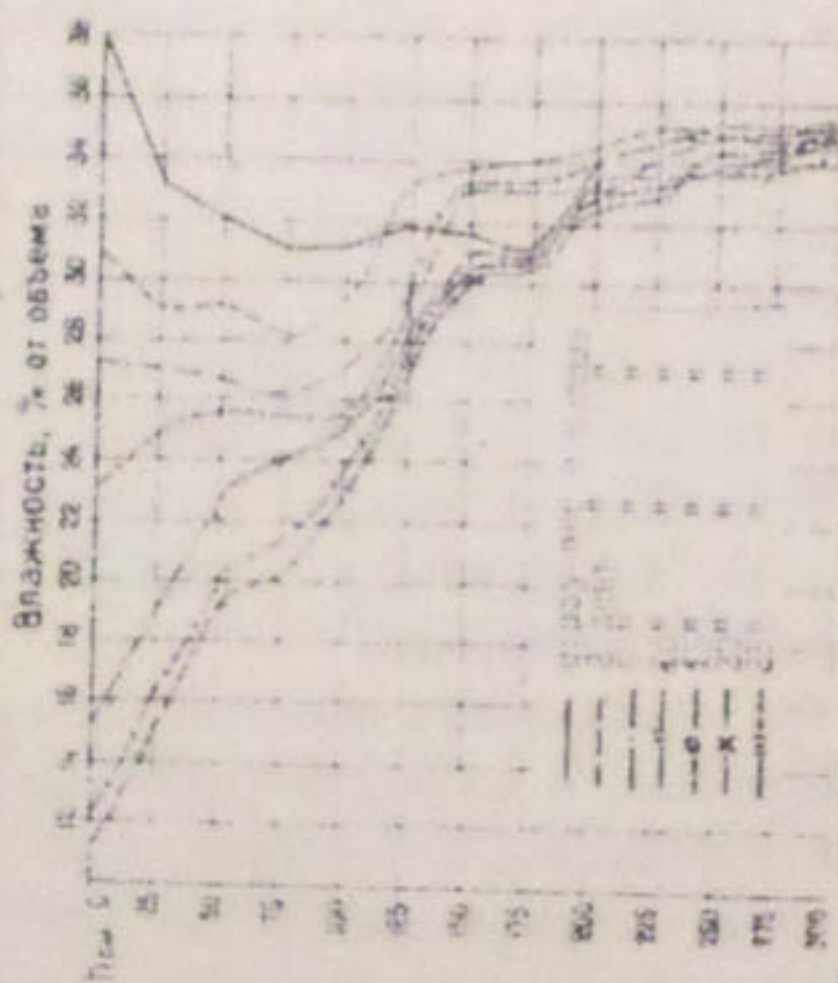
Расход почвенной влаги по горизонтам в период активной вегетации (процент от суммарного водопотребления хлопчатника)

| Гидромодульный район | Горизонт, см |        |         |         |         |
|----------------------|--------------|--------|---------|---------|---------|
|                      | 0-50         | 50-100 | 100-150 | 150-200 | 200-250 |
| II                   | 47           | 38     | 12      | 3       | 0       |
| III                  | 46           | 28     | 17      | 6       | 3       |
| IV                   | 52           | 31     | 14      | 3       | 0       |
| V                    | 56           | 34     | 10      | 0       | 0       |

Для определения нормы осушения в выделяемых гидромодульных районах может быть принята глубина иссушения почв ("допустимая глубина" [5]) за междоливной период, ниже которой при выполнении

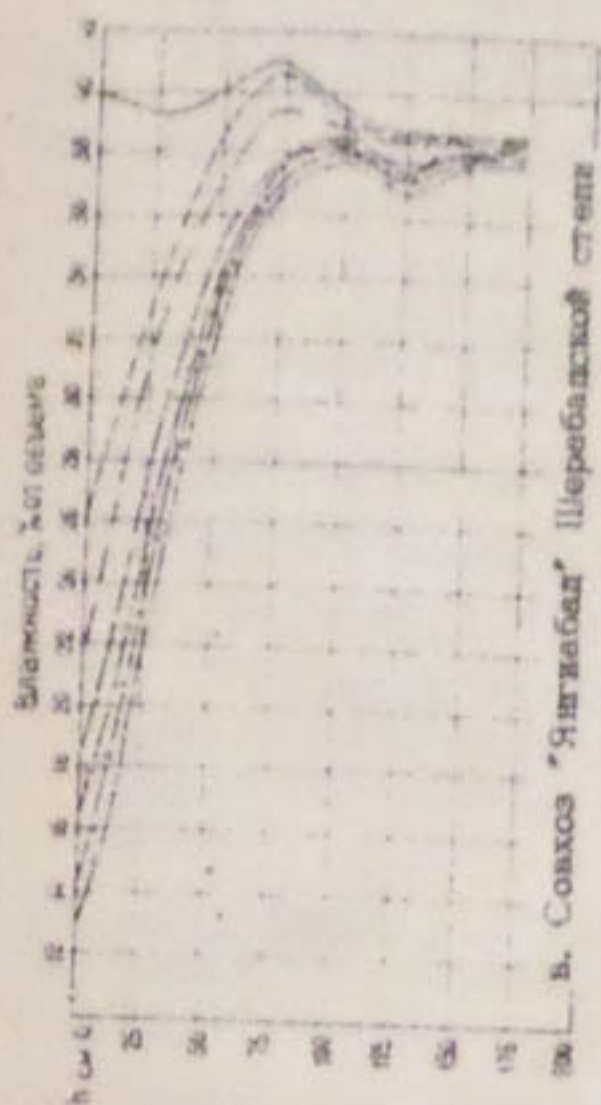


а. Колхоз имени Энгельса Каршинской степи

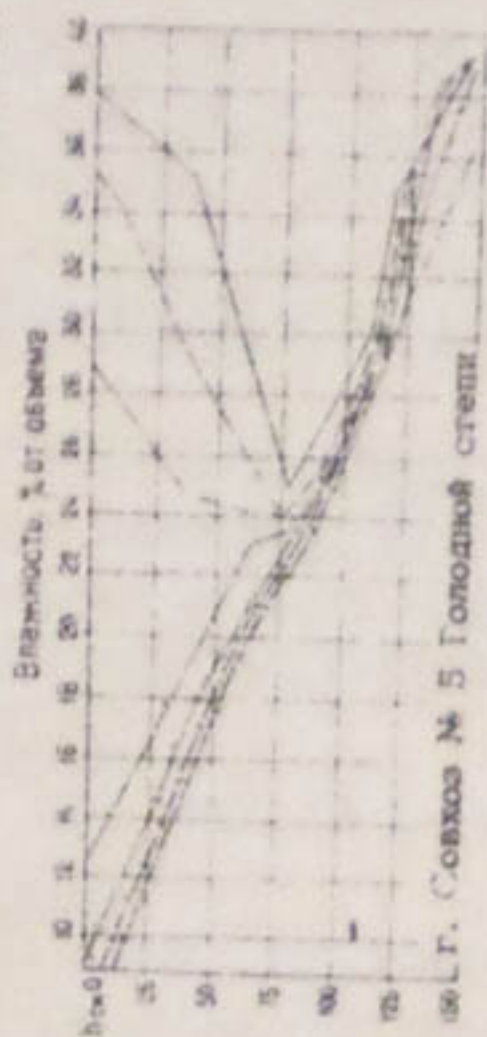


б. Колхоз имени XXII Партизана Каршинской степи

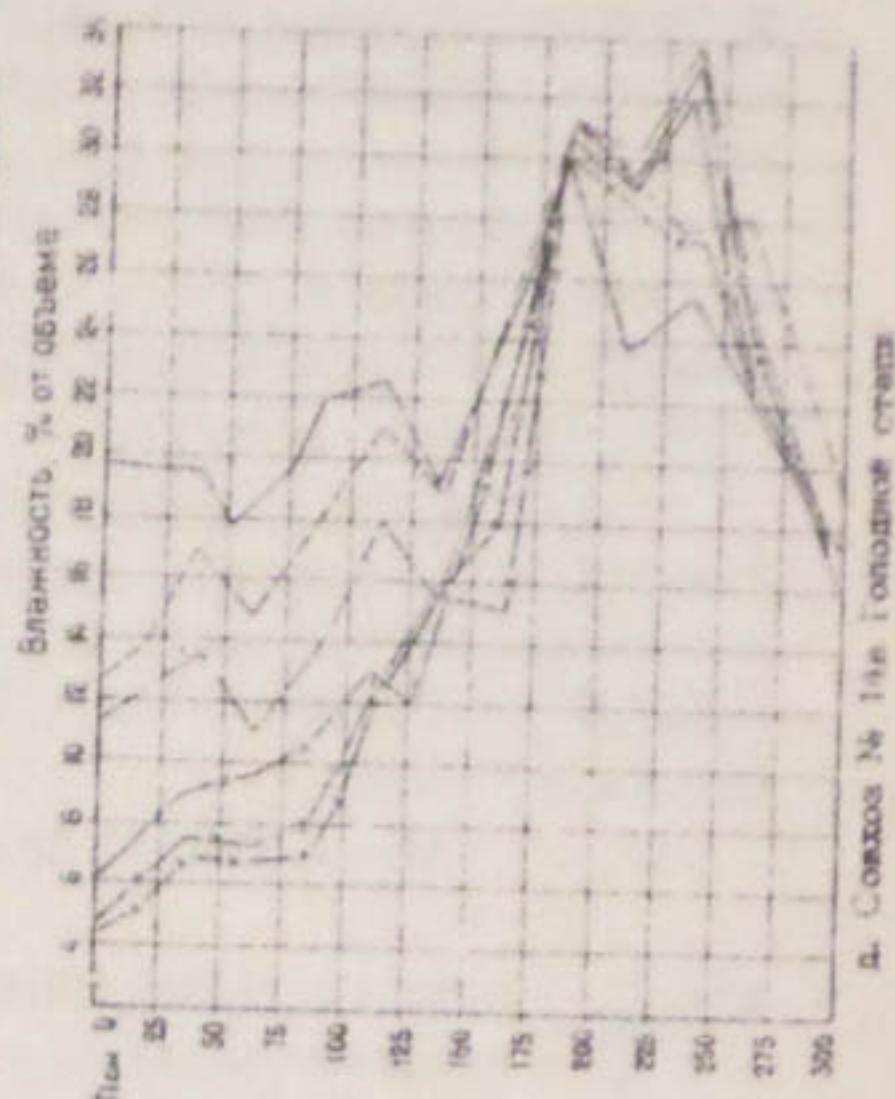
Рис. I. Динамика влажности почвогрунтов в различных гидроморфных районах.



в. Совхоз "Янгибад" Шербакской степи



г. Совхоз № 5 Голодной степи



д. Совхоз № 1-я Голодной степи

предусмотренных проектом агротехнических и других мероприятий залегание грунтовых вод, даже сильноминерализованных, не должно вызывать засоления почв. Для почв I гидромодульного района она равна 1,8-2,0; II - 2,2-2,4; III - 2,6-2,8; IV - 2,2-2,4; V - 1,8-2,0.

В процессе более совершенного определения оросительной нормы хлопчатника и других сельскохозяйственных культур необходимо учитывать метеорологические, литолого-геоморфологические и гидрогеологические факторы.

В качестве обобщающего показателя климатических условий принята испаряемость, выражающая испарение с открытой водной поверхности. Испаряемость определялась по формуле Н.Н.Иванова [6] ( $K=0,8$ , по Л.А.Молчанову), полученной для условий пустыни (Аральское море):

$$E_0 = 0,0018 \cdot 0,8(25 + t)^2 \cdot (100 - a), \quad (1)$$

где  $E_0$  - среднемесячная испаряемость, мм;

$t$  - среднемесячная температура воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$a$  - среднемесячная относительная влажность, %;

По мнению С.Н.Рыжова [7], из эмпирических уравнений определения испарения с водной поверхности формула Н.Н.Иванова является наиболее проверенной. В ней, как отмечает А.М.Алпатыев [8], удачно сочетается влияние на испарение температуры и дефицита влажности воздуха, а также косвенно учитывается влияние ветра и облачности. Более поздний анализ, произведенный С.И.Бойко [9], показал, что величина испаряемости, рассчитанная по формуле Н.Н.Иванова, в значительной мере зависит от осадков. В сухие годы с высокой температурой воздуха расчет по этой формуле дает хорошие результаты. Следовательно, применение формулы Н.Н.Иванова в аридных условиях оправдано.

При определении значений испаряемости учитывалось, что при обводнении и орошении территории относительная влажность воздуха повышается и температурный режим смягчается. При этом между относительной влажностью воздуха и изменением температуры существует корреляционная связь, выражающаяся уравнением, приведенным в работах [10] и [11]:

$$t_1 = t + 0,1(a - a_1), \quad (2)$$

где  $t, a$  – исходная температура и относительная влажность;  
 $t_1, a_1$  – то же, для расчетных условий.

В работе [11] приняты три этапа сельскохозяйственного освоения земель с установленными для них величинами относительной влажности воздуха (%) за период апрель–сентябрь (табл.3).

Таблица 3

Значения относительной влажности воздуха ( $a_1$ )  
 по этапам сельскохозяйственного освоения земель (%)

| Этап освоения                                                                        | Почвенно-климатический пояс |    |    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|----|----|
|                                                                                      | А                           | Б  | В  | Г  |
| I – начало освоения, земли слабо освоенные, необлесенные                             | 35                          | 35 | 39 | 43 |
| II – переходный период, земли умеренно освоенные, слабо облесенные                   | 40                          | 40 | 40 | 44 |
| III – полное освоение (перспектива), земли интенсивно освоенные, умеренно облесенные | 45                          | 45 | 45 | 45 |

Метеорологические показатели, приведенные к одной степени освоенности территории, хорошо вписываются в схему почвенно-климатического районирования территории Средней Азии и Южного Казахстана, принятую в институте "Средазгипроводхлопок" [11].

При этом необходимо отметить, что относительная влажность прибрежных районов Каспийского и Аральского морей, озелененных пунктов, а также тугайных и озерных террас и дельт рек может превышать максимальные расчетные ее значения, приведенные в табл.3.

Изменения относительной влажности воздуха в течение теплого полугодия иллюстрируются табл.4, где за  $\bar{I},0$  принимается среднее (расчетное) ее значение за этот период.

Таблица 4

Изменение расчетных значений относительной влажности  
воздуха ( $\alpha$ ) в течение теплого полугодия

| Зона            | Месяц  |     |      |      |        |          |
|-----------------|--------|-----|------|------|--------|----------|
|                 | апрель | май | июнь | июль | август | сентябрь |
| Северная (С)    | 1,3    | 1,1 | 0,9  | 0,8  | 0,9    | 1,0      |
| Центральная (Ц) | 1,4    | 1,1 | 0,9  | 0,8  | 0,8    | 1,0      |
| Южная (Ю)       | 1,6    | 1,2 | 0,8  | 0,7  | 0,8    | 0,9      |

В задачу настоящей работы входит установление соотношения фактических расходов влаги орошаемой культурой (суммарное испарение) в различных гидромодульных районах с испаряемостью.

В отечественной и зарубежной практике используются разнообразные формы связей потребления воды растениями с метеорологическими условиями. А.М.Алпатыев [8], С.Н.Рыков [12] и ряд других исследователей указывают, что существует достаточно устойчивое соотношение между расходами воды растениями и испаряемостью.

Суммарное испарение (эвапотранспирация) в условиях глубокого залегания грунтовых вод определялось методом режимных наблюдений за влажностью почвогрунтов по упрощенной формуле водного баланса, которая имеет следующий вид:

$$E = W_H - W_K - q + O + П, \quad (3)$$

где  $E$  — суммарное испарение с хлопкового поля, мм;

$W_H$  — запас влаги в почве на начало расчетного периода, мм;

$W_K$  — запас влаги в почве на конец расчетного периода, мм;

$q$  — влагообмен с нижележащими слоями (глубокая фильтрация), мм;

$O$  — осадки, мм;

$П$  — поливы, мм.

На основании материалов многолетнего изучения суммарного испарения с хлопкового поля в Голодной, Каршинской, Шерабадской степях на почвогрунтах III гидромодульного райсна в условиях глубокого залегания грунтовых вод установлена связь суммарного испа-

рения с испаряемостью, которая иллюстрируется рис.2 и описывается уравнением:  $1,58$

$$E = \frac{E_0}{31,62}, \text{ или } \lg E = 1,58 \quad \lg E_0 - 1,50, \quad (4)$$

где  $E$  — среднемесячное суммарное испарение, мм;

$E_0$  — среднемесячная испаряемость, мм.

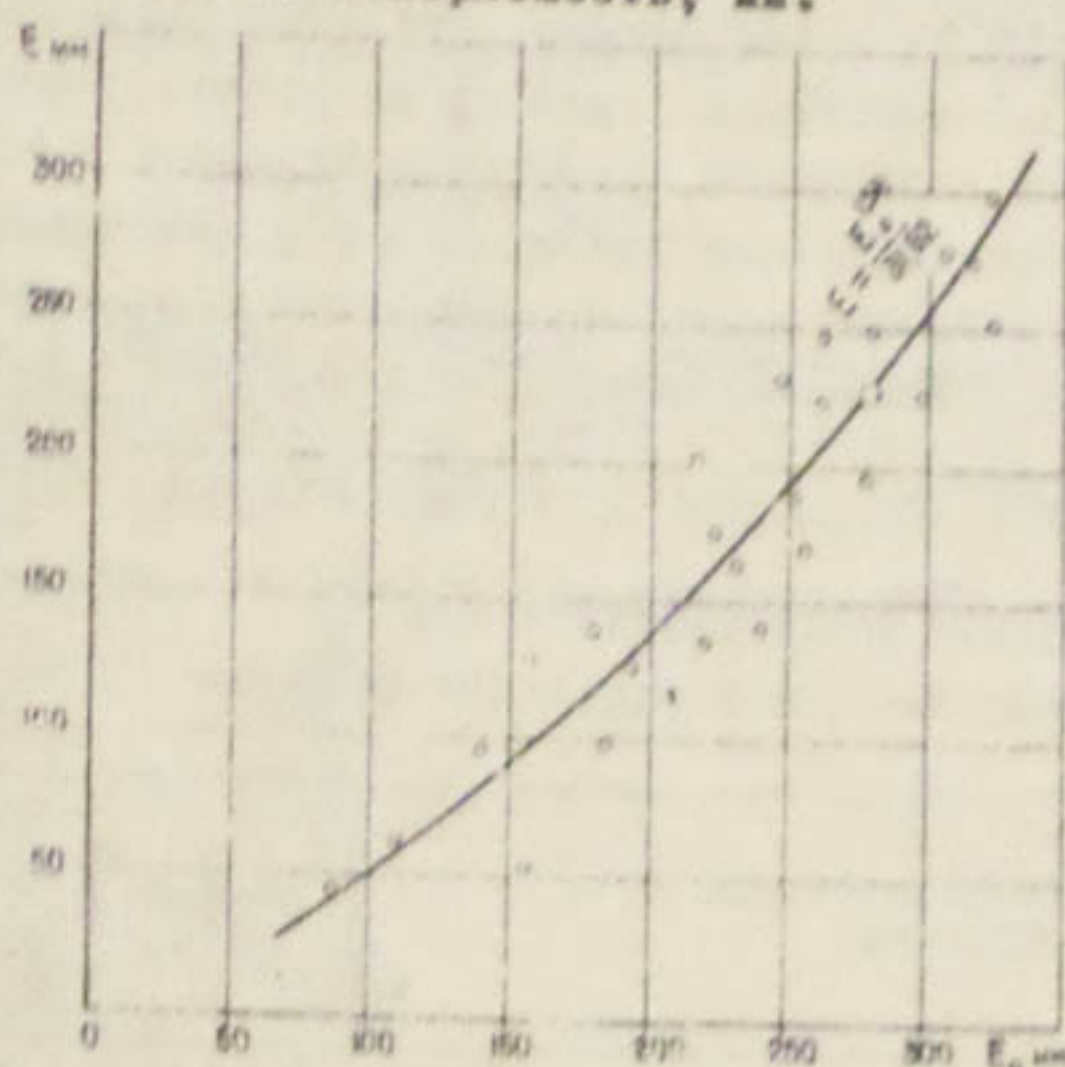


Рис.2. Связь суммарного испарения хлопковым полем с испаряемостью (III гидроמודульный район):

$E_0$  — среднемесячные значения испаряемости;

$E$  — среднемесячные значения суммарного испарения.

Корреляционное отношение  $r = 0,94 \pm 0,03$  с достаточной надежностью позволяет пользоваться полученным уравнением.

Найденная зависимость позволяет рассчитывать суммарное испарение на почвогрунтах III гидроמודульного района в условиях глубокого залегания грунтовых вод на все периоды сельскохозяйственного освоения земель.

Для количественного выражения водопотребления хлопчатника на почвах с разными водно-физическими свойствами использованы материалы опытных станций СовзНИХИ (лизиметрический метод), результаты исследований ТуркменНИИГима (метод теплового баланса), опытных станций института земледелия Туркменской ССР (лизиметрический метод), материалы Института почвоведения и Института сельского хозяйства Таджикской ССР (лизиметрический метод), НИИТО САНИИРИ (метод теплового баланса), а также результаты

исследований института "Средазгипроводхлопок" в Кяршинской, Голдодной, Шерабадской и Джизакской степях (метод водного баланса).

Поскольку связь суммарного испарения с испаряемостью квазилинейная (близкая к линейной), то отношение  $K = \frac{E}{E_0}$  будет характеризовать за равные промежутки времени определенный тип почвогрунтов. Поэтому им можно оперировать для сравнения водопотребления сельскохозяйственных культур на почвах с различными водно-физическими свойствами, сгруппированными в гидромодульные районы. Суммарное испарение для почв III гидромодульного района, определение которого производится по уравнению (4), принимается за единицу ( $K_I = 1,0$ ). Значения отношения  $K = \frac{E}{E_0}$  и  $K_I$  в разрезе гидромодульных районов приведены в табл.5.

Таблица 5

Значения коэффициентов  $K$  и  $K_I$   
в разрезе гидромодульных районов

| Гидромодульный район | Литологическое строение почвогрунтов                                                                                 | $K = \frac{E}{E_0}$ | Коэффициент $K_I$ к III гидромодульному району |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------|
| I                    | Мощные (>1 м) песчаные; маломощные (0,2-0,5 м) суглинистые на песчано-галечниковых отложениях и супесчаные на гипсах | 1,00                | 1,14                                           |
| II                   | Мощные супесчаные; среднемощные (0,5-1,0 м) суглинистые на песчано-галечниковых отложениях и гипсах                  | 0,97                | 1,10                                           |
| III                  | Легко- и среднесуглинистые (пылеватые); суглинистые, облегчающиеся книзу                                             | 0,88                | 1,00                                           |
| IV                   | Среднесуглинистые (плотные) и тяжелосуглинистые; суглинистые, утяжеляющиеся книзу                                    | 0,76                | 0,86                                           |
| V                    | Глинистые; резкослоистые с наличием глин                                                                             | 0,66                | 0,75                                           |

Важным фактором при определении оросительной нормы сельскохозяйственных культур является глубина залегания грунтовых вод.

Анализ имеющихся данных лизиметрических наблюдений ряда научно-исследовательских организаций (СовзНИХИ, ТуркменНИИГим, НИИземледелия Туркменской ССР, НИИпочвоведения и Институт сельского хозяйства Таджикской ССР) позволил построить зависимость расхода собственно грунтовых вод от глубины их залегания в различных гидромодульных районах [5] (рис.3), пользуясь соотношением:

$$m = 100 \left( 1 - \frac{E'}{E} \right), \quad (5)$$

где  $m$  — доля участия собственно грунтовых вод в водоснабжении культуры за период апрель-сентябрь, %;

$E'$  — расход оросительной воды при заданном УГВ, мм;

$E$  — суммарное испарение при глубоком УГВ, мм.

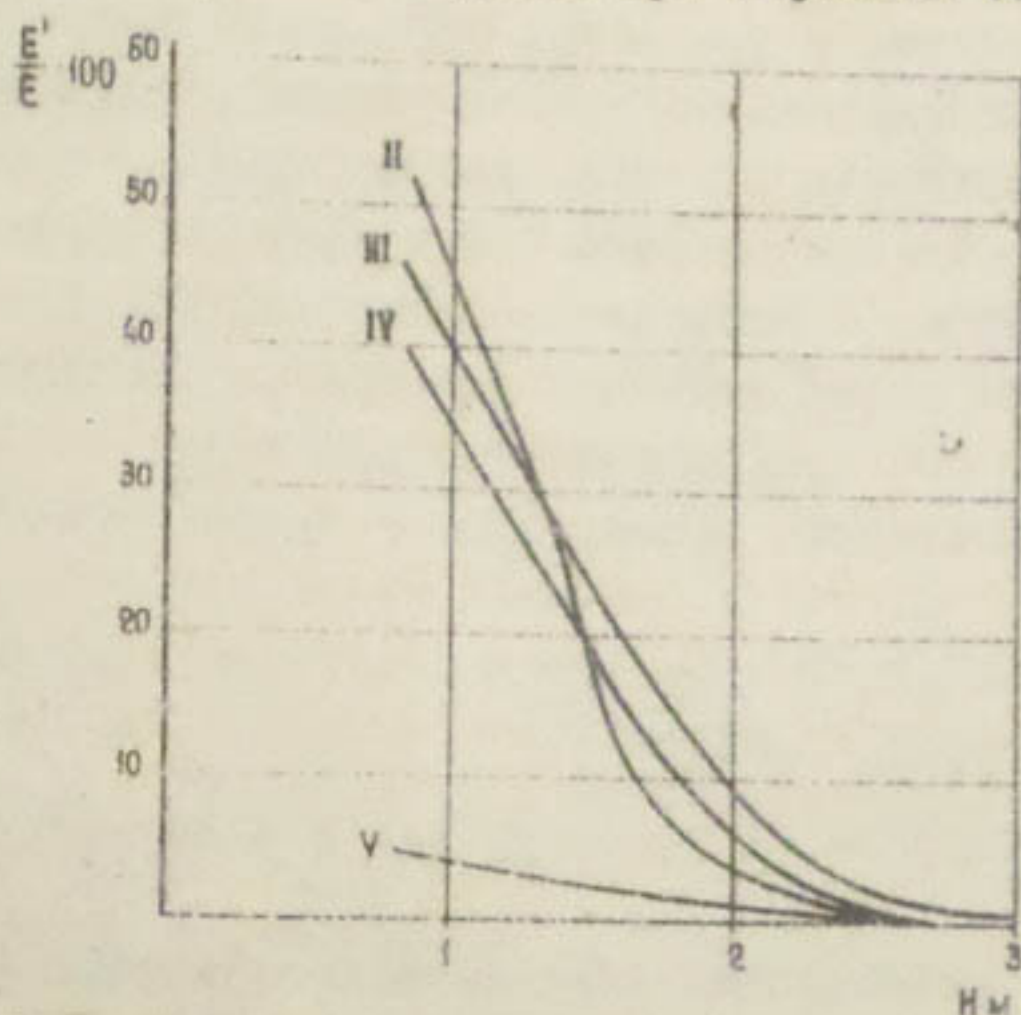


Рис.3. Зависимость доли участия грунтовых вод в формировании суммарного испарения от глубины их залегания. (II, III, IV, V — гидромодульные районы). (по В.Р. Шредеру)

Распределение доли участия грунтовых вод во времени производится пропорционально величине суммарного испарения.

Полученные кривые дают возможность определить величину уменьшения размеров оросительной нормы хлопчатника в условиях близкого залегания пресных и слабоминерализованных грунтовых вод за счет подпитывания иссушаемого слоя.

При решении практических задач использование пресных собственно грунтовых вод возможно в условиях интенсивного во-

дообмена, исключая соленакпление. На почвах, подверженных засолению, устанавливаются вышеназванные нормы осушения. При такой норме понижения грунтовых вод расход влаги на испарение и транспирацию должен происходить только за счет ирригационно-грунтовой воды. В этом случае величина оросительной нормы складывается из суммарного испарения, равного его значениям при глубоком залегании грунтовых вод, и величины дренажного стока. По нашим наблюдениям, в таких условиях прогрессивного засоления почвогрунтов не происходит. В динамике засоления отмечается лишь незначительный солеперенос по отдельным горизонтам.

В определении оросительной нормы учитываются два основных параметра – водопотребление и глубокая фильтрация (при глубоком залегании грунтовых вод) или дренажный сток (в условиях близкого залегания грунтовых вод).

Глубокое просачивание и дренажный сток могут колебаться в больших пределах в зависимости от техники полива, водопроницаемости почв, спланированности участка, длины борозды, уклона и т.д., что учитывается введением повышающего коэффициента  $K_2$ .

Поверхностные сбросы с сельскохозяйственных полей в период активной вегетации при малых уклонах, как правило, отсутствуют. При больших они могут составлять значительную величину.

На основании изложенного размер оросительной нормы выражается формулой

$$M = 10K_1K_2 E + P_c - m - O, \quad (6)$$

где  $M$  – оросительная норма,  $m^3/га$ ;

$E$  – суммарное испарение на почвогрунтах III гидро модульного района, мм;

$K_1$  – коэффициент, учитывающий влияние водно-физических свойств почв;

$K_2$  – коэффициент, учитывающий глубокое просачивание (в условиях глубокого залегания грунтовых вод) или дренажный сток (в условиях их близкого залегания);

$P_c$  – поверхностный сброс,  $m^3/га$ ;

$m$  – участие грунтовых вод в водоснабжении культуры,  $m^3/га$ ;

$O$  – осадки,  $m^3/га$ .

Схема расчета оросительных норм должна учитывать продолжительность оросительного периода. Начало его устанавливается датой наступления почвенной засухи, определяемой из условий расходования запасов продуктивной влаги в почве с учетом атмосферных осадков, конец — датой созревания культуры.

Величина оросительной нормы по предлагаемому методу рассчитана на получение высоких урожаев хлопка. Однако на практике часто водные ресурсы ограничены и это обуславливает снижение урожайности сельскохозяйственных культур.

По кривым зависимости урожайности от норм орошения можно установить верхние пределы оросительных норм, увеличение которых не дает прибавки урожайности. При этом "оптимальная норма орошения" для данных почвенно-климатических условий остается одинаковой на различных агротехнических фонах и при разном почвенном плодородии.

Для решения поставленной задачи могут служить данные испытания схем полива опытными станциями и экспедициями, расположенными в различных физико-географических условиях: Чимбайской (С-П-А), Хорезмской (Ц-Г-А), Бухарской (Ц-П-А), Голодностепской (Ц-П-Б), Экспериментальной базы СоюзНИХИ, Ташкентской и Ошской (Ц-П-В), Чарджоуской (Ю-Г-А), Каршинской (СоюзНИХИ), Сурхандарьинской (ТашСХИ) и др.

При установлении зависимости урожайности от норм орошения применен известный прием выражения значений урожайности и оросительных норм в относительных величинах. Максимальная урожайность ( $Y_{max}$ ) и соответствующая ей величина оросительной нормы ( $Q_{max}$ ) приняты за единицу (рис. 4, табл. 6). Корреляционное отношение  $\eta = 0,95 \pm 0,01$ .

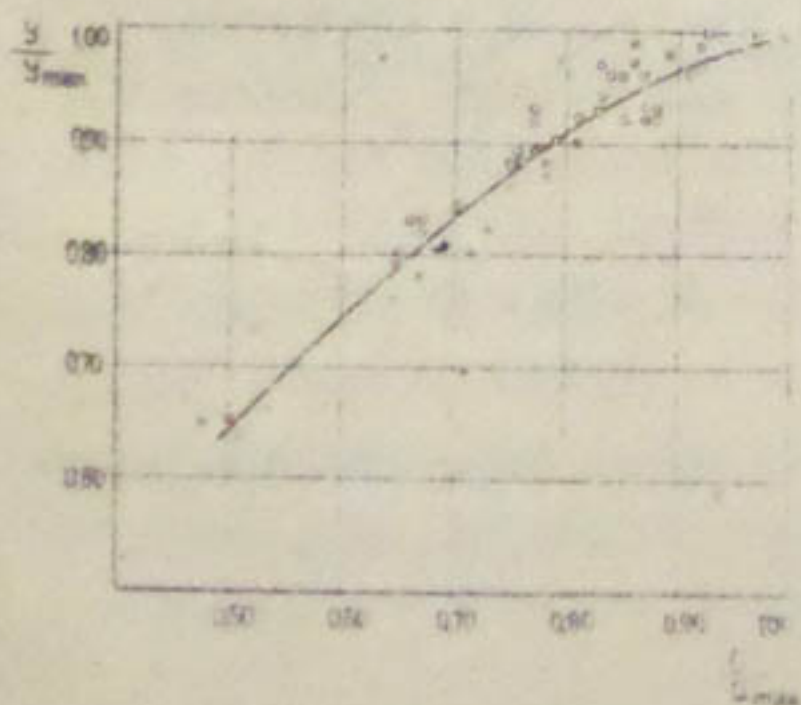


Рис. 4. Зависимость урожая хлопчатника от нормы орошения:

$\frac{Y}{Y_{max}}$  отношение урожая к его максимальному значению;  
 $\frac{Q}{Q_{max}}$  отношение оросительной нормы к ее максимальному значению.

Таблица 6

Зависимость урожайности ( $Y_{max}$ ) от снижения нормы орошения ( $Q_{max}$ )

|                     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\frac{Q}{Q_{max}}$ | 1,00 | 0,95 | 0,90 | 0,85 | 0,80 | 0,75 | 0,70 | 0,60 | 0,50 |
| $\frac{Y}{Y_{max}}$ | 1,00 | 0,98 | 0,96 | 0,94 | 0,91 | 0,87 | 0,83 | 0,75 | 0,64 |

Единицы измерения урожайности и нормы орошения в каждом конкретном случае могут иметь свои числовые значения.

Мера снижения принятой за единицу "оптимальной" оросительной нормы ( $Q_{max}$ ), обеспечивающей максимальную урожайность ( $Y_{max}$ ), должна, очевидно, решаться в каждом отдельном случае исходя из экономической целесообразности.

Изложенные положения о гидромодульном районировании, расчете норм орошения и осушения позволят более комплексно проектировать мелиоративные мероприятия по освоению почв аридной зоны.

### Л и т е р а т у р а

1. Рыжов С.Н. Влияние дренирующих прослоек на водопроницаемость и водоудерживающую способность почв. — "Почвоведение", 1940, № 7.
2. Роде А.А. Почвенная влага. М., Изд-во АН СССР, 1952.
3. Фелициант И.Н. Опыт изучения закономерностей капиллярного передвижения воды и растворов солей в слоистых грунтах. Ташкент, Изд-во МСХ УзССР, 1961.
4. Ковда В.А. Водный и солевой баланс местности и орошаемых почв. — В кн.: Почвы аридной зоны как объект орошения. М., "Наука", 1968.
5. Владимиров А.Г. Мелиоративная гидрогеология. М., Госгеолтехиздат, 1960.
6. Иванов Н.Н. Зоны увлажнения земного шара. Серия географическая и геофизическая, № 3. М., Изд-во АН СССР, 1941.

7. Рыжов С.Н. Потребность различных культур в орошении. -  
В кн.: Почвы аридной зоны как объект орошения. М., "Наука",  
1968.
8. Алпатьев А.М. Влагооборот культурных растений. Л., Гидроме-  
теоиздат, 1954.
9. Бойко С.И. К вопросу о минимально возможном испарении. -  
Сб. науч. тр. "Современные проблемы мелиорации и пути их ре-  
шения". М., ВНИИГМ, 1973.
10. Шредер В.Р., Сафонов В.Ф., Паричин Р.И. Районирование режи-  
мов орошения. - "Гидротехника и мелиорация", 1966, № 8.
11. Шредер В.Р. и др. Расчетные значения орошительных норм сель-  
скохозяйственных культур в бассейнах рек Сырдарьи и Аму-  
дарьи. Ташкент, 1970.
12. Рыжов С.Н. Орошение хлопчатника в Ферганской долине. Ташкент,  
Изд-во АН УзССР, 1948.

УДК 634.6

Г.Г. Решетов, канд. с.-х. наук, гл. спец.  
(Среднеагипроводканалов)

#### ВОДНЫЙ РЕЖИМ ОРОШАЕМЫХ ТАКЫРНЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ СУРХАНДАРЬИНСКОЙ ОБЛАСТИ УзССР

При орошении сельскохозяйственных культур одной из задач является поддержание в активном слое почвы определенного коли-  
чества доступной для растений влаги. В настоящей работе приво-  
дится анализ составляющих водного баланса хлопкового поля в пе-  
риод вегетации при глубоких (около 20 м) грунтовых водах. Экспе-  
риментальная территория (IX агроучасток совхоза № 6 Сурхандарь-  
инской области УзССР) характеризовалась сложными средне- и  
легкосуглинистыми почвогрунтами с редкими прослоями супесей.  
Влагоемкость метрового слоя - около 29% от объема. Наблюдения  
проводились в течение 5 лет (1968-1972 гг.). В период исследо-

ваний возделывался хлопчатник сорта 108-Ф. Урожайность хлопчатника была устойчиво высокой — 32-35 ц/га.

Наблюдения за влажностью почвогрунтов велись по 9 закрепленным точкам, расположенным в 3 створах (по 3 точки в каждом) по длине борозды: в начале, середине и конце. Влажность почв регистрировалась сразу после окончания полива, затем на первый, второй, третий, пятый, седьмой, десятый дни после полива и далее через каждые 5 дней. Динамика запасов влаги фиксировалась по горизонтам: 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100, 100-125, 125-150, 150-175, 175-200, 200-250, 250-300 см. Поливная норма (нетто) определялась по разности запасов влаги до и после полива.

В задачу исследований входило получение фактических данных по эвапотранспирации, которая определялась методом режимных наблюдений за влажностью почвогрунтов.

Согласно рекомендации С.И.Долгова, А.Ф.Вадюниной, З.А.Нерсесовой, этот метод дает хорошие результаты при глубоком залегании грунтовых вод и отсутствии влагообмена между изучаемой толщей и нижележащими слоями почвогрунтов. Относительная погрешность определения запасов влаги различных слоев почвогрунтов в условиях девятикратной повторности, по данным Л.Н.Побережского, составляет 2-4%, что вполне отвечает требованиям поставленной задачи.

Расчеты производились с помощью уравнения водного баланса:

$$E = W_2 - W_1 - Q,$$

где  $E$  — суммарное испарение с хлопкового поля;

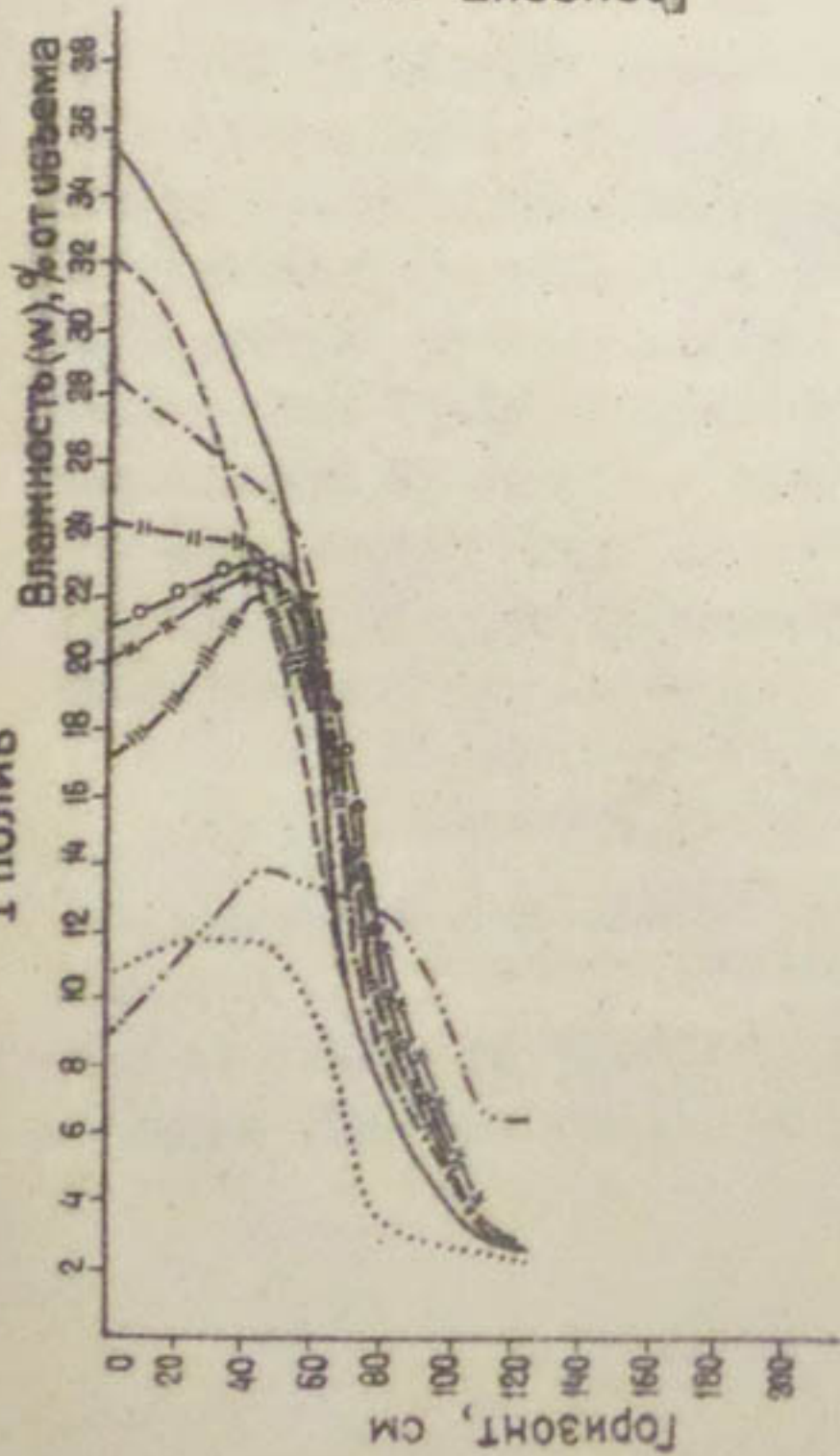
$W_1$  и  $W_2$  — запасы почвенной влаги в расчетном слое в начале и конце какого-либо периода;

$Q$  — влагообмен с нижележащими слоями (просачивание).

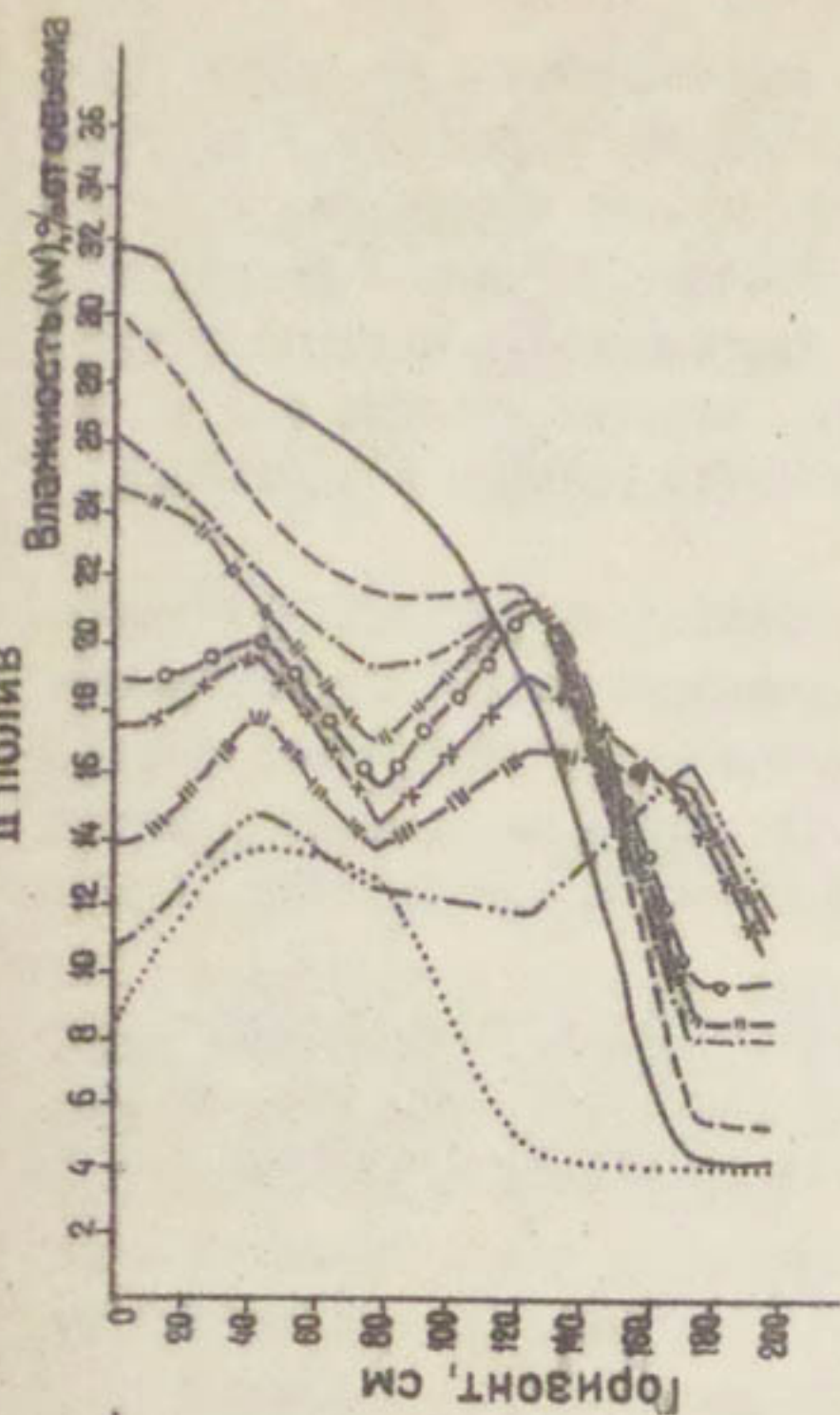
Анализ полученного нами материала показал, что расход почвенной влаги на испарение и транспирацию ограничивается определенным слоем влагопереноса. Из приведенных графиков (рис.1) видно, что при первом поливе таким является слой 0-80 см, при втором — 0-150 см, при третьем, четвертом и пятом — 0-175 см.

В первые дни после полива происходит перенос влаги из верхних горизонтов в нижние. Затем, по мере иссушения верхних горизонтов, наблюдается передвижение влаги из нижних слоев в верх-

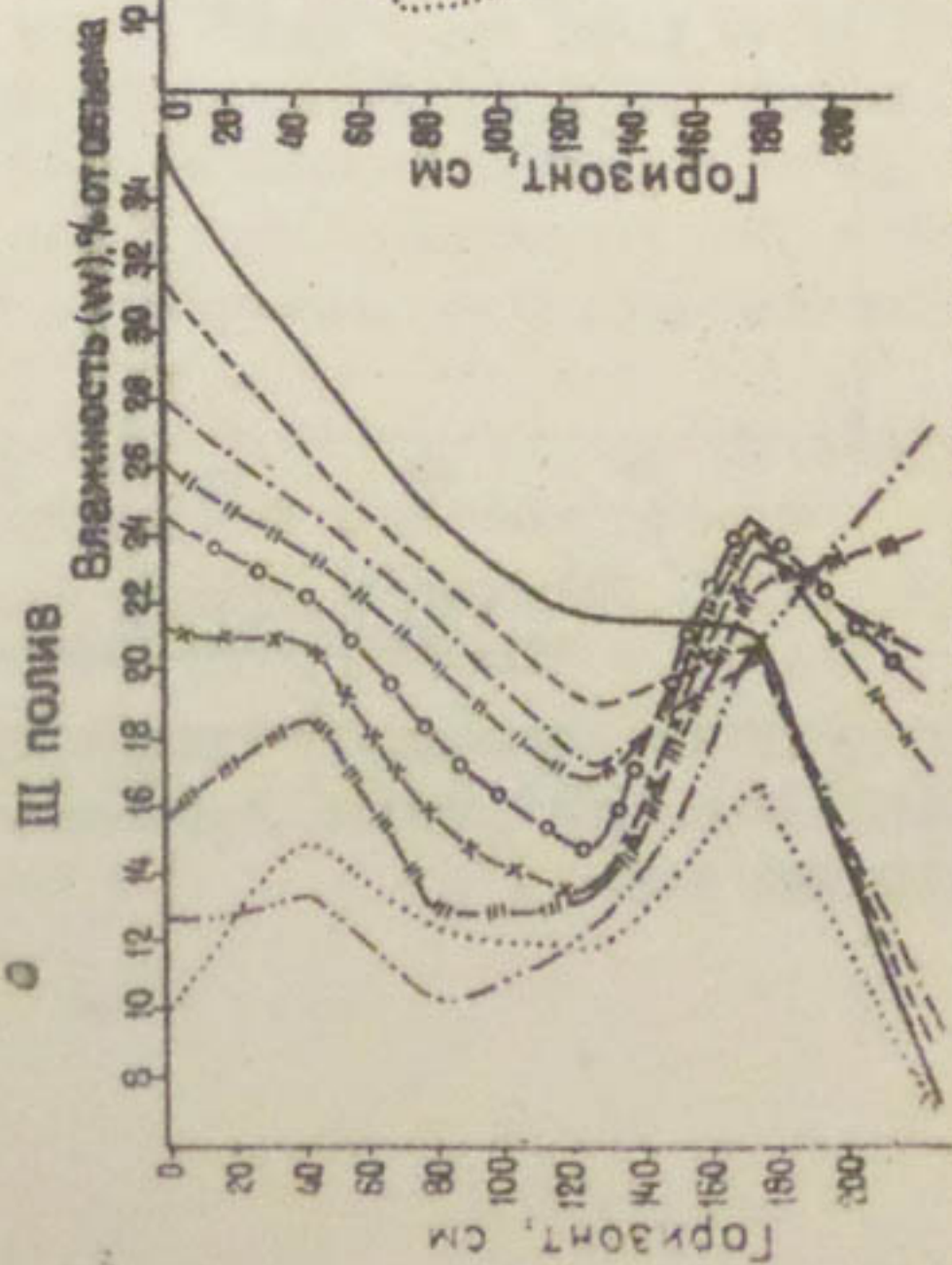
# I полив



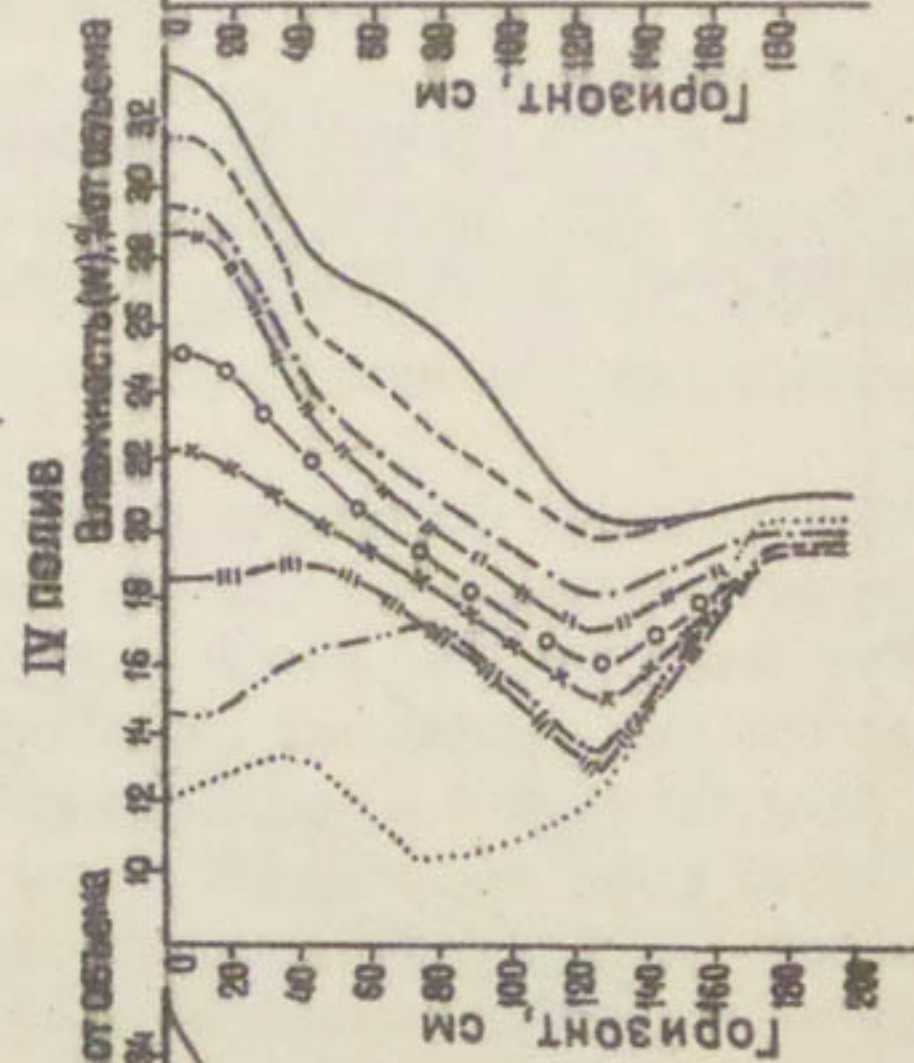
# II полив



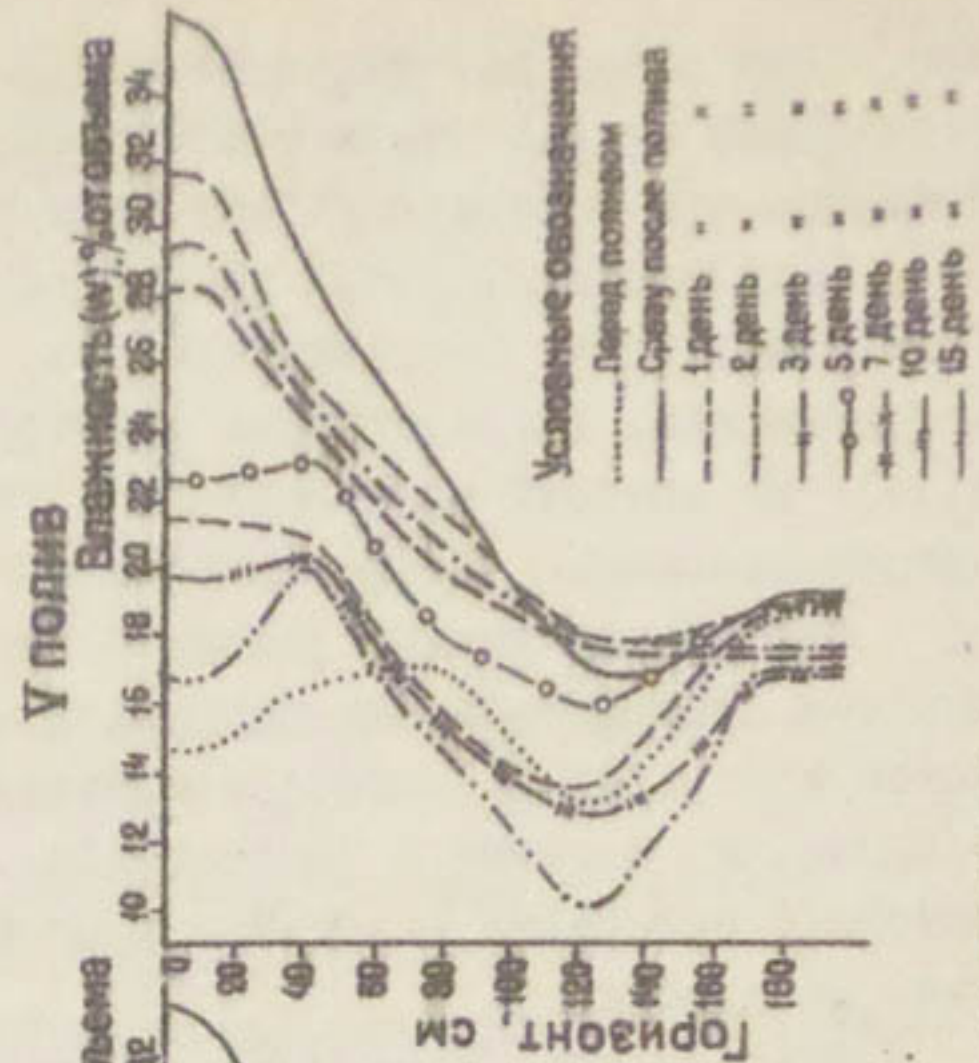
# III полив



# IV полив



# V полив



Условные обозначения

- ..... Перед поливом
- Сразу после полива
- 1 день
- 2 день
- 3 день
- 5 день
- 7 день
- 10 день
- 15 день

Рис. 1. Динамика влажности почвогрунтов в межполивные периоды.

ние. При этом, как видно из рис.1, наблюдается сток влаги (просачивание) из расчетных слоев в нижележащие горизонты, что учитывается при определении величины суммарного испарения.

Величина суммарного испарения зависит от многих факторов (влажность почв, тепловая энергия, притекающая к поверхности, затененность, возделываемая культура, агротехнический фон и т.д.), из которых влажность почв является главным показателем, предопределяющим общий расход влаги.

При прочих равных условиях интенсивность испарения и транспирации пропорциональна влажности почвогрунтов. Связь интенсивности испарения и влажности почвы установили Ф.Е.Колясев и М.К.Мельникова, отметив 3 критические, или переломные, точки, между которыми испарение находится в прямолинейной зависимости от величины влажности.

Зависимость суммарного испарения от влажности верхнего метрового слоя почв (для первого полива взят слой 0-80 см), по материалам наших исследований, показана на рис.2. Уравнения связи,

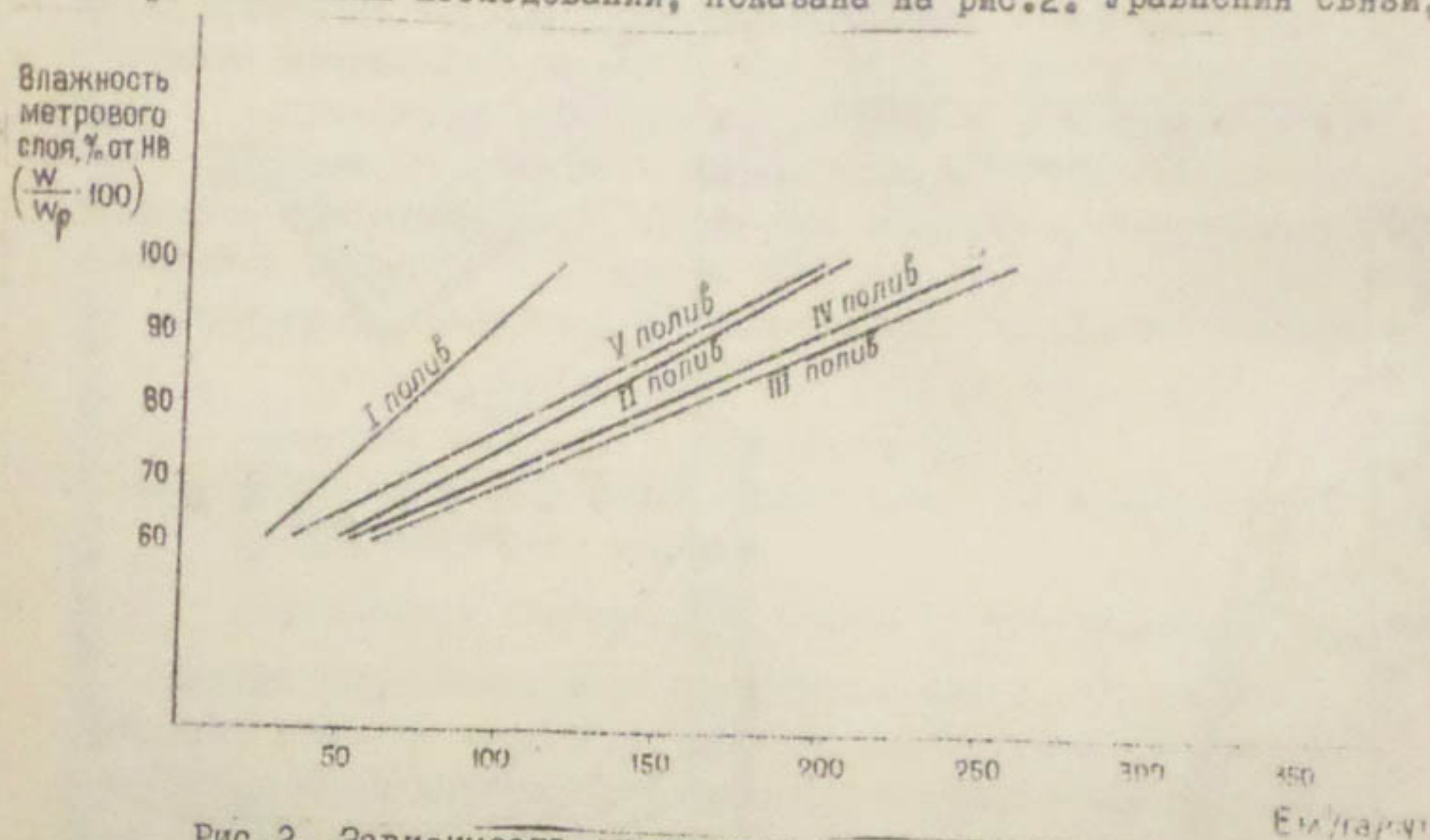


Рис.2. Зависимость суммарного испарения от влажности метрового слоя почвогрунтов.

или уравнения зависимости суммарного испарения от влажности метрового слоя почвогрунтов, выраженные в процентах от НВ, имеют следующий вид:

$$E_1 = 230 \quad \frac{W}{W_p} - 110 \text{ м}^3/\text{га}/\text{сут}$$

$$E_2 = 390 \quad \frac{W}{W_p} - 185$$

$$E_3 = 500 \quad \frac{W}{W_p} - 240$$

$$E_4 = 495 \quad \frac{W}{W_p} - 245$$

$$E_5 = 412 \quad \frac{W}{W_p} - 212,$$

где  $W$  — фактическая влажность расчетного слоя почв;

$W_p$  — влажность того же слоя при НВ.

Коэффициенты корреляции достаточно высоки:  $r_1 = 0,90$ ;

$r_2 = 0,98$ ;  $r_3 = 0,89$ ;  $r_4 = 0,87$ ;  $r_5 = 0,95$ .

Зависимости расхода влаги на суммарное испарение по второму, третьему, четвертому и пятому поливам очень сходны (рис.3). Первый же полив отличается от последующих наименьшим значением, что объясняется интенсивным в этот период физическим испарением и незначительной транспирацией вследствие несформированности кустов хлопчатника.

Влажность почвы между поливами колеблется от величин, близких к НВ (в верхних горизонтах выше НВ, а в нижних — ниже ее), до пределов ниже 60% от НВ. Наличие влаги сверх НВ сразу после полива отмечено было В.Р.Шредером. По его данным, она составила значительную величину, на основании чего В.Р.Шредер внес коррективы в расчет поливной нормы, вводя в нее влагу сверх НВ. Наши данные (табл.1) свидетельствуют о том, что после окончания поливов влажность в слое 0-60 см была заметно выше ее НВ, а в последующем слое (60-100 см) — ниже. Объясняется это, по-видимому, характером увлажнения почвогрунтов при бороздковом способе полива.

Таблица 1

Влажность почвогрунтов сразу после окончания поливов

| № полива | Влажность в слое 0-60 см |         | Влажность в слое 0-100 см |         |
|----------|--------------------------|---------|---------------------------|---------|
|          | % от объема              | % от НВ | % от объема               | % от НВ |
| 1        | 32,3                     | 108,3   | 25,3                      | 88,4    |

| № полива | Влажность в слое 0-60 см |         | Влажность в слое 0-100 см |         |
|----------|--------------------------|---------|---------------------------|---------|
|          | % от объема              | % от НВ | % от объема               | % от НВ |
| II       | 31,9                     | 107,0   | 29,3                      | 102,4   |
| III      | 33,0                     | 110,7   | 30,3                      | 105,9   |
| IV       | 31,4                     | 105,3   | 29,1                      | 101,7   |
| V        | 31,7                     | 106,3   | 27,5                      | 96,1    |

Если полевая влагоемкость почв как-то определяет верхний предел их оптимальной влажности, то установление нижнего предела влажности перед поливами, по мнению С.Н.Рыжова, — основная и наиболее трудная задача проблемы орошения хлопчатника. На почвах со слоистым строением, какими являются почвы опытного участка, вероятно, допустимы более низкие пределы увлажнения (ниже 70% от НВ). По данным режимных наблюдений за влажностью этих почв, сроки поливов часто не соответствовали названной выше влажности. Как правило, поливы на участке проводились при средней влажности метрового слоя 54-56% от НВ, тем не менее, это позволяло добиваться урожайности 32-35 ц/га.

В расчетах оптимальных поливных норм для исследованных почвогрунтов принят нижний предел иссушения расчетного слоя, равный 60% от НВ. Эта величина близка к максимальной молекулярной влагоемкости почв (ММВ), определенной путем отсасывания капиллярной влаги фильтровальной бумагой.

С.Н.Рыжов, устанавливая нижний предел оптимального увлажнения, определял водоотдачу почв при постепенно снижающейся влажности. Определяя водоотдачу почв по методу Секера с применением гипсового всасывания в 50,6 атм на распространенных почвах Ферганской долины, он отметил: "Эти данные свидетельствуют о том, что при влажности в 50-70% от НВ поступление воды в гипсовый всасыватель сильно замедляется. Кривые водоотдачи от этих точек имеют почти горизонтальное направление". Следует добавить, что принятый нами предел оптимального увлажнения (60% от НВ) в сфере основной массы корней хлопчатника несколько выше, так как перед поливом в натуре почвогрунты сильно иссушены в самом

верхнем (15-20 см) горизонте, практически не содержащем всасывающих корневых волосков.

На опытном участке иссушение верхнего 20-сантиметрового слоя перед поливом достигало 45% от НВ, а в последующих горизонтах (20-60 и 60-100 см) соответственно примерно 60-70%. Средняя влажность в слое 20-100 см, т.е. в сфере основной массы корней, составляла 65% от НВ.

Наблюдения за влажностью почв показали, что значительная часть оросительной воды расходуется в первые дни после полива (см. рис. 3). По данным опытного участка можно сделать вывод, что поливные нормы, равные 900-1100 м<sup>3</sup>/га, рассчитанные по пределу иссушения 70% от НВ, расходуются примерно за неделю, а влага в интервале 70-60% от НВ расходуется более экономно, что позволяет удвоить продолжительность междоливных периодов. При возделывании хлопчатника в Сурхандарьинской области производят 5-6 вегетационных поливов, и это позволяет получать высокий урожай. Предполивная влажность почв при этом ниже 70% от НВ, если учесть интенсивность расхода влаги в интервале 100-70% от НВ.

Как указывалось, влажность почв в оросительный период не всегда соответствовала допустимому пределу иссушения, особенно перед третьим, четвертым и пятым поливами. Принимая сроки поливов и продолжительность междоливных периодов, можно получить нормы водопотребления, близкие к проектным или расчетным.

Данные суммарного испарения почвенной влаги в оптимальных условиях увлажнения почв приведены в табл. 2. Количество поливов - 6. Суммарное испарение за оросительный период - 8020 м<sup>3</sup>/га. Эта величина представляет оросительную норму нетто. Оросительная норма брутто должна учитывать расход воды на испарение и транспирацию за время поливов и потери на просачивание, связанные с неравномерностью распределения воды по полю при бороздковом поливе.

Расход воды на испарение и транспирацию за время проведения поливов может быть принят по расходу воды в первые дни после полива. Водопроницаемость опытных почв позволяет провести первый полив (959 м<sup>3</sup>/га) за сутки, а каждый из остальных поливов - за двое суток.

По данным наблюдений за ежедневным расходом влаги до и

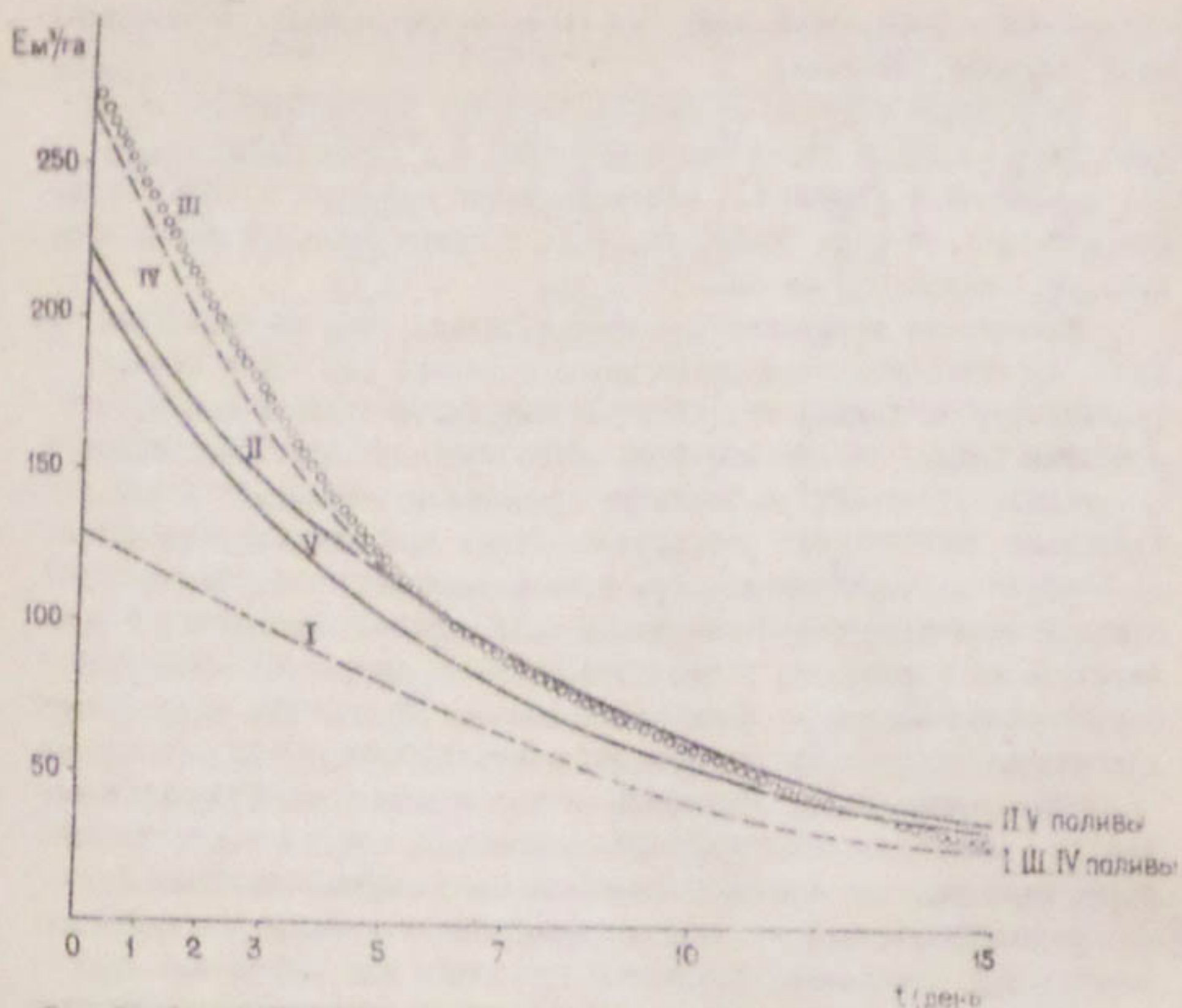


Рис.3. Суммарное испарение почвенной влаги хлопковым полем после вегетационных поливов ( $\text{м}^3/\text{га}/\text{сут}$ ).

Таблица 2  
Суммарное испарение почвенной влаги по поливам в оптимальных условиях ( $\text{м}^3/\text{га}/\text{сут}$ )

| В по-<br>лив           | Дни после полива |     |     |     |     |      |    |    |    |    |    |       | Всего<br>за ме-<br>сц<br>поли-<br>ва<br>про-<br>д.,<br>$\text{м}^3/\text{га}$ | Расход<br>воды за<br>время про-<br>д.,<br>полно,<br>$\text{м}^3/\text{га}$ |
|------------------------|------------------|-----|-----|-----|-----|------|----|----|----|----|----|-------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
|                        | 1                | 2   | 3   | 4-5 | 6-7 | 8-10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16-18 |                                                                               |                                                                            |
| 1                      | 120              | 111 | 102 | 87  | 71  | 51   | 38 | 33 | 30 | 26 | 26 | -     | 959                                                                           | 76                                                                         |
| 2                      | 205              | 175 | 153 | 130 | 100 | 75   | 54 | 45 | -  | -  | -  | -     | 1321                                                                          | 254                                                                        |
| 3                      | 260              | 223 | 190 | 140 | 105 | 75   | 60 | -  | -  | -  | -  | -     | 1450                                                                          | 320                                                                        |
| 4                      | 250              | 215 | 180 | 137 | 103 | 75   | 56 | 52 | -  | -  | -  | -     | 1452                                                                          | 302                                                                        |
| 5                      | 225              | 193 | 162 | 126 | 95  | 70   | 50 | 42 | 36 | 33 | 30 | -     | 1425                                                                          | 254                                                                        |
| 6                      | 200              | 165 | 143 | 115 | 85  | 65   | 52 | 46 | 42 | 37 | 35 | 100   | 1415                                                                          | 230                                                                        |
| За оросительный период |                  |     |     |     |     |      |    |    |    |    |    |       | 8020                                                                          | 1455                                                                       |

после полива можно получить среднюю величину, которая представляет собой расход влаги на испарение и транспирацию за время проведения полива. За оросительный период эта величина составила  $4435 \text{ м}^3/\text{га}$ .

Исследования почвогрунты (III гидромодульный район) позволяют провести поливы с минимальными потерями воды на просачивание, которые могут быть равными 5% от оросительной нормы нетто. Тогда оросительная норма брутто может быть равной  $40000 \text{ м}^3/\text{га}$ . Эта норма не включает запасные и промывные поливы, которые предусмотрены расчетным режимом орошения Средазгипроводхлопка.

### Л и т е р а т у р а

1. Бусарова О.Е. Некоторые результаты исследования водного баланса орошаемых почв в межполивные периоды. — Сб. "Формирование ресурсов вод суши". М., "Наука", 1972.
2. Долгов С.И., Бадюнина А.Ф., Нерсесова З.А. Методы изучения водных свойств и водного режима почв. — В кн.: Агрофизические методы исследования почв. М., "Наука", 1966.
3. Колясев Ф.Е., Мельникова М.К. К теории дифференциальной влажности почвы. — "Почвоведение", 1949, № 3.
4. Меднис М.П., Исмаилов Р.И. Орошение хлопчатника на новоосваиваемых такырных почвах. — "Хлопководство", 1972, № 7.
5. Мичурин В.Н. Испарение воды почвой. — В кн.: Основы агрофизики. М., Физматгиз, 1959.
6. Побережский Л.Н. Закономерности пространственной изменчивости влажности орошаемой почвы под хлопчатником. — "Почвоведение", 1973, № 3.
7. Рыжов С.Н. Орошение хлопчатника в Ферганской долине. Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1948.
8. Рыжов С.Н. Потребность различных культур в орошении. — В кн.: Почвы аридной зоны как объект орошения. М., "Наука", 1968.

9. Шредер В.Р. О поливной норме. — "Хлопководство", 1963, № 2.
10. Шредер В.Р. и др. Расчетные значения оросительных норм сельскохозяйственных культур в бассейнах рек Сырдарьи и Амударьи. Ташкент, 1970.

УДК 634.443.24-634.6.626.87

Г.П.Белова

В.Е.Клыков, инж., аспирант

Д.Ф.Шульгин, д-р техн. наук, проф., зав. каф.

(Калининский политехнический ин-т)

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИФфуЗИИ И РАВНОВЕСНОЙ СОРЕБЦИИ СОЛЕЙ В ПОЧВОГРУНТАХ ПО ДАННЫМ ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ

Практическая ценность и достоверность решения задач по прогнозу солевого режима в почвогрунтах в значительной степени зависят от точности определения опытных параметров переноса солей, входящих в коэффициенты дифференциальных уравнений, описывающих процесс движения солей в пористой среде. К настоящему времени разработано несколько методов определения параметров  $D$  и  $m_z$  (коэффициент гидродисперсии и эффективная пористость), интегрально учитывающих влияние многих факторов на процесс солепереноса [1]–[4]. Наибольшую ценность имеют методы, позволяющие находить параметры по данным эксперимента в полевых условиях, близких к производственным. Большинство из имеющихся методов основано на допущениях, что начальное распределение концентрации солей по глубине в рассматриваемой толще равномерное ( $C_0(x) = C_0 = \text{const}$ ) и в течение опыта поддерживается постоянная скорость фильтрации ( $v(t) = \text{const}$ ). Однако в натурных экспериментах эти условия едва ли могут иметь место, а обратные задачи по определению параметров зачастую весьма чувствительны ко всякого рода осреднениям.

В настоящей статье рассматривается интегральный метод определения параметров  $D$  и  $m_z$  в полевых условиях для произвольного начального распределения концентрации солей по глубине

$C_0(x)$  и произвольного закона изменения скорости фильтрации  $v(t)$  в течение опыта, основанный на проведении послойной со-

левой съемки перед тактом промывки и после его окончания.

Предлагаемый метод предусматривает проведение двух тактов промывки опытной площадки. На площадке создают слой воды некоторой глубины  $h_0$  и дают ей впитаться. В результате первого такта происходит промачивание засоленного почвогрунта на некоторую глубину  $l$ . Если грунтовые воды залегают неглубоко, то лучше промачивание вести до смыкания промывных вод с грунтовыми. При этом достигается переход легкорастворимых солей из твердой фазы в жидкое состояние и насыщение водой порового пространства промоченной толщи грунта. По окончании первого такта проводится послойный анализ отобранной колонки грунта длиной  $L \leq l$  на водную вытяжку и влажность, строится эпюра распределения концентрации (г/л) рассматриваемой соли (или токсичного иона) в поровом растворе в зависимости от глубины  $C_1(x, T_1)$ ;  $0 \leq x \leq L$ ,  $T_1$  — момент окончания первого такта промывки. Концентрацию  $C$  г/л определяют по известной методике, зная по отбору проб грунта содержание солей в процентах от веса почвы, объемную влажность и объемный вес почвы.

Сразу после отбора колонки грунта для анализа проводится второй такт промывки уже водонасыщенной толщи, распределение солей в которой известно по результатам опыта при первом такте. На протяжении второго такта ( $T_1 \leq t \leq T_2$ ) следует определить зависимость скорости фильтрации от времени  $V(t)$ . После его окончания аналогично отбирается грунт на водную вытяжку и влажность, строится эпюра распределения концентрации рассматриваемой соли (иона)  $C_2(x, T_2)$  в толще  $0 \leq x \leq L$ . Вторым тактом лучше делать кратковременным. Важно, чтобы за время его проведения возмущение солевого состояния в водонасыщенной толще было выявлено по солевой эпюре  $C_2(x, T_2)$ .

Рассмотрим теперь метод определения параметров  $m_3$  и  $D$ , если известны две солевые эпюры  $C_1(x, T_1)$  и  $C_2(x, T_2)$  и скорость фильтрации  $V(t)$ . Для нахождения  $m_3$  составим уравнение солевого баланса за время второго такта промывки для толщи грунта  $0 \leq x \leq L$ , из которой брались пробы на водную вытяжку:

$$C_n \int_{T_1}^{T_2} V(t) dt + m_3 \int_0^L C_1(x, T_1) dx = \int_{T_1}^{T_2} C(L, t) V(t) dt + m_3 \int_0^L C_2(x, T_2) dx. \quad (1)$$

Здесь  $C_n$  — концентрация рассматриваемой соли в промывной воде.

Концентрация солей в сечении  $x=L$   $c(L, t)$  может быть осреднена за время  $\Delta t = T_2 - T_1$ :  $c(L, t) \approx c_L \approx \frac{1}{2} [c_1(L, T_1) + c_2(L, T_2)]$ . Тогда из выражения (1) найдем  $m_3$ :

$$m_3 = \frac{\int_{T_1}^{T_2} (c_L - c_n) \int_0^L v(t) dt}{\int_0^L [c_1(x, T_1) - c_2(x, T_2)] dx} dt. \quad (2)$$

Для определения параметра  $D(v) = \lambda v(t)$  воспользуемся решением следующей краевой задачи, описывающей процесс перераспределения солей в водонасыщенном грунте [3]:

$$m_3 \frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v(t) \frac{\partial c}{\partial x}, \quad (0 \leq x < \infty) \quad (3)$$

$$t = T_1: \quad c(x, T_1) = c_1(x, T_1) \quad (4)$$

$$x = 0: [c(0, t) - c_n] v(t) = D \frac{\partial c(0, t)}{\partial x}, \quad x = \infty: \frac{\partial c(\infty, t)}{\partial x} = 0, \quad (5)$$

где  $x$  — глубина от поверхности земли, м;

$c(x, t)$ ,  $C_n$  — концентрация рассматриваемой соли в почвенном растворе и промывной воде соответственно, г/л;

$v(t)$  — скорость фильтрации, м/сут;

$D = \lambda v$  — коэффициент гидродисперсии, м<sup>2</sup>/сут;

$\lambda = \text{const}$  — параметр дисперсии, м;

$m_3 = m(1+\alpha)/\alpha$  — эффективная пористость грунта;

$m$  — активная пористость;

$\alpha$  — коэффициент распределения соли между скелетом почвы и поровым раствором в условиях равновесия по динейной изотерме Генри [1].

Сделаем в задаче (3)–(5) замену переменных

$$u(x, t) = c(x, T_1) - c(x, T) = c_1(x, T_1) - c(x, t) \quad \tau = \int_{T_1}^t v(t) dt$$

и применим к уравнению (3) преобразование Лапласа по переменной  $x$ . После этого уравнение (3) в области изображения примет вид:

$$m_3 \frac{d\bar{u}}{d\tau} = p(1 - \lambda p)(\bar{c}_0 - \bar{u}) + \lambda p [c_1(0, T_1) - u(0, \tau)] + c_n, \quad (6)$$

где  $\bar{u}(\rho, \tau) = \int_0^\infty u(x, \tau) l^{-\rho x} dx$ ,  $\bar{c}_0 = \int_0^\infty c_1(x, T_1) l^{-\rho x} dx$  — изображения функций  $u(x, \tau)$  и  $c_1(x, T_1)$ ,  $\rho$  — параметр преобразования Лапласа,  $c_1(0, T_1) = u(0, \tau) = c(0, \tau)$ . Запишем уравнение (6) при  $\rho = 1/\lambda$ :

$$m_2 \frac{d\bar{u}}{d\tau} = c(0, \tau) - c_n. \quad (7)$$

Его решение имеет вид:

$$\bar{u}/\rho = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{m_2} \left[ \int_0^\tau c(0, \tau) d\tau - c_n \tau \right]. \quad (8)$$

Анализ различных аппроксимаций функции  $c(0, \tau)$  показал, что наилучшее приближение дает функция

$$c(0, \tau) = c_n + [c_1(0, T_1) - c_n] \exp(-b\sqrt{\tau}),$$

где постоянная  $b$  может быть легко найдена, если известна концентрация соли во входном сечении потока ( $x=0$ ) для двух моментов времени:  $c_1(0, T_1)$  и  $c_2(0, T_2)$

$$b = \frac{1}{\sqrt{\tau_1}} \ln \frac{c_1(0, T_1) - c_n}{c_2(0, T_2) - c_n}, \quad (\tau_1 = \int_{T_1}^{\infty} v(t) dt). \quad (9)$$

Тогда интеграл в уравнении (8) вычисляется аналитически и выражение для  $\bar{u}/\rho = \frac{1}{\lambda}$ , записанное для момента  $t = T_2$  окончания второго такта промывки (этому моменту соответствует  $\tau = \tau_1 = \int_{T_1}^{\infty} v(t) dt$ ), примет вид:

$$\bar{u}\left(\frac{1}{\lambda}, \tau_1\right) = \frac{2[c_1(0, T_1) - c_n]}{m_2 b} \left[ \frac{1}{b} - \left( \sqrt{\tau_1} + \frac{1}{b} \right) l^{-b\sqrt{\tau_1}} \right], \quad (10)$$

где  $m_2$  вычисляется по формуле (2), а  $b$  — по формуле (9). Таким образом,  $\bar{u}\left(\frac{1}{\lambda}, \tau_1\right)$  может быть вычислено по известным солевым эпюрам  $c_1(x, T_1)$ ,  $c_2(x, T_2)$  и скорости фильтрации  $v(t)$ .

После нахождения  $\bar{u}\left(\frac{1}{\lambda}, \tau_1\right)$  параметр дисперсии  $\lambda$  определяется графически. Для этого строится график функции

$$\bar{u}(\rho, \tau_1) = \int_0^\infty [c_1(x, T_1) - c_2(x, T_2)] l^{-\rho x} dx \quad (11)$$

в зависимости от  $\rho$ . При небольшой продолжительности второго такта промывки возмущение солевого состояния захватывает ограниченную толщу и, кроме того, подинтегральная функция в формуле (11) резко убывает с возрастанием  $x$  за счет множителя  $l^{-\rho x}$ . Поэтому для приближенного вычисления  $\bar{u}(\rho, \tau_1)$  можно пользоваться формулой

$$\bar{u}(\rho, \tau_1) = \int_0^L [c_1(x, T_1) - c_2(x, T_2)] l^{-\rho x} dx. \quad (12)$$

Для построения графика  $\bar{u}(\rho, \tau_1) = f(\rho)$  следует вычислить по формуле (11)  $\bar{u}(\rho, \tau_1)$  для нескольких  $\rho$  и соединить полученные точки плавной кривой. Далее абсцисса точки пересечения этого графика с прямой  $\bar{u}(\rho, \tau_1) = \bar{u}(\frac{1}{\lambda}, \tau_1)$  дает значение  $\bar{\rho} = \frac{1}{\lambda}$ , откуда получим

$$\lambda = \frac{1}{\bar{\rho}} \quad (\text{или } D = \frac{1}{\bar{\rho}} v). \quad (13)$$

Приведем теперь пример расчета параметров  $m_2$  и  $\lambda$  по изложенной методике. В таблице приведены солевые эпюры  $c_1(x, T_1)$  и  $c_2(x, T_2)$ , полученные соответственно после первого и второго такта промывки опытной площадки. Промачивание за время первого такта охватило слой глубиной  $l = 0,9$  м,  $c_n = 0,3$  г/л. Скорость фильтрации в течение второго такта продолжительностью  $\Delta t = 0,25$  сут поддерживалась постоянной  $V_0 = 0,1$  м/сут.

Таблица

Солевые эпюры, полученные после первого и второго тактов промывки

| $x$ м             | 0    | 0,15 | 0,30 | 0,45 | 0,60 | 0,75 | 0,90 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| $c_1(x, T_1)$ г/л | 6,28 | 7,88 | 8,99 | 9,61 | 9,88 | 9,97 | 9,99 |
| $c_2(x, T_2)$ г/л | 5,13 | 6,52 | 7,72 | 8,64 | 9,27 | 9,65 | 9,84 |

За расчетный слой примем толщу  $0 \leq x \leq L = 0,6$  м. Так как  $v = \text{const}$ , то  $\tau_1 = 0,025$  м. При дальнейших расчетах интегралы, входящие в выражения (2) и (11), вычислялись по формуле параболических трапеций Симпсона. Ниже приводятся расчет параметров  $m_2$  и  $\lambda$  и полученные результаты.

Вначале вычисляем интеграл:

$$\int_0^L [c_1(x, T_1) - c_2(x, T_2)] dx = \bar{u}(0, \tau_1) = 0,681$$

$$c_L = 0,5 [c_1(L, T_1) + c_2(L, T_2)] = 9,575.$$

По формуле (2) находим

$$m_2 = (c_L - c_n) \tau_1 \int_0^L [c_1(x, T_1) - c_2(x, T_2)] dx = 0,34.$$

Далее вычисляем

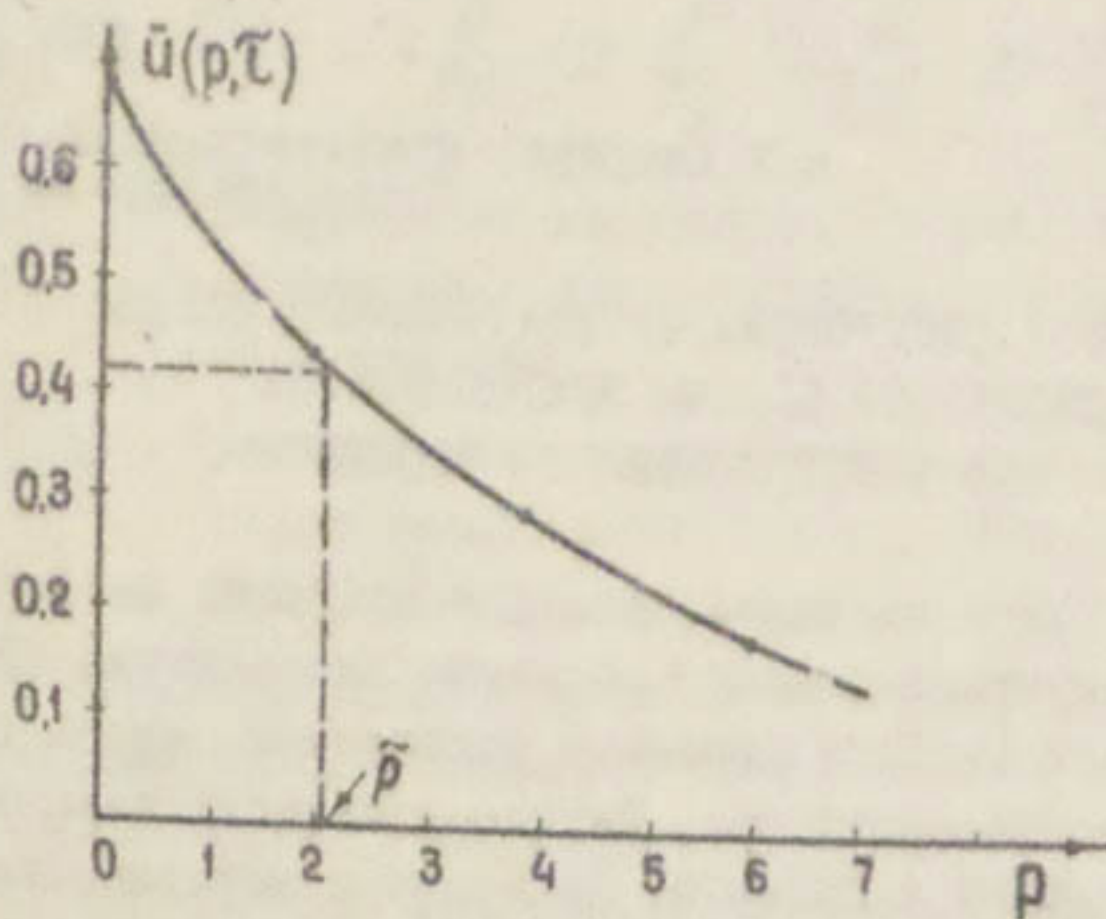
$$b = \frac{1}{\sqrt{\tau_1}} \ln \frac{c_1(0, T_1) - c_n}{c_2(0, T_2) - c_n} = 1,24$$

и по выражению (10) определяем  $\bar{u}(\frac{1}{\lambda}, \tau_1) = 0,412$ .

После этого вычислим интегралы формулы (12) при  $\rho = 2, 4, 6$  (при  $\rho = 0$  он вычислен ранее):

$$\bar{u}(2, \tau_1) = 0,417, \quad \bar{u}(4, \tau_1) = 0,28, \quad \bar{u}(6, \tau_1) = 0,15.$$

На рисунке представлено графическое определение  $\bar{\rho} = \frac{1}{\lambda}$ .



Отсюда следует  $\bar{\rho} = 2,1$ ;  $\lambda = 0,48$  м.

Решение прямой задачи (3)–(5) при найденных параметрах  $m_2$  и  $\lambda$  и для начального распределения солей  $C_1(x, T_1)$ , заданного в таблице, дает хорошее совпадение решения для момента времени  $T_2 - T_1 = t = 0,25$  сут с соответствующими значениями  $C_2(x, T_2)$  из таблицы.

### Л и т е р а т у р а

1. Веригин Н.Н., Голованова Н.К. Методы лабораторного определения параметров диффузии и сорбции при фильтрации в пористых средах. – Тр.ин-та "ВОДГЕО", вып.29. М., 1971.
2. Рекс Л.М. Определение параметров переноса солей. – Сб. "Теория и практика борьбы с засолением орошаемых земель". М., "Колос", 1971.

3. Пудыгин Д.Ф., Мавринов Р. Определение параметров переноса солей в почвогрунтах по данным полевых опытов. - Сб. "Мелиорация и водное хозяйство", вып. 26. Киев, "Урожай", 1973.
4. Инструкция по проектированию оросительных систем, ч. VII - Дренаж на орошаемых землях, ВСН-П-8-74. М., 1975.

УДК 634.4:54

Н.Р.Хамраев, канд. техн. наук, начальник  
Главселекцбазирсхозострой

# К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВУМЕРНОЙ ЗАДАЧИ ВЛАГОПЕРЕНОСА ПРИ ВНУТРИПОЧВЕННОМ ОРОШЕНИИ

С 1970 г. Главселекцбазирсхозострой проводит экспериментальные работы по внутрипочвенному орошению хлопчатника (ВПО). К исследованиям этого способа орошения привлечены, кроме подразделений Главселекцбазирсхозострой, научно-исследовательские институты СоюзНИИ, АФНИИ и САНИИРИ. Применение внутрипочвенного орошения оказалось эффективным в части экономии воды, повышения урожайности и механизации полива.

При ВПО в качестве увлажнителей применяются полиэтиленовые трубки с выпусками-перфорациями или пористыми стенками, обеспечивающими практически непрерывное увлажнение грунта по длине трубки. В опытных системах ВПО хлопчатника в Голодной степи вода поступает в перфорированные трубки-увлажнители из распределительных труб, питающихся из лотков [1].

При внутрипочвенном орошении важно знать скорость роста контуров увлажнения во времени, их форму и размеры, в зависимости от гидрофизических характеристик грунта. Это необходимо для более обоснованного назначения расстояний между увлажнителями, определения поливных норм в различные стадии развития растений, назначения расчетных расходов и гидравлических расчетов систем ВПО. Определение основных параметров систем внутрипочвенного орошения и регулирование процессов увлажнения требуют знания законов передвижения влаги в ненасыщенной среде (почве).

Обычно при изучении законов передвижения влаги в ненасыщенной среде пользуются обобщенным законом Дарси, физический смысл которого заключается в том, что скорость движения влаги пропорциональна градиенту потенциала. Предполагая выполнение обобщенного закона Дарси и пренебрегая движением воздуха в порах, задачу о движении влаги в почве сводят к интегрированию нелинейного уравнения параболического типа:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \frac{\partial K}{\partial z}, \quad (1)$$

где  $\theta$  — влажность грунта;  
 $D$  — коэффициент диффузивности влаги;  
 $K$  — коэффициент влагопроводности грунта, зависящий от влажности.

$D = K(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial \theta}$ ;  $\psi$  — капиллярное давление почвенной влаги. Каждый грунт характеризуется определенной зависимостью  $\psi = \psi(\theta)$ .

Таким образом, распространение влаги в почве трактуется как некоторый диффузионный процесс с коэффициентом диффузии, зависящий от концентрации диффундирующего вещества. Необходимо отметить, что здесь речь может идти только о формальной аналогии уравнения (1) с уравнением диффузии, так как настоящая диффузия представляет собой перемещение частиц в направлении убывания их концентрации, обусловленное их тепловым движением, в то время как в нашем случае движение влаги обусловлено соответствующими силовыми полями. Дон Киркхэм и Фэнг [2], изучая передвижение влаги в горизонтальных колоннах, пришли к выводу, что экспериментальные кривые распределения влаги свидетельствуют о хорошо известном явлении — возникновении резкого перехода от смоченной части колонны к несмоченной, т.е. фронта смачивания. В то же время теоретические кривые, найденные с помощью уравнения диффузионного типа, имеют плавную форму, указывающую на плавное, равномерное изменение влажности. Следовательно, опытные данные не подтверждают возможности приложения теории собственно диффузии.

При решении задачи о передвижении влаги в почве в одномерной постановке уравнение (1) записывается в виде

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( D \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \frac{\partial K(\theta)}{\partial z}. \quad (2)$$

Общее решение уравнения (2) затруднительно: для любых граничных условий нужно знать зависимости между  $\theta$ ,  $\psi$  и  $K$ . Эти зависимости, как правило, очень сложны и обычно требуют численных методов решения. Трудность усугубляется еще и тем, что если  $K$  является, вероятно, однозначной функцией от  $\theta$ , то  $\psi$  и  $D$  вследствие гистерезиса заведомо не являются однозначными функциями от  $\theta$ . Необходимо отметить, что установление зависимостей  $D(\theta)$ ,  $K(\theta)$  и  $\psi(\theta)$  до сих пор представляет собой тему исследований.

С.Ф. Аверьянов [3], рассматривая передвижение влаги при неполном насыщении грунта как движение в цилиндрической трубке при частичном ее заполнении, нашел, что

$$K(\theta) = K_{\varphi} \left( \frac{\theta - \theta_0}{\sigma - \theta} \right)^{3,5}, \quad (3)$$

где  $K_{\varphi}$  — коэффициент фильтрации;

$\theta_0$  — связанная влага;

$\sigma$  — пористость.

На кривую, построенную по формуле (3) Аверьянова, хорошо ложатся экспериментальные данные Муура [4], Ричардса [5] и Лейбензона [6]. Гарднер [7], изучая движение жидкости в пористой среде, установил, что связь между диффузивностью и влажностью может быть выражена формулой

$$D(\theta) = D_0 \exp \beta (\theta - \theta_0), \quad (4)$$

где  $D_0$  — диффузивность при  $\theta_0$ , т.е. начальной влажности;

$\beta$  — постоянная величина, зависящая от свойств почвы.

Еще труднее задача нахождения капиллярного давления как функции влажности  $\theta$ . С.Ф. Аверьяновым для определения  $\psi(\theta)$  предложена формула:

$$\psi(\theta) = - \frac{\psi_0 \theta_0}{\theta} \frac{1 - (\theta/\theta_1)^3}{1 - (\theta_0/\theta_1)^3}, \quad (5)$$

где  $\psi_0$  — давление при  $\theta_0$ ;

$\theta_1$  — полная влагоемкость.

Закономерности передвижения влаги в ненасыщенной почве были предметом многих исследований. Обычно решение задачи сводится к следующему. Задается какая-то область с присущими ей гра-

ничными условиями и хотят узнать природу течения в этой области. Решая общее уравнение течения при этих граничных условиях, можно найти распределение потенциала влажности как функцию пространственных координат и времени. Таким путем можно предсказывать характер течения жидкости в данной области. Одна из первых попыток в этом направлении принадлежит, по-видимому, Ричардсу [8], который предложил в этом случае пользоваться формулой Дарси. Основная трудность применения формулы Дарси заключается в том, что коэффициент  $K$ , характеризующий влагопроводность почвы, является функцией влагосодержания последней, так как жидкая влага может передвигаться только через ту часть порового пространства, которая занята влагой. При этом, по-видимому, в разных микрообластях пространства, хотя они и заполнены влагой, проводимость различна. Разработкой вопроса о движении влаги в ненасыщенной почве занимались Чайльдс и Коллис-Джордж [9], Клют [10], Филипп [11], Гарднер [7], Янгс [12], Судницын [13] и другие исследователи.

Первоначально предполагалось, что проводимость прямо пропорциональна содержанию влаги. Но дальнейшие исследования показали, что это не так и что влагопроводность убывает в общем быстрее, чем влажность. Главная причина — в уменьшении площади поперечного сечения, занятого водой, так как влага движется только через ту долю порового пространства, которая занята водой. Кроме того, с уменьшением влажности в первую очередь дренируются более крупные поры, т.е. поры с наименьшим сопротивлением движущейся воде, вследствие чего влагопроводность уменьшается быстрее, чем влажность, так как влагопроводность уменьшается пропорционально квадрату диаметра пор. И, наконец, с уменьшением влажности увеличивается количество скоплений воды, изолированных от общей трехмерной водной сетки и не принимающих участия в фильтрации.

По поводу решения задачи о движении воды в ненасыщенных почвах Филипп пишет, что водспроницаемость  $K$  и отрицательное давление  $\psi$  не могут быть выражены должным образом в форме аналитических функций и обычно даются в форме таблиц или графически. Поэтому формальные математические методы неприменимы и приходится

ся прибегать к численным или механическим методам.

Из вышеизложенного следует, что решение задачи о передвижении влаги в неполностью насыщенной среде представляет собой довольно сложную проблему. Задача в одномерной постановке решена многими исследователями различными приближенными методами [14].

Примером эффективного применения аналоговых методов может служить результат, полученный Л.Е.Чернышевой [15]. В работе [15] дается решение уравнения (2) для горизонтального течения (когда второй член правой части зависимости (2) отсутствует) на гидроинтеграторе В.С.Лукьянова, принцип работы которого основан на методе конечных разностей и гидравлических аналогий [16].

Учитывая важность и экономическую эффективность ВПО, в настоящее время подразделениями Главселекхозагропрома проводятся научно-исследовательские работы по изучению передвижения влаги в ненасыщенной почве при внутрипочвенном орошении. Основная цель их, как уже было сказано, — построение расчетных зависимостей между водно-физическими характеристиками грунтов, скоростью и контуром распространения влаги из трубок-увлажнителей. Практически во всех рассмотренных нами задачах влагопереноса (в основном одномерных), которые решались с помощью аналитических методов, аналогового моделирования и ЭВМ, использованы аналитические зависимости  $K = K(\theta)$ ,  $\psi = \psi(\theta)$ , полученные С.Ф.Аверьяновым, Гарднером, Чайльдсом и др.

Накопленный к настоящему времени в отделе мелиоративных исследований Средазгипроводхлоса материал полевых и лабораторных исследований, а также сделанные обобщения показали, что указанные зависимости, которые являются гидрофизическими характеристиками грунтов, изменяются в широком диапазоне и в значительной степени определяют конечные результаты расчетов. Поэтому в состав исследований включены полевые и лабораторные работы по определению гидрофизических характеристик грунтов и сбору фактических данных о скорости продвижения контуров увлажнения из перфорационных отверстий трубок-увлажнителей.

В полевых условиях (Голодная степь) проводятся наблюдения за динамикой распространения влаги в зоне аэрации из трубок-увлажнителей. Для этого заложены трубки-увлажнители длиной 5-10 м

с устройствами для точного дозирования и учета подаваемой в трубку воды. Изменения влажности в зоне действия увлажнителя фиксируют установленные в грунте датчики влажности. Принцип действия их заключается в измерении электрического сопротивления материалов, электропроводность которых резко меняется при увлажнении. К таким материалам относятся: гипс, графитовая электропроводная бумага, применяемая для моделирования фильтрационных процессов методом ЭГДА, и др. Аналогичные наблюдения будут проведены на ряде увлажнителей опытно-производственной системы ВПО в совхозе имени Ворошилова. В лабораторных условиях определяются гидрофизические характеристики, а именно: зависимость всасывающего давления от влажности почвы и зависимость коэффициента влагопроводности от влажности. Монолиты грунтов для лабораторных исследований отбираются из шурфов, закладываемых в непосредственной близости к наблюдательным площадкам на трубках-увлажнителях.

В рассматриваемом нами случае необходимо решить двумерную задачу влагопереноса

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( D \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial K}{\partial z}. \quad (6)$$

На рис. 1 показана расчетная схема задачи о влагопереносе при внутрипочвенном орошении для следующих граничных условий: по границам 1-2, 5-6 и 7-8 производная  $\frac{\partial \theta}{\partial x} = 0$ ; по границам 2-3, 3-4, 4-5 влажность соответствует полному насыщению  $\theta = \theta_{\max}$ ; по границе 6-7  $\theta = \theta_{\max}$ , либо грунтовые воды залегают бесконечно глубоко; по границе 1-8 задается интенсивность испарения  $E = E(t)$ .

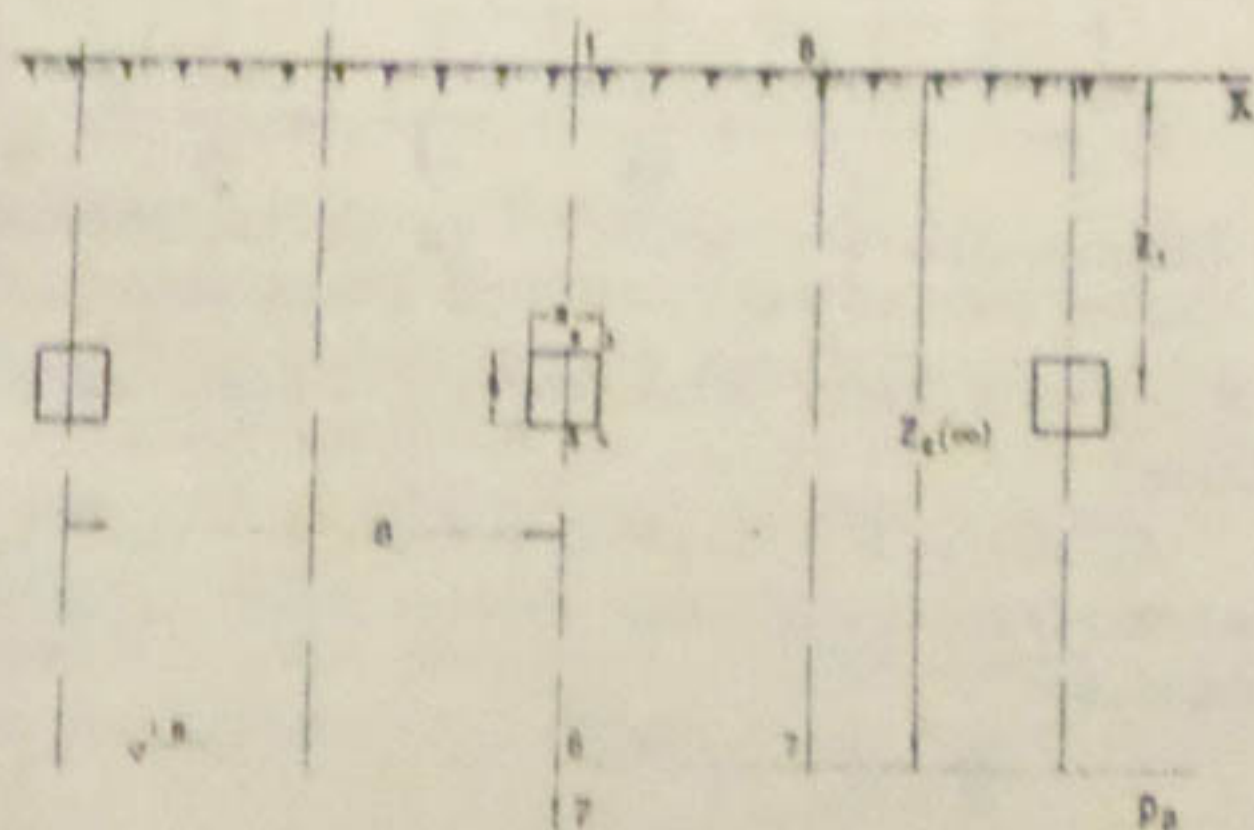


Рис. 1. Расчетная схема к задаче влагопереноса при ВПО.

Аналитических методов решения уравнения (6) нет. Решение его получено с помощью математического моделирования. Реализация численной модели осуществлена на ЭВМ М-222.

Водно-физические характеристики голодностепских грунтов определены в лабораторных и полевых условиях. В лаборатории на прессах Ричардса установлена зависимость капиллярного давления от влажности (рис. 2). На основе полевых наблюдений за впитыванием воды почвой найдено значение  $K_0$  при вертикальной инфильтрации 0,4 м/сут.

Программа расчета для ЭВМ в целях упрощения операций требует представления входящей информации в виде степенных многочленов. В связи с этим зависимость коэффициента влагопроводности от влажности записывается в виде уравнения

$$K_\theta = K_{max} \left( \frac{\theta - \theta_{min}}{\theta_{max} - \theta_{min}} \right)^{3,0} \quad (7)$$

На основе лабораторных исследований монолитов грунта определены  $\theta_{min} = 0,21$  и  $\theta_{max} = 0,45$ .

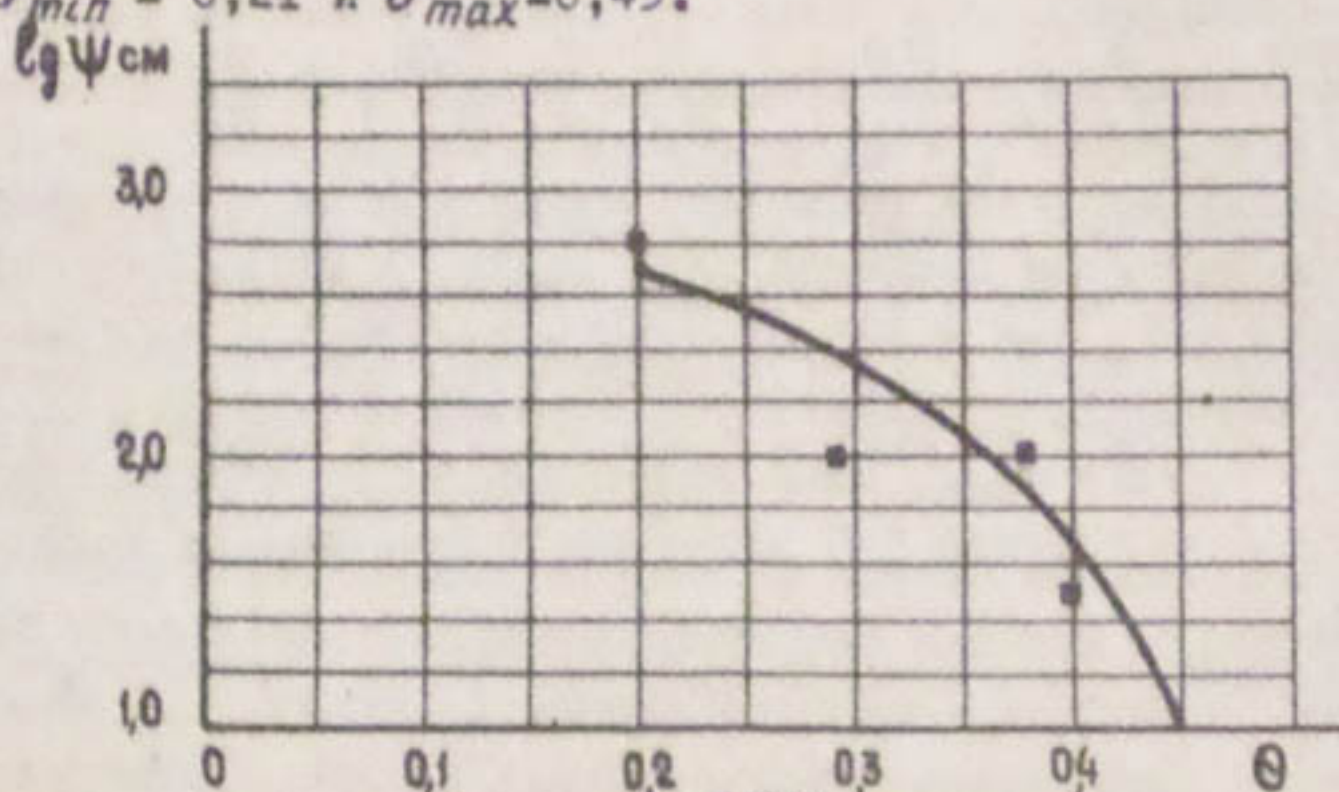


Рис. 2. Зависимость  $\theta = \theta_{max} l^{-0,15\psi}$  (■ экспериментальные данные для суглинистых почв Голодной степи).

При  $K_{max} = 0,4$  м/сут зависимость (7) представляется в виде многочлена:

$$K_\theta = 25,5 \theta^3 - 15,36 \theta^2 + 3,072 \theta - 0,2048. \quad (8)$$

Функцию капиллярного потенциала удобнее всего представлять как экспоненциальную:

$$\theta = \theta_{max} l^{-a\psi}. \quad (9)$$

По экспериментальным данным, значение параметра  $\alpha = 0,45$  (см. рис. 2).

Из зависимостей (7) и (9) можно получить аналитическое выражение для коэффициента диффузии:

$$D(\theta) = K(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial \theta} = - \frac{K_{max}}{\alpha \theta} \left( \frac{\theta - \theta_{min}}{\theta_{max} - \theta_{min}} \right)^{3.0} \quad (10)$$

Для рассматриваемого примера расчета

$$D(\theta) = \theta^2 + 23,03\theta - 4,61. \quad (11)$$

Зависимости коэффициента влагопроводности  $K$  и коэффициента диффузии  $D$  от влажности показаны на рис. 3.

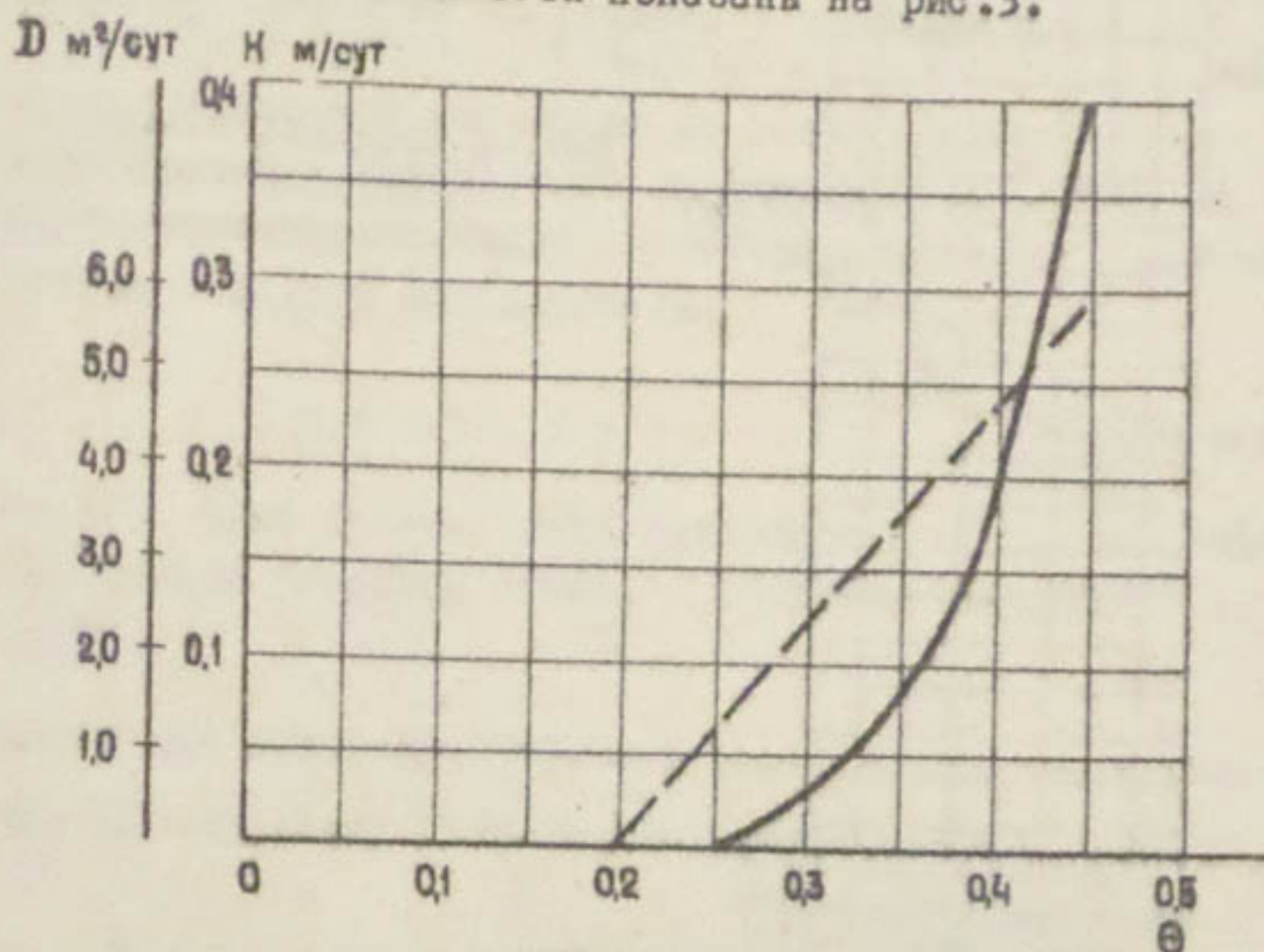


Рис. 3. Зависимость коэффициента влагопроводности  $K$  (—) и коэффициента диффузии  $D$  (---) от влажности.

При решении задачи принимались условия: глубина грунтовых вод 3 м, испарение с поверхности почвы отсутствует, влажность всей зоны аэрации соответствует минимальному значению — 0,24; глубина до трубок-увлажнителей 0,5 м, расстояние между трубками 1,6 м, на контуре увлажнителя влажность равна ее максимальному значению — 0,45.

На рис. 4 показан результат решения задачи — изоплеты влажности при установившемся движении влаги в рассматриваемой об-

лаости. О времени стабилизации движения можно судить по графику,

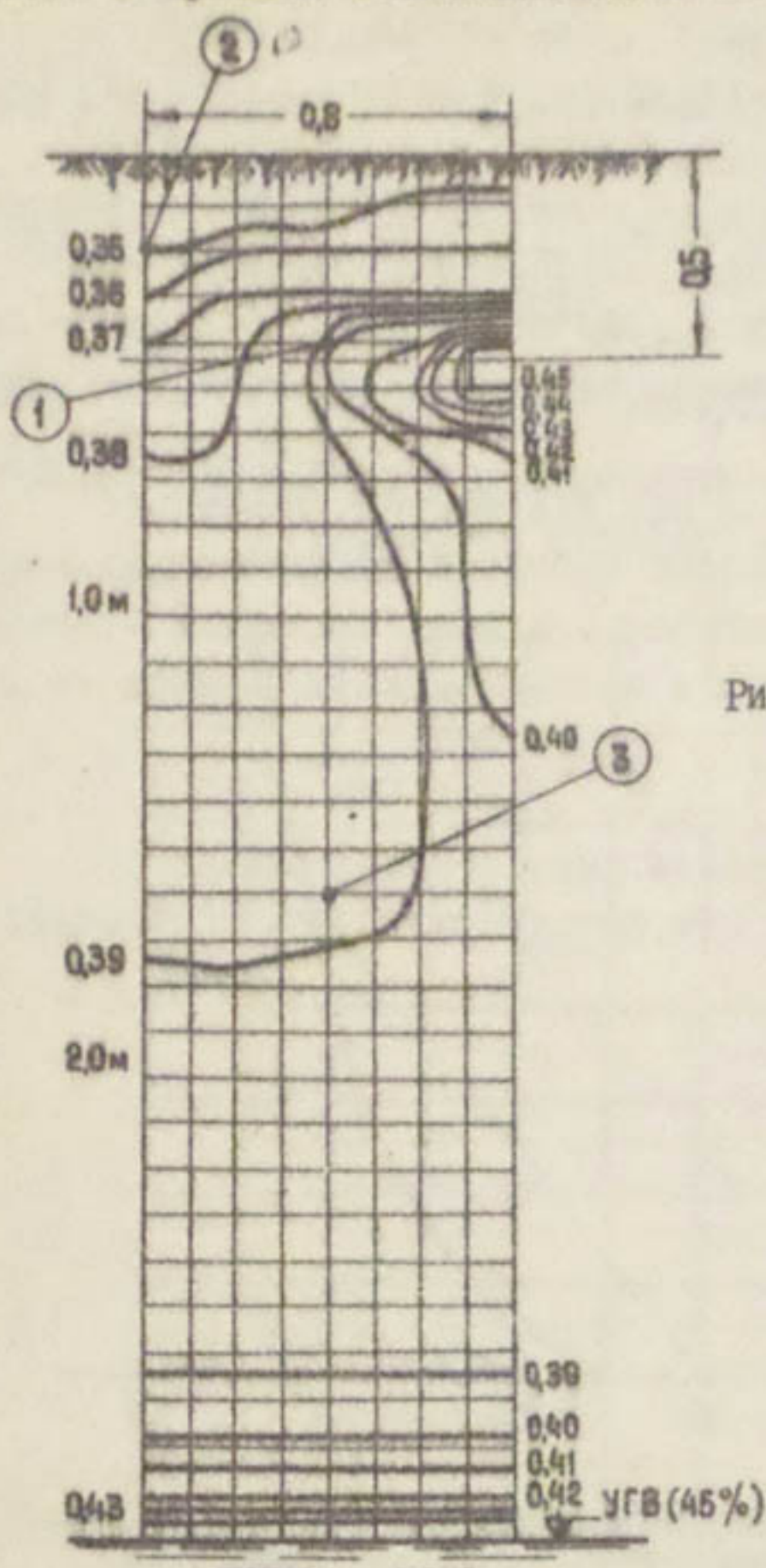


Рис.4. Изоплеты влажности при установившемся движении влаги (испарение отсутствует).

приведенному на рис.5. Спустя 15 ч после начала полива движение принимает установившийся характер. В реальных условиях, когда влажность зоны аэрации выше  $\theta_{min}$ , следует ожидать стабилизации движения влаги через 5-6 ч.

По результатам решения задачи представляется возможным оценить размер потока, который поступает в грунтовые воды. В рассматриваемом примере он составляет (при установившейся картине)  $94,0 \text{ м}^3/\text{сут}$  с гектара. Если на контуре увлажнителя задать влажность меньшую чем  $\theta_{max}$ , то питание грунтовых вод

уменьшается, и при  $\theta = 0,40$  эта величина составляет  $61,0 \text{ м}^3/\text{сут.}$

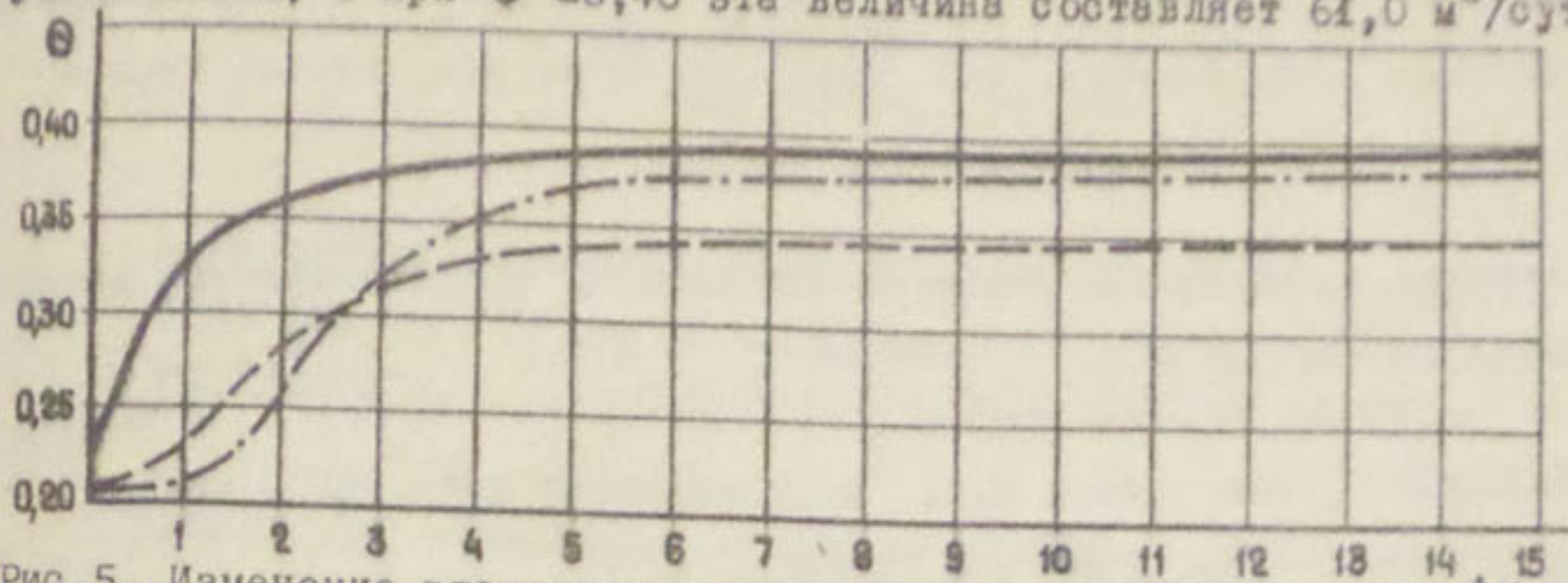


Рис. 5. Изменение влажности во времени в точках 1 (—), 2 (---), 3 (- · -) (см. рис. 4).

Приведенные примеры указывают на возможность направленного поиска оптимальных конструкций перфорационных отверстий или подбора пористых материалов для трубок-увлажнителей с помощью методов математического моделирования.

#### Л и т е р а т у р а

1. Хамраев Н.Р. Опыт промыва сети внутрипочвенного орошения хлопчатника в Голодной степи. — Сб. науч. тр. САНИИРИ, вып. 145, 1975.
2. Don Kirkham and C.L. Feng, 1949. Some tests of the diffusion theory and laws of capillary flow in soils. S.S., v. 67. B.
3. Аверьянов С.Ф. Зависимость водопроницаемости почв грунта от содержания в них воздуха. — "Докл. АН СССР", т. 69, 1949, № 2.
4. Moor R.E. 1939. Water conduction from shallow water tables. Hilgardia, v. 12.
5. Richards L.A. 1941. Hydraulics of water in unsaturated soils. Agr. Eng., v. 22.
6. Лейбензон Л.С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. М.-Л., Гостехиздат, 1947.

7. Gardner W.R. 1958. Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. S.S., v. 85, No 4.
8. Richards L.A. 1931. Capillary conduction of liquids through porous mediums. Physics, v. I.
9. Childs E.C. and George H.C. Soil geometry and soil - water equilibria. Disc. Farad Soc., 1948. No 3.
10. Klute A. 1952. Some theoretical aspects of the flow of water in unsaturated soils. S.S.S. Am. Pr., v. 16.
11. Philip J.R. 1957. The theory of infiltration.  
P. I - 2, S.S., v. 83, p. 3 - 5, S.S., v. 84.
12. Youngs R. G. 1957. Moisture profiles during vertical infiltration. S.S., v. 84 No 4.
13. Судницын Н.Н. Закономерности передвижения почвенной влаги. М., "Наука", 1964.
14. Пеньковский В.Н., Рыбакова С.Т. К задаче о неустановившейся фильтрации при неполной насыщенности грунта. - "Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа", 1966, № 3.
15. Чернышевская Л.Е. Решение задачи о передвижении влаги в не-насыщенной среде на гидроинтеграле В.С. Лукьянова. - Сб. "Вопросы орошения". Киев, "Урожай", 1969.
16. Мясникова Н.А. Прогноз подпора грунтовых вод. М., "Наука", 1964.

Л.В.Ларина, гл. спец., руковод. лабор.  
Л.М.Филатов, руковод. группы  
(Средазгипроводхлопок)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТОДОМ ЭГДА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ФИЛЬТРАЦИОННОГО  
СОПРОТИВЛЕНИЯ ДРЕНЫ, ОБУСЛОВЛЕННОГО НЕСОВЕРШЕНСТВОМ ЕЕ  
КОНСТРУКЦИИ, ПО СРАВНЕНИЮ С ПОЛОСТЬЮ ТОГО ЖЕ ДИАМЕТРА

Обычно при моделировании работы закрытого горизонтального дренажа дрена рассматривается как полость в толще грунта, а конструктивное выполнение ее не учитывается. Но именно конструктивные особенности дренажа (наличие фильтра, трубчатой линии с данным видом водоприемных отверстий, контактной зоны по наружному контуру фильтра и др.) определяют величины и распределение градиентов в дренируемом грунте, на контакте грунт-фильтр и по фильтру.

Для некоторых конструкций закрытого дренажа исследование градиентов можно производить методом ЭГДА.

Если водоприемное отверстие является щелью, расположенной в нижней части трубы вдоль всей трубчатой линии, то движение воды носит плоскопараллельный характер и может быть исследовано на моделях ЭГДА в плоскости, перпендикулярной линии дренажа.

Однако междренные расстояния всегда намного больше размеров самой дрены, и чтобы учесть конструктивные особенности, мы вынуждены переходить к моделированию фрагментов придренной зоны, постепенно увеличивая масштаб до отношения 1:1.

При переходе от одного масштаба к другому прежде всего предусматривается неизменность границ области фильтрации, а дрена, замененная полостью, принимающей всей поверхностью, как раз и нарушает эту неизменность.

Для выделения границы первого фрагмента области фильтрации, подлежащего увеличению, целесообразно включить в цепь модели электрическое сопротивление, моделирующее дополнительное фильтрационное сопротивление, обусловленное несовершенством конструкции дрены, по сравнению с полостью того же диаметра. Опре-

деление величины фильтрационного сопротивления для различной ширины водоприемной щели и является целью данной работы.

Из практики известно, что линии равного напора в придренной зоне по своей форме близки к окружности с центром в точке расположения водоприемного отверстия.

При наших исследованиях в масштабе 1:1 была изготовлена модель из электропроводной бумаги с удельным сопротивлением  $R_0 = 300 \text{ Ом}$ . Так как модель симметрична, рассматривалась половина дрены (рис.1).



Рис.1. Фрагмент области фильтрации в преддренной зоне:  
 $r$  — радиус дрены;  $r'$  — радиус контура питания.

Диаметр дрены принят  $2r = 15 \text{ см}$ , радиус контура питания  $r' = 30 \text{ см}$ . По контуру питания и по контуру дрены электропроводным клеем наклеивались шины из медной проволоки. Между этими шинами замерялось электрическое сопротивление  $R$ . Отсоединяя по частям шину вдоль контура дрены и уменьшая тем самым приемную поверхность, замеряли величину электрического сопротивления  $R_i$  для каждого случая (табл.1). Величина  $R_g = (R_i - R)$  — дополнительное электрическое сопротивление, обусловленное уменьшением приемной части. Изменение величины  $R_g/R$  в зависимости от процентного отношения ширины водоприемной щели ко всей длине окружности дрены представлено на графике (рис.2), который построен по данным табл.1 и 2. В табл.2 сведены данные, полученные на электропроводной бумаге с удельным сопротивлением  $R_0 = 8900 \text{ Ом}$ .

Таблица 1

Дополнительное сопротивление при  $R_0 = 300 \text{ Ом}$

| Скважность, % | Электрическое сопротивление<br>$R_L \text{ Ом}$ | $R_g = (R_L - R) \text{ Ом}$ | $R_g/R$ |
|---------------|-------------------------------------------------|------------------------------|---------|
| 100           | 133,0                                           | 0                            | 0       |
| 83            | 141,0                                           | 8                            | 0,06    |
| 67            | 167,0                                           | 34                           | 0,25    |
| 50            | 206,0                                           | 73                           | 0,55    |
| 33            | 265,0                                           | 132                          | 1,00    |
| 16,5          | 393,0                                           | 260                          | 1,95    |
| 8,3           | 1330,0                                          | 394                          | 3,36    |
| 4,2           | 2100,0                                          | 467                          | 4,52    |
| 2,1           | 4580,0                                          | 660                          | 6,95    |
| 0,4           | 10900,0                                         | 967                          | 11,25   |

Таблица 2

Дополнительное сопротивление при  $R_0 = 8900 \text{ Ом}$

| Скважность, % | Электрическое сопротивление<br>$R_L \text{ Ом}$ | $R_g = (R_L - R) \text{ Ом}$ | $R_g/R$ |
|---------------|-------------------------------------------------|------------------------------|---------|
| 100           | 4,24                                            | 0                            | 0       |
| 83            | 4,57                                            | 0,33                         | 0,08    |
| 67            | 5,34                                            | 1,10                         | 0,26    |
| 50            | 6,59                                            | 2,35                         | 0,55    |
| 33            | 8,90                                            | 4,66                         | 1,05    |
| 16,5          | 13,42                                           | 9,20                         | 2,18    |
| 8,3           | 18,8                                            | 14,50                        | 3,42    |
| 4,2           | 24,8                                            | 20,50                        | 4,82    |
| 2,1           | 37,2                                            | 33,00                        | 7,77    |
| 0,4           | 53,9                                            | 49,6                         | 11,7    |

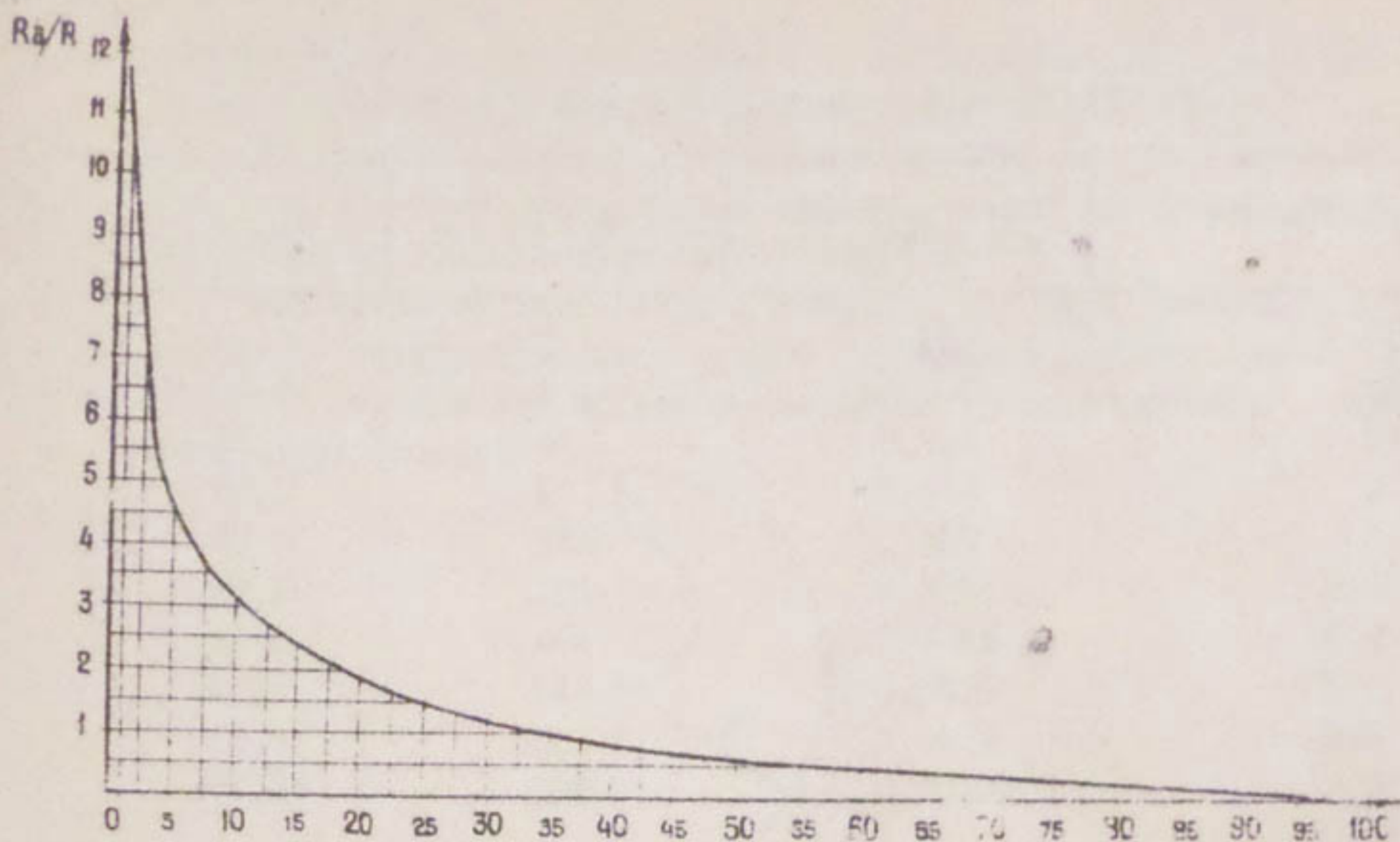


Рис. 2. График изменения дополнительного сопротивления в зависимости от скважности.

Для получения границы фрагмента, соответствующей заданной скважности, достаточно замерить сопротивление  $R$  между контактом дрены и контактом контура питания, найти по графику соотношение  $n = \frac{R_a}{R}$  и в цепь модели между нулем и контактом дрены вставить дополнительное сопротивление  $R_a = R \cdot n$ .

### Л и т е р а т у р а

1. Булдей В.Р. Моделирование гидромелиоративных систем. Киев, "Наукова думка", 1973.
2. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Основы гидрогеомеханики. М., "Недра", 1974.
3. Шестаков В.М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. М., МГУ, 1965.
4. Серебренников Ф.В. Результаты определения рациональной скважности дренажных труб в лабораторных условиях. - Тр. ин-та "Средиземноморский", вып. I. Ташкент, 1971.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОПРИЕМНОЙ СПОСОБНОСТИ  
ПЛАСТМАССОВОГО ДРЕНАЖА С ФИЛЬТРОМ  
ИЗ ИСКУССТВЕННЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Эффективность применения бестраншейного пластмассового дренажа на землях, склонных к засолению, в настоящее время не вызывает сомнений. К преимуществам бестраншейного метода строительства дренажа относится возможность полной механизации всех видов строительных работ и, как следствие, высокая производительность труда при заложении дрен, а также меньшая по сравнению с обычным гончарным дренажем стоимость в пересчете на 1 га дренируемой площади.

В настоящее время в новой зоне Голодной степи построено более 1000 км пластмассового дренажа, в конструкцию которого входит круговой фильтр из естественной песчано-гравийной смеси Илансайского месторождения. Использование такой смеси в качестве фильтра снижает производительность при укладке дрен, так как периодически возникает необходимость в остановках для загрузки фильтра в бункер дреноукладчика БДМ-301А.

Технически целесообразней применение фильтров из искусственных волокнистых материалов: трубчатая линия обертывается фильтром в заводских условиях и процесс укладки дрены ведется непрерывно, в результате чего производительность дреноукладчика возрастает в несколько раз.

Нельзя сказать, что фильтры из искусственных материалов вообще не использовались при заложении пластмассового дренажа в новой зоне Голодной степи. Достаточно много дрен с фильтром из технического капрона (арт.56026) было уложено дреноукладчиком ВДМ-300. Однако из-за недостатков, свойственных рабочему органу ВДМ-300, вокруг дрен создавалась зона уплотненного грунта, вследствие чего поступление грунтовых вод в пластмассовый дренаж снизилось в 4-5 раз по сравнению с гончарным. Незначитель-

ная приточность в дренаж послужила причиной отказа от искусственных фильтров в пользу неоднократно проверенных песчано-гравийных смесей, несмотря на создание усовершенствованной модели дреноукладчика — БДМ-301А, практически исключающей уплотнение грунта придренной зоны.

После производственной проверки, подтвердившей достаточную работоспособность пластмассового дренажа с песчано-гравийным фильтром, желание полностью использовать потенциальные возможности бестрагшейного дреноукладчика БДМ-301А привело к постановке опытов в натурных и лабораторных условиях по определению водоприемной способности пластмассовых дрен с круговым фильтром из искусственных волокнистых материалов.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментов, выполненных в лаборатории дренажа института "Средазгипроводхлопок" в течение 1972–1973 гг. Опыты проводились в прямоугольных фильтрационных лотках, на дно которых над специальной прорезью помещалась половина полиэтиленовой гофрированной трубы с фильтром из волокнистого материала. Для контроля в некоторые лотки были заложены трубы без фильтра и с фильтром из естественной песчано-гравийной смеси. Схема проведения опыта показана на рис. 1. Принципиальный подход к определению водоприемной способности конструкции закрытого дренажа, изложенный в работах [1] и [2], сводится к следующему.

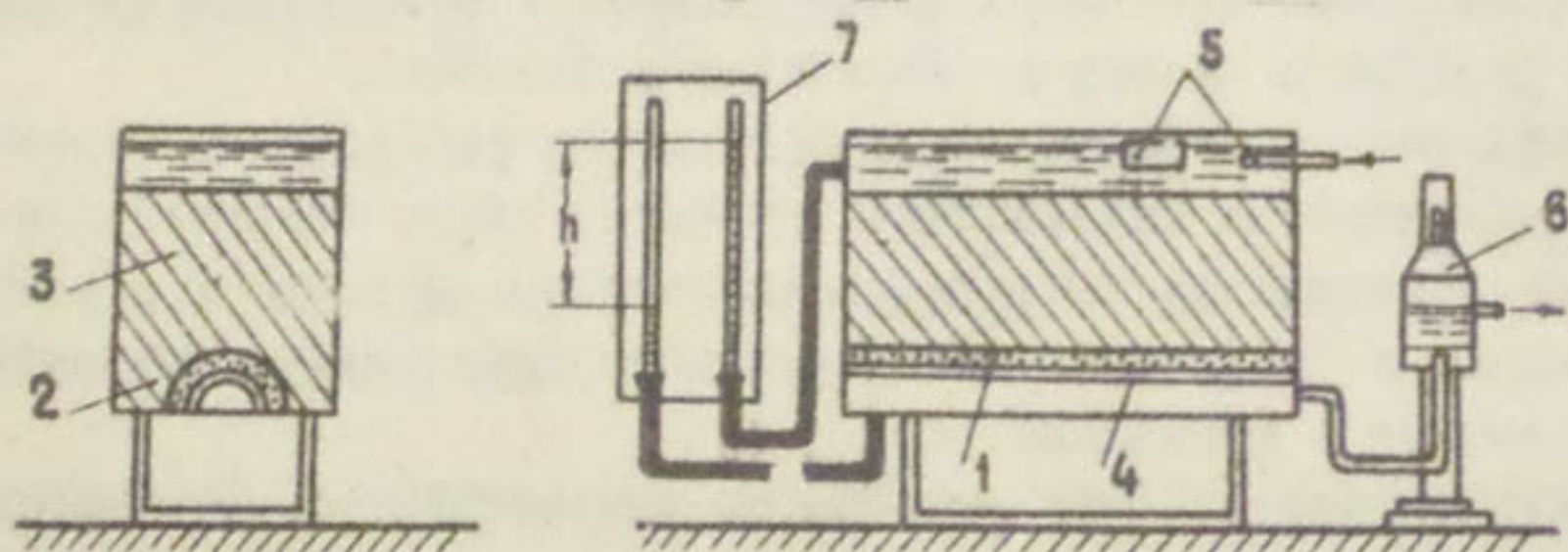


Рис. 1. Схема проведения опыта в прямоугольном фильтрационном лотке:

1 — полиэтиленовая гофрированная труба; 2 — фильтр; 3 — грунт; 4 — полость трубы; 5 — поплавковый регулятор; 6 — бак-регулятор напора; 7 — щиток пьезометров.

Из-за несовершенства конструкции фактическое фильтрационное сопротивление  $\Phi$  больше теоретического  $\Phi_0$  на величину  $\frac{1}{\alpha} \alpha$ , где  $\alpha$  — дополнительное сопротивление на несовершенство конструкции дрены по сравнению с полостью такого же размера,  $\alpha$  — центральный угол смоченного периметра дрены (при круговом контуре питания  $\alpha = 2\pi$ , при полукруговом  $\alpha = \pi$ ).

Фактическое сопротивление может быть получено по формуле

$$\Phi = \frac{K \cdot h}{q}, \quad (1)$$

где  $K$  — коэффициент фильтрации дренируемого грунта, м/сут;

$h$  — общий действующий напор, м;

$q$  — удельный двусторонний приток в дренаж, м<sup>2</sup>/сут.

Значения  $K$ ,  $h$  и  $q$  определяются по данным эксперимента.

Теоретическое сопротивление  $\Phi_0$  находится по формуле, соответствующей расчетной схеме фильтрации к закрытой дрене.

Дополнительное сопротивление на несовершенство конструкции вычисляется как

$$\alpha = \alpha (\Phi - \Phi_0). \quad (2)$$

Далее определяется коэффициент относительного уменьшения расчетного диаметра дрены за счет несовершенства дренажной конструкции:

$$\delta = \exp(-\alpha). \quad (3)$$

Последняя формула верна, если в непосредственной близости к дрене линии равных напоров образуют concentрические окружности, а линии тока направлены радиально.

Таким образом, цель опытов в прямоугольных фильтрационных лотках сводилась к определению коэффициента  $\delta$ .

При обработке опытных данных необходимо знать выражение для вычисления величины  $\Phi_0$ .

Так как точное решение задачи весьма громоздко [3], найдем приближенное гидромеханическое решение, обладающее достаточной для практики точностью.

Общая схема задачи показана на рис. 2. Область фильтрации имеет вид полуполосы шириной  $S_0$  с фиктивным стоком, расположенным в точке 3. Область приведенной характеристической функции  $z = x + iy$  имеет вид бесконечной полуполосы шириной  $q$ .

Отобразив область  $z = x + iy$  на промежуточную полуплоскость  $\zeta = \xi + i\eta$  по формуле Кристоффеля-Шварца, получим

$$z = \frac{S}{\pi} \arcsin \zeta. \quad (4)$$

Осуществляя ту же операцию для бесконечной полосы, найдем отображающую функцию для области  $Z$

$$Z = i \frac{q_r}{\pi} \ln \zeta + \frac{q_r}{2}. \quad (5)$$

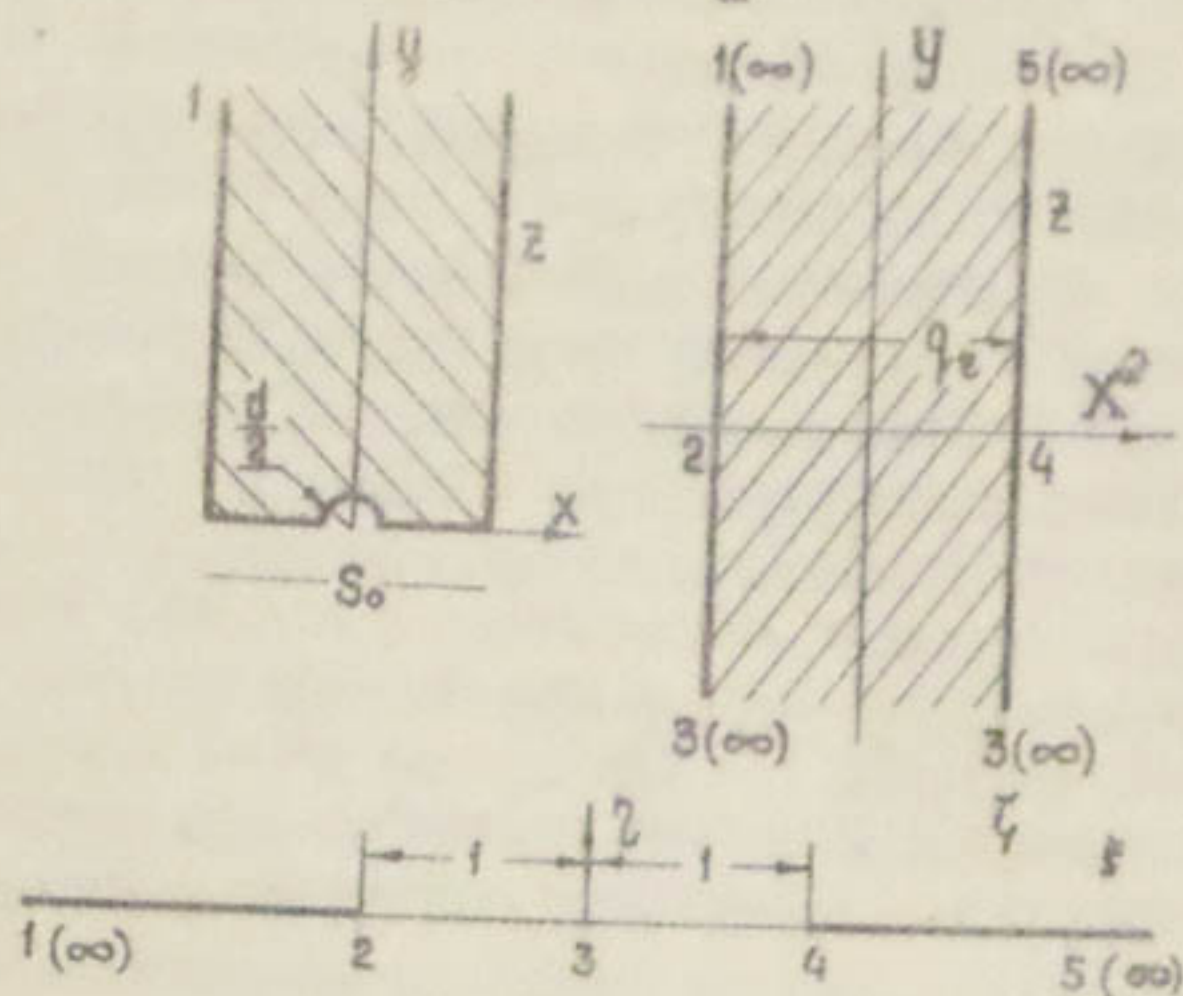


Рис. 2.

Пользуясь этими формулами, запишем общее решение задачи

$$Z = i \frac{q_r}{\pi} \ln \sin \frac{\pi}{S_0} z + \frac{q_r}{2}. \quad (6)$$

Возле стока  $z$  близко к нулю, откуда, по аналогии с работой [4],

$$Z = i \frac{q_r}{\pi} \ln \frac{\pi}{S_0} z + \frac{q_r}{2}. \quad (7)$$

Следовательно, около стока эквипотенциальные линии ( $\varphi_r = \text{const}$ ) и линии равных напоров ( $h = \text{const}$ ) близки к концентрическим окружностям ( $|z| = \text{const}$ ) с центром в начале координат плоскости фильтрации. Тем самым формула (3) получает математическое обоснование.

Преобразуя зависимость (6), найдем выражение для потенциала скорости фильтрации  $\varphi$

$$\varphi_r = \frac{q_r}{\pi} \cdot \ln \sqrt{\sin^2 \frac{\pi}{S_0} x \cosh^2 \frac{\pi}{S_0} y + \cos^2 \frac{\pi}{S_0} x \sinh^2 \frac{\pi}{S_0} y}. \quad (8)$$

В последней формуле принимаем для стока  $x=0$ ,  $y=\frac{d}{2}$ , что дает

$$\varphi_{r(2)} = \frac{q}{K} \cdot \ln \operatorname{sh} \frac{\pi}{S_0} \cdot \frac{d}{2}. \quad (9)$$

На достаточном удалении от стока можно принять  $x=0$ ,  $y=L$ . Тогда

$$\varphi_{r(2)} = \frac{q}{K} \cdot \ln \operatorname{sh} \frac{\pi}{S_0} L. \quad (10)$$

Зная, что  $H = \varphi_{r(2)} - \varphi_{r(1)}$ , на основании зависимостей (9) и (10) находим выражение для определения удельного двустороннего притока в дренаж

$$q = \frac{K H}{\ln \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi}{S_0} L}{\operatorname{sh} \frac{\pi}{S_0} \cdot \frac{d}{2}}}. \quad (11)$$

Выражение для определения фильтрационного сопротивления области фильтрации примет вид

$$\Phi_0 = \frac{1}{K} \ln \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi}{S_0} L}{\operatorname{sh} \frac{\pi}{S_0} \cdot \frac{d}{2}}. \quad (12)$$

Формулу для определения градиента напора на входе фильтрационного потока в дренаж найдем, дифференцируя зависимость (6) по  $z$

$$\frac{dZ}{dz} = i \frac{q_r}{S_0} \operatorname{ctg} \frac{\pi}{S_0} z. \quad (13)$$

Зная, что  $\bar{V} = iK \frac{dZ}{dz}$  и комплексная скорость фильтрации  $\bar{V} = \bar{V}_x - i\bar{V}_y$ , получаем

$$V_x - iV_y = K \frac{q_r}{S_0} \operatorname{ctg} \frac{\pi}{S_0} z. \quad (14)$$

Для верхней точки дренажа  $z = i \frac{d}{2}$ . После несложных преобразований получаем

$$I = \frac{\pi \cdot h}{S_0} \cdot \frac{\operatorname{cth} \frac{\pi}{S_0} \cdot \frac{d}{2}}{\ln \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi}{S_0} L}{\operatorname{sh} \frac{\pi}{S_0} \cdot \frac{d}{2}}}. \quad (15)$$

Опыты в прямоугольных фильтрационных лотках проводились по методике, принятой в работе [2]. При обработке опытных данных особо следует остановиться на определении коэффициента фильтрации грунта по показаниям пьезометров и известному удельному двустороннему притоку в дренаж.

Значение напора  $h$  в любой точке области фильтрации в случае, когда внешний контур дренажа является эквипотенциалью, определяется как  $h_i = \varphi_{r(i)} - \varphi_{r(1)}$ , откуда в соответствии с формулами (8) и (9)

$$\tau_i = \frac{q}{\pi K} \cdot \ln \frac{\sqrt{\sin^2 \frac{\pi}{S_0} x_i \operatorname{ch}^2 \frac{\pi}{S_0} y_i + \cos^2 \frac{\pi}{S_0} x_i \operatorname{sh}^2 \frac{\pi}{S_0} y_i}}{\operatorname{sh} \frac{\pi}{S_0} \frac{d}{2}} \quad (16)$$

Выражению (16) можно придать вид

$$h_i = \alpha_0 \tau_i + b_0, \quad (17)$$

где

$$\alpha_0 = \operatorname{tg} \alpha = \frac{q}{K} \quad (18)$$

$$\tau_i = \frac{1}{K} \cdot \ln \sqrt{\sin^2 \frac{\pi}{S_0} x_i \operatorname{ch}^2 \frac{\pi}{S_0} y_i + \cos^2 \frac{\pi}{S_0} x_i \operatorname{sh}^2 \frac{\pi}{S_0} y_i}, \quad (19)$$

$$b_0 = \frac{q}{\pi K} \ln \operatorname{sh} \left( \frac{\pi}{S_0} - \frac{d}{2} \right). \quad (20)$$

Из формулы (17) следует, что для определения коэффициента фильтрации достаточно знать величину  $\operatorname{tg} \alpha$ , которая может быть найдена по показаниям пьезометров.

Расположение пьезометров на боковой стенке лотка показано на рис. 3. Подставляя координаты отдельных пьезометров в формулу

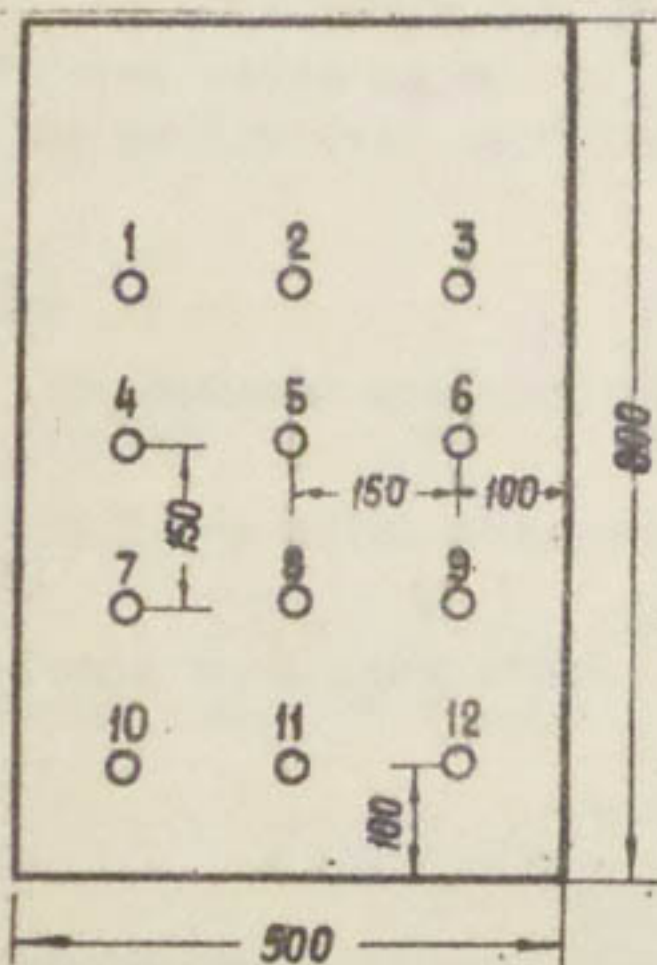


Рис. 3. Боковая стенка лотка с указанием расположения пьезометров (размеры в мм).

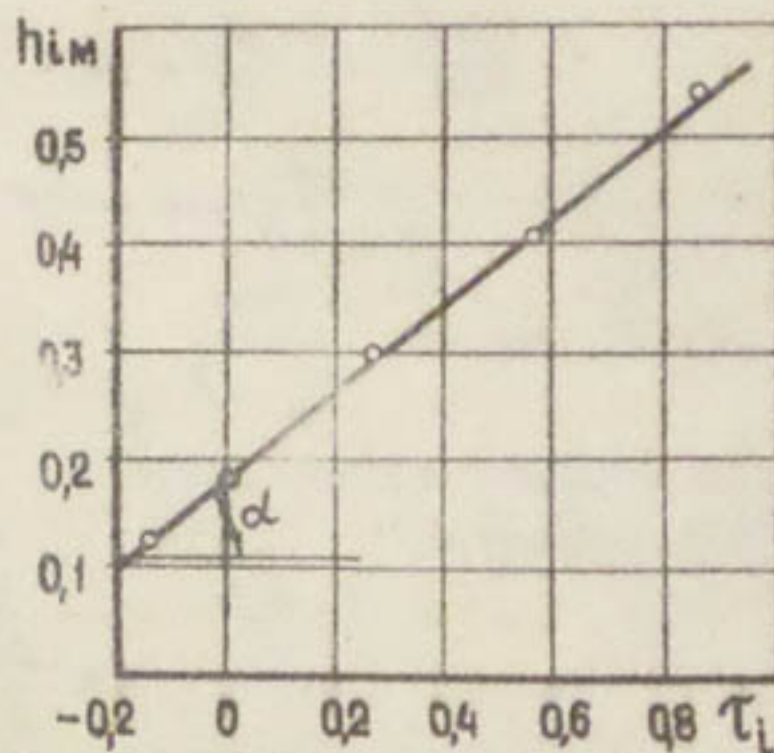


Рис. 4. Зависимость  $h_i = f(\tau_i)$ , полученная в опытах с фильтром из технического капрона.

(19), убеждаемся в возможности объединения пьезометров по группам, что отражено в табл. I. Там же в качестве примера приведены средние значения напоров для соответствующих групп пьезометров  $h_i$  (фильтр — технический капрон арт. 56026). Для наглядности на рис. 4 изображены опытные точки зависимости  $h_i = f(\tau_i)$  и проведенная на них прямая, полученная методом наимень-

Таблица 1

| Номера<br>пьезомет-<br>ров в<br>группе | Значение<br>$\tau_i$ | Средние<br>значения<br>напоров<br>$h_i$ м |
|----------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------|
| 1,2,3                                  | 0,875                | 0,523                                     |
| 4,5,6                                  | 0,575                | 0,401                                     |
| 7,8,9                                  | 0,265                | 0,297                                     |
| 10,12                                  | 0,004                | 0,180                                     |
| 11                                     | -0,132               | 0,127                                     |

ших квадратов. Определенный по этому методу  $tg \alpha$  равен 0,39, что при  $q = 0,0193 \text{ м}^2/\text{сут}$  по формуле (18) дает  $K = 0,0495 \text{ м/сут}$ .

Рассмотрим дальнейший ход обработки опытных данных.

Так как значение дополнительного сопротивления на несовершенство конструкции не зависит от размеров фрагмента грунта, окружающего дрена, при обработке опытных данных граница области

фильтрации принималась на уровне пьезометров 1-2-3. Поэтому для рассматриваемого примера [ $h = 0,52 \text{ м}$ , откуда в соответствии с формулой (1) при  $K = 0,0495 \text{ м/сут}$  и  $q = 0,0193 \text{ м}^2/\text{сут}$ ] значение фактического сопротивления  $\Phi$  получается равным 1,33.

Значение сопротивления  $\Phi_0$ , найденное по формуле (12), составляет 1,26 (ширина лотка  $S_0 = 0,5 \text{ м}$ , высота выделенного фрагмента  $H = 0,55 \text{ м}$ , расчетный диаметр дрены  $d = 0,094 \text{ м}$ ). Далее по выражению (2) вычисляется дополнительное сопротивление на несовершенство конструкции дрены, которое в данном случае составляет  $\alpha = \Phi - \Phi_0 = (1,33 - 1,26) = 0,07$ . Это позволяет найти по зависимости (3) коэффициент относительного уменьшения расчетного диаметра дрены:  $\delta = \exp(-0,07) = 0,93$ . Вычисленный по формуле (15) градиент напора на контуре дрены  $I$  равен 3,74.

По описанной выше методике была выполнена обработка материалов эксперимента. Результаты ее, приведенные в табл. 2, позволяют сделать следующее заключение.

Фильтры из искусственных волокнистых материалов: технический капрон, стеклоткань, стеклохолст, штапельное базальтовое волокно, фильтры ЛатНИИГима, — в сочетании с гофрированными полиэтиленовыми трубами в целом обеспечивают расчетный приток в дрена. Коэффициент относительного уменьшения расчетного диаметра дрены в случае использования любого из перечисленных фильтров не выходит за пределы 0,8-1,0, что практически не сказывается на величине междренного расстояния.

Результаты опытов по определению водоприемной способности пластмассового дренажа

Таблица 2

| № п/п | Вид фильтра                                | Повторность опыта | Расчетный диаметр фильтра, $\alpha$ м | $K_{cp}$ м/сут | $\alpha$  | $\delta$  | /       |
|-------|--------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|----------------|-----------|-----------|---------|
| 1     | Стеклоткань ТСФ(б)-7с, в два слоя          | Двукратная        | 0,077                                 | 0,03-0,06      | 0,12-0,20 | 0,89-0,82 | 3,4-3,6 |
| 2     | Технический капрон (арт.56026), в два слоя | Четырехкратная    | 0,094                                 | 0,04-0,06      | 0,08-0,22 | 0,92-0,80 | 3,4-3,8 |
| 3     | Стеклохолст ВВ-К, в два слоя               | Двукратная        | 0,080                                 | 0,05-0,07      | 0,05-0,11 | 0,95-0,90 | 3,3-3,7 |
| 4     | Стеклохолст ВВ-М, в два слоя               | Двукратная        | 0,081                                 | 0,05-0,07      | 0,04-0,11 | 0,96-0,90 | 3,2-3,4 |
| 5     | Стеклорогожка, в два слоя                  | Двукратная        | 0,083                                 | 0,10-0,15      | 0,25-0,42 | 0,78-0,65 | 2,6-2,8 |
| 6     | Капроновое сито № 38, в два слоя           | Трехкратная       | 0,078                                 | 0,13-0,15      | 0,61-0,74 | 0,54-0,45 | 3,5-3,8 |
| 7     | Капроновое сито № 40, в два слоя           | Двукратная        | 0,080                                 | 0,14-0,16      | 0,58-0,71 | 0,56-0,48 | 3,5-3,8 |
| 8     | Фильтр "ФМ-23" ЛатнийГима, в два слоя      | Двукратная        | 0,085                                 | 0,11-0,14      | 0,03-0,09 | 0,97-0,91 | 3,4-3,8 |
| 9     | Фильтр "ФМ-5" ЛатнийГима, в два слоя       | Двукратная        | 0,081                                 | 0,13-0,15      | 0,04-0,10 | 0,96-0,90 | 3,5-3,8 |
| 10    | Фильтр "Г-Ф" ЛатнийГима, в два слоя        | Двукратная        | 0,082                                 | 0,11-0,13      | 0 - 0,12  | 1 - 0,89  | 3,5-3,9 |
| 11    | Щебеньное базальтовое волокно, в один слой | Четырехкратная    | 0,125                                 | 0,08-0,10      | 0 - 0,10  | 1 - 0,90  | 2,4-2,5 |
| 12    | Кустостебная песчано-гравийная смесь       | Четырехкратная    | 0,256                                 | 0,04-0,09      | 0         | 1         | 1,3-1,5 |
| 13    | Без фильтра                                | Двукратная        | 0,075                                 | 0,04-0,08      | 0,82-0,90 | 0,43-0,41 | 3,8-4,0 |

Нецелесообразно применять фильтры типа "капроновое сито" из-за больших сопротивлений на входе в дрена, связанных с кольматацией фильтра частицами окружающего грунта.

Также нецелесообразно укладывать трубы без фильтра, так как в данном случае  $\delta < 0,3$ .

Контрольные опыты с фильтром из естественной песчано-гравийной смеси подтвердили ранее полученный результат: водоприемная способность таких дрен полностью соответствует расчетной.

Таким образом, есть все основания рекомендовать большинство видов фильтров из искусственных волокнистых материалов отечественного производства для использования в строительстве пластмассового дренажа, укладываемого бестраншейным способом.

### Л и т е р а т у р а

1. Серебренников Ф.В. Об оценке работоспособности конструкции дренажа. - "Докл.АН УзССР", 1973, № 4.
2. Серебренников Ф.В. Исследование водоприемной способности конструкций закрытого дренажа в лабораторных условиях. - "Гидравлические, фильтрационные и статические исследования гидромелиоративных систем и гидротехнических сооружений". Сб.науч.тр.ин-та "Средазгипроводхлопок", вып.5, 1974.
3. Ведерников В.В. Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа. М.-Л., Госстройиздат, 1939.
4. Аравин В.И., Нумеров С.Н. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде. М., Гостоптехиздат, 1953.

Б.Я.Нейман, канд.геол.-минерал.наук,  
гд.геолог  
(Средазгипроводхлопок)

В.А.Нейман, руковод.группы  
(САНИИРИ)

## О ДРЕНАЖЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ УСАДЕБ СОВХОЗОВ В НОВОЙ ЗОНЕ ОРОШЕНИЯ ГОЛОДНОЙ СТЕПИ

В проектах всех центральных усадеб совхозов новой зоны орошения Голодной степи, построенных в последние 45 лет, предусматривался систематический закрытый горизонтальный дренаж, рассчитанный на сработку местного инфильтрационного питания грунтовых вод и предотвращение подъема их выше заданного критического уровня (2,2-2,7 м).

Однако в первые годы освоения некоторые усадьбы были построены без дренажа территории. Теперь это крупные поселки современного типа площадью до 400 га с многоэтажными зданиями, с сетью инженерных коммуникаций (линии электропередач, водоводы, канализация, газоводы), с асфальтированными дорогами и улицами, обсаженными деревьями, с освоенными приусадебными участками.

Происшедший под влиянием инфильтрации поверхностной воды подъем уровня соленых грунтовых вод повлек за собой интенсивное развитие подтопления и вторичного засоления земель со всеми вытекающими осложнениями. Отсюда возникла острая необходимость в дренаже усадеб.

Учитывая обжитость усадеб, в настоящее время чрезвычайно трудно построить ранее запроектированный систематический закрытый горизонтальный дренаж. Хотя, как показал опыт шестнадцатилетней эксплуатации такого дренажа в г.Янгиере, он, безусловно, обеспечил бы мелиоративное благополучие поселков.

Поиски других решений, проведенные в последние годы институтом "Средазгипроводхлопок" и "Голодностеплестроем", в основном шли по двум направлениям:

- 1) выявление возможностей замены горизонтального дренажа вертикальным;
- 2) проектирование и строительство горизонтального дренажа

по периметру усадеб и, где возможно, одиночных дрен внутри них с минимальным разрушением существующих коммуникаций.

В результате было установлено следующее.

По пункту I. Вертикальный дренаж может быть эффективно применен в усадьбах хозяйств, расположенных в северной части Центрального массива Голодной степи (совхозы № 9, 17-21) (рис. 1), где в покровной толще мощностью до 100 м среди глинистых грунтов

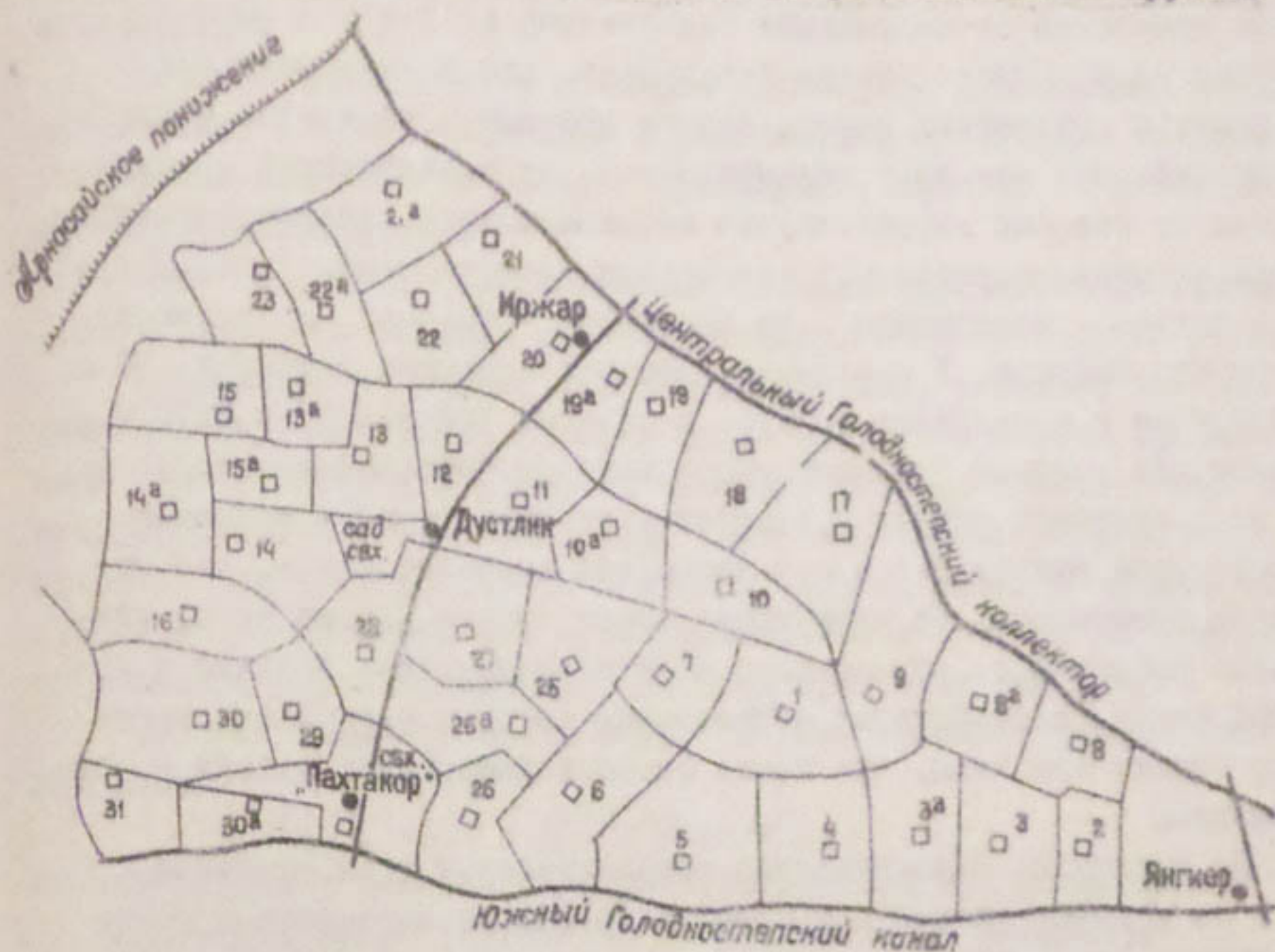


Рис. 1. Схема расположения усадеб совхозов в зоне нового орошения Голодной степи:

□ усадьба и номер совхоза  
● районный центр.

на глубине 20-60 м встречаются выдержанные песчаные горизонты с проводимостью более 30-50 м<sup>2</sup>/сут. В таких горизонтах можно строить водозаборные скважины, рассчитанные на длительную эксплуатацию.

На территории, где песчаные горизонты встречаются отдельными "языками" и линзами (совхозы № 4, 5, 14, 15, 22, 23), применение вертикального дренажа пока не апробировано.

На площади усадеб совхозов № 1, 7, 10-12, 25-30 и "Пахтакор" на разведанной глубине (80-100 м) разрез представлен в основном переслаивающимися суглинками, супесями и глинами, среди которых местами встречаются единичные прослои тонкозернистых пылеватых песков мощностью от нескольких сантиметров до 3-5 м с проводимостью до  $10 \text{ м}^2/\text{сут.}$  Можно утверждать, что в этих усадьбах эффективное применение вертикального дренажа в настоящее время невозможно, так как ни в отечественной, ни в зарубежной практике пока не освоено строительство водоприемников скважин, способных давать устойчивые расходы в оплывающих супесчано-суглинистых грунтах, когда пескование не превышает пределы, допустимые для работы насосов. В частности, опытная скважина глубиной 70 м, построенная в супесчаных грунтах в совхозе "Пахтакор" в 1970 г. обычным для условий Голодной степи методом (щелевой фильтр  $d = 325 \text{ мм}$  с круговой обсыпкой песчано-гравийным грунтом толщиной 30 см), дала расход 2-3 л/с и постоянно выносила песок, что исключало возможность ее нормальной эксплуатации. Кроме того, длительное пескование, как показал опыт строительства скважин в Голодной степи, способствует образованию крупных провальных воронок у ствола скважины, что может вызвать деформацию зданий и коммуникаций.

По пункту 2. Строительство горизонтальных дрен глубиной 3-4 м по контуру усадеб при площади до 100 га и расчетной густоте дренажа около 40-70 м/га не может предотвратить подтопление и засоление внутриусадебной территории.

В данной обстановке можно было бы проработать вариант самоотечного комбинированного дренажа (скважины-усилители, изливающие воду в закрытые дрены). Но такой дренаж потребовал бы устройства водоотводящих магистралей, заглубляемых на 3,5-4 м. Создание их связано со сложными ручными работами по проходке траншей в обводненных оплывающих грунтах, нарушением коммуникаций и другими осложнениями, возникающими при строительстве горизонтального дренажа.

Предлагаемый нами способ мелиорации усадеб заключается в

устройстве системы мелких скважин вертикального дренажа. Вода из них откачивается эрлифтами, к которым от центральной компрессорной установки по специальным воздуховодам подается воздух. Воздуховоды можно прокладывать по воздуху, по поверхности земли или на небольшой глубине, а воду отводить по трубам, проложенным также по поверхности земли или на глубине до 0,5 м.

В зависимости от планировки усадьбы и особенностей литологического разреза систему дренажа можно применить в двух разновидностях:

первая – площадная с примерно одинаковым расстоянием между скважинами, вторая – линейная с размещением скважин по нескольким прямым или ломаным линиям, проходящим, скажем, по обочинам внутриусадебных дорог.

Ниже приведены фильтрационные расчеты предлагаемого систематического дренажа и расчеты производительности компрессорных установок.

Поскольку на землях, окружающих усадьбы, работает систематический горизонтальный дренаж, предохраняющий подъем уровня воды выше 2,0–2,5 м в условиях плоского рельефа и отсутствия напорного питания грунтовых вод, можно достаточно обоснованно принять, что внешний приток подземных вод на площадь усадеб отсутствует, и рассчитывать производительность дренажа на сработку местного инфильтрационного питания грунтовых вод ( $W$ ).

Максимальный дренажный модуль в этих проектах усадеб принят равным

$$W_{max} = 1,3 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сут}/\text{м}^2.$$

На эту величину определяем параметры дренажа при условиях:

$K_{\varphi_1} = 0,2 \text{ м/сут}$  (суглинки, преимущественно средние);

$K_{\varphi_2} = 0,3 \text{ м/сут}$  (суглинки легкие и супеси с прослоями тяжелых грунтов);

$m_1 = 20 \text{ м}$ ,  $m_2 = 30 \text{ м}$  (принят худший и почти не встречающийся случай, когда на этих глубинах залегает водоупор).

Ниже приведены расчеты систематического вертикального дренажа в двух вариантах:

1 – линейные ряды скважин с шагом в ряду  $b$  и с расстоянием между рядами  $L$  (рис.2, табл.1);

2 – скважины, размещенные по квадратной сетке с шагом  $b$  (рис.3, табл.2). При этом имеется в виду, что расходы

всех скважин равны, а расход каждой скважины  $Q_c$ , работающей в системе при питании  $W$ , по балансу составляет: для рядов  $Q_c = W/L$ ; для площадного размещения  $\omega = b^2 Q_c = W\omega$ ;  $R = 0,566$ .

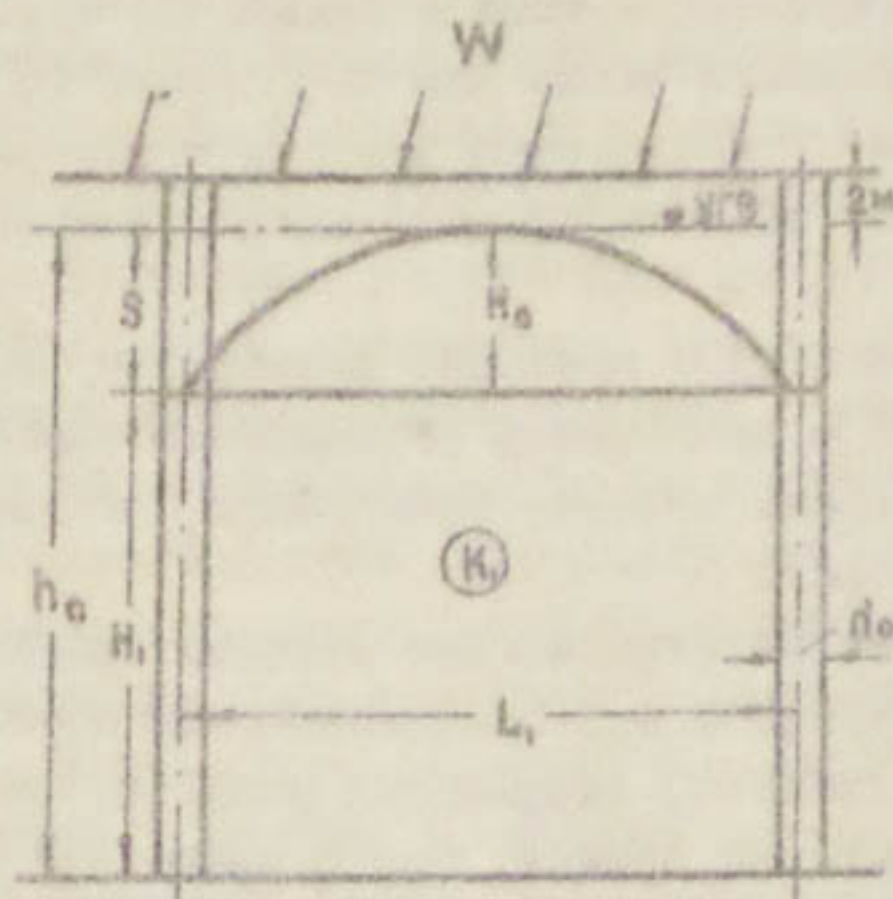


Рис.2. Схема к расчету линейной системы скважин вертикального дренажа на застроенной территории (см.табл.1).

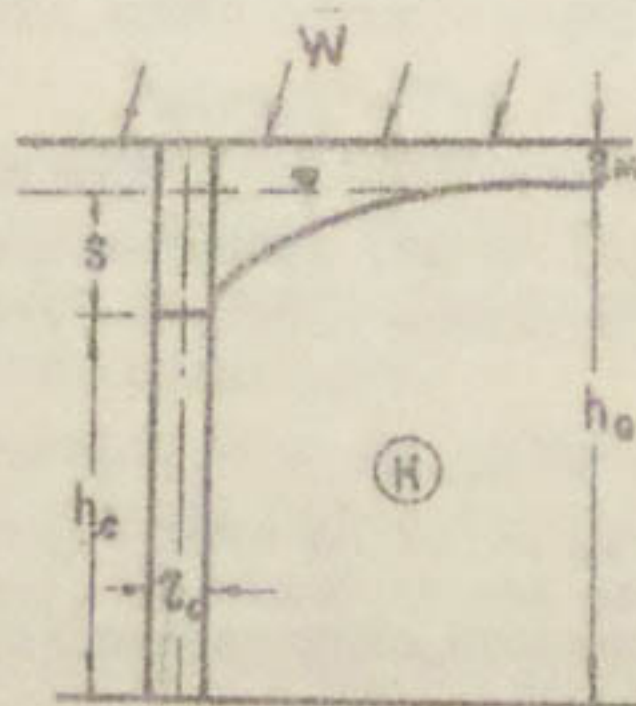


Рис.3. Схема к расчету систематического вертикального дренажа на застроенной территории (см.табл.2).

Таблица 1

Расчет линейных рядов скважин вертикального дренажа

| Вариант       | $W_{\text{м}^3/\text{сут}}$ | $h_0$ м | $K_{\text{ф}}$ м/сут | $S$ м | $H^0$ м | $d_0$ м | $Q_c = K_{\text{ф}} h_0 S$ м/сут | $\bar{S} = \frac{K_{\text{ф}} h_0 \cdot H^0}{Q_c}$ | $\sigma$ | $f_K = 0,366 \lg \frac{\sigma}{\pi d_0} \cdot \frac{Q_c}{W_{\text{м}^3/\text{сут}}}$ | $L = \frac{Q_c}{W_{\text{м}^3/\text{сут}}}$ м |
|---------------|-----------------------------|---------|----------------------|-------|---------|---------|----------------------------------|----------------------------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| При $H_c = 0$ |                             |         |                      |       |         |         |                                  |                                                    |          |                                                                                      |                                               |
| 1             | 0,0013                      | 18      | 0,2                  | 4     | 4       | 0,3     | 14,4                             | 1                                                  | 60       | 0,659                                                                                | 63,8                                          |
| 2             | 0,0013                      | 28      | 0,3                  | 6     | 6       | 0,3     | 50,4                             | 1                                                  | 140      | 0,79                                                                                 | 152                                           |
|               |                             |         |                      |       |         |         |                                  |                                                    |          |                                                                                      | 173                                           |
|               |                             |         |                      |       |         |         |                                  |                                                    |          |                                                                                      | 250                                           |

Таблица 2

Расчет системы скважин вертикального дренажа, размещенных по квадратной сетке

| Вариант | $W_{\text{м}^3/\text{сут}}$ | $h_0$ м | $K_{\text{ф}}$ м/сут | $S$ м | $h_c$ м | $Q_c = K_{\text{ф}} h_0 S$ м <sup>3</sup> /сут | $r_c$ м | $h_0 = \sqrt{h_c^2 + \frac{W^2}{K^2}} \left( \lg \frac{r_K}{r_c} - 0,5 \right) / \pi$ | $r_K$ м | $\sigma = \frac{r_K}{0,56} \cdot \frac{Q_c}{W}$ | $F = \sigma^2$ гд | $Q = WF$ м <sup>3</sup> /сут |
|---------|-----------------------------|---------|----------------------|-------|---------|------------------------------------------------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------------------|-------------------|------------------------------|
| 1       | 0,0013                      | 18      | 0,2                  | 4     | 14      | 14,4                                           | 0,15    | 17,89                                                                                 | 59      | 105                                             | 1,102             | 13,26                        |
| 2       | 0,0013                      | 28      | 0,3                  | 6     | 22      | 50,5                                           | 0,15    | 27,8                                                                                  | 100     | 177,5                                           | 3,15              | 40,0                         |

При этих допущениях задачи решались по известным формулам В.М.Шеотаква [7].

Расчеты показали: при линейном размещении скважин с шагом 60-150 м, глубиной 20-30 м и рабочем понижении уровня воды в них на 4-6 м (чтобы исключить пескование) расстояние между рядами составляет 172-258 м; при размещении скважин по квадратной сетке и таком же понижении уровня воды шаг уменьшается до 105-196 м; площадь, мелиорируемая одной скважиной, при линейном размещении или по квадратной сетке, округленно составляет 1-4 га; расход каждой скважины в обоих случаях равен 14-50 м<sup>3</sup>/сут.

Таким образом, для мелиорации жилой зоны усадьбы площадью в среднем 50 га потребуется 13-50 скважин с расходом воды соответственно равным 50-14 м<sup>3</sup>/сут.

Ориентировочный расчет эрлифтной установки.

Потребный расход воздуха ( $Q_v$  м<sup>3</sup>/мин) для подъема заданного количества воды из одной скважины определяется по формуле

$$Q_v = Q q_a n,$$

где  $Q$  - дебит скважины, м<sup>3</sup>/мин;

$n$  - коэффициент, учитывающий потери воздуха в трубе, для длинных воздухопроводов, равный 2-3;

$q_a$  - удельный расход воздуха в м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> откачиваемой воды:

$$q_a = \frac{h}{23 \eta \lg \frac{h(K-1)+10}{10}},$$

$h$  - расстояние от динамического уровня до точки излива воды, м;

$\eta$  - КПД эрлифта, равный 0,25;

$K$  - коэффициент на глубину погружения эрлифта, в нашем случае равный 3-4.

Как видно из табл.3, общий расход воздуха при обслуживании системы скважин в одном поселке (13-50 скважин) составляет 2,7-2,8 м<sup>3</sup>/мин. Такую систему (с учетом возможных потерь в воздухопроводах) может обслуживать один передвижной или стационарный компрессор типа ЗИФ-ВКС-6, ПК-10, ДК-9 и др. с подачей сжатого воздуха 6-10 м<sup>3</sup>/мин.

Расчет расхода воздуха  
при эрлифтной откачке воды из скважин

| Глубина скважины, м | h, м | $\eta$ | K   | $q_a$<br>м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup><br>воды | $Q$<br>м <sup>3</sup> /сут | n | $Q_a$<br>м <sup>3</sup> /мин | Потребное число скважин на один поселок, Q | Общий потребный расход воздуха на систему эрлифтов в одном поселке, $Q = Q_a \cdot Q$<br>м <sup>3</sup> /мин |
|---------------------|------|--------|-----|-------------------------------------------------|----------------------------|---|------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                     |      |        |     |                                                 | м <sup>3</sup> /мин        |   |                              |                                            |                                                                                                              |
| 20                  | 6    | 0,25   | 3   | 3,08                                            | $\frac{14}{0,0091}$        | 2 | 0,056                        | 50                                         | 2,8                                                                                                          |
| 30                  | 8    | 0,25   | 3,5 | 3,23                                            | $\frac{50}{0,0324}$        | 2 | 0,208                        | 13                                         | 2,7                                                                                                          |

В заключение необходимо отметить, что предлагаемый способ мелиорации поселков почти полностью исключает необходимость разрушения и нарушения существующих сооружений и, как показал опыт защиты подтопленных территорий в других районах, надежен в эксплуатации при различных режимах питания грунтовых вод. Примером может служить защитный ряд длиной около 10 км, построенный вдоль левого берега Днепровского водохранилища, состоящий из 100 скважин глубиной в среднем по 20 м, из которых откачивают воду эрлифтами с подачей воздуха от одной стационарной компрессорной станции и в течение 12 лет обеспечивают мелиоративное благополучие территории г. Каменки-Днепровской, подтопленной водохранилищем. До постройки эрлифтной установки эти скважины эксплуатировались малоэффективно, так как повышенное пескование приводило к частой поломке насосов.

Изложенный способ дренажа прост конструктивно, надежен в работе и в ряде случаев может быть эффективнее систематического горизонтального.

#### Л и т е р а т у р а

1. Шестанов В.М. Методические указания по расчетам дренажа в слоистых системах. М., ВСЕГИНГЕО, 1966.

2. Материалы Управления защитных сооружений на Кяховском водохранилище 1962-1968, Никополь.

3. Материалы исследований института "Средазгипроводхлопок" и МГ УзССР и проектам орошения земель Голодной степи (1959-1972). Техархив института "Средазгипроводхлопок". Ташкент.

УДК 634.4:626.8

Н.И. Калужная, канд. техн. наук,  
ст. науч. сотр.  
(САНИИРИ)

О СОСТАВЛЕНИИ КАРТ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА  
ВОДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ДЛЯ ПОДБОРА ФИЛЬТРОВЫХ ОБСЫПОК  
СКВАЖИН ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

При проектировании и строительстве дренажа на осваиваемых землях одним из наиболее важных вопросов является подбор фильтровых обсыпок дрен. Подбор обсыпок для скважин вертикального дренажа производится по фракционному составу и суффозионной устойчивости водоносных горизонтов.

На основании материалов гидрогеологических исследований на территории совхозов и колхозов I очереди орошения и освоения земель Каршинской степи автором данной статьи проведена проработка по обобщению составов аллювиальных и неогеновых водоносных песков, вскрытых выработками глубиной 50-100 м и мощностью более 5 м.

По фракционному составу нами выделены три условные группы песков: 1 - гравелистые и крупнозернистые, 2 - среднезернистые, 3 - мелкозернистые - со следующим размером и процентным содержанием частиц (табл. 1).

В результате проработки составлена карта фракционного состава водовмещающих пород на землях I очереди орошения Каршинской степи (рис. 1).

Расчет состава фильтровых обсыпок скважин вертикального дренажа для выделенных зон производился по методике, изложенной в указаниях по проектированию оросительных систем [1].



Рис. 1. Карта фракционного состава водовмещающих пород на землях I очереди орошения Каршинской степи.

## Фракционный состав водонесных песков

| Грунт                         | Размер фракций (мм) |        | Содержание фракций (%) |
|-------------------------------|---------------------|--------|------------------------|
|                               | 20-1                | 1-0,25 | 0,25-0,1               |
| Гравелистые и крупнозернистые | 20-15               | 75-60  | 25-5                   |
| Среднезернистые               |                     | 95-85  | 15-5                   |
| Мелкозернистые                |                     | 60-70  | 40-30                  |

Минимально допустимый размер фракции обсыпки  $D_{17}^{min}$  рассчитан по зависимости

$$D_{17}^{min} = \sqrt{\frac{\alpha' \alpha K_r (1-m)^2}{\alpha m^3 \eta^{0,62}}},$$

где  $\alpha'$  — коэффициент уменьшения водопроницаемости обсыпки при работе скважины;

$\alpha$  — оптимальное отношение между коэффициентом фильтрации обсыпки и коэффициентом фильтрации грунта;

$K_r$  — коэффициент фильтрации грунта, м/сут;

$m$  — порозность обсыпки (по таблице);

$\alpha$  — постоянная величина, равная 342;

$\eta$  — коэффициент неоднородности обсыпки,  $\eta = 2-10$ .

Расчетный максимально допустимый размер фракции обсыпки  $D_{17}^{max}$  определен по выражению

$$D_{17}^{max} = \frac{D_0}{0,023 \sqrt{\alpha'} \frac{m}{1-m} \cdot \eta^{0,31}}$$

$D_0$  — расчетный диаметр пор материала обсыпки, см (определяется по вспомогательным таблицам).

По полученным значениям  $D_{17}^{min}$  и  $D_{17}^{max}$  находится  $D_{min}$  для несуггезионного грунта

$$D_{min} = \frac{D_{17}}{1 + 1,7^x \frac{\eta-1}{5\eta}},$$

где  $x = 1 + 1,2 \lg \eta$ .

При известном  $D_{min}$  вычисляется фракционный состав несуггезионного грунта

$$D_i = D_{min} \left[ 1 + (0,1 P_i)^x \cdot \frac{\eta-1}{5\eta} \right],$$

где  $P_i$  - процентное содержание в грунте дренажной обсыпки частиц по весу, имеющих диаметр, меньший  $d_i$ .

При заданных значениях  $P_i = 10 \dots, 50 \dots, 100$  определяют соответствующие величины  $D_i$ , по которым строятся расчетные кривые фракционного состава несuffозионного грунта дренажной обсыпки, определяющие верхний и нижний пределы пригодности материала для обсыпки.

Подбор фильтровых обсыпок для suffозионных грунтов производился по составу заполнителя при межслойном коэффициенте

$$\xi^* = \alpha' \frac{D_{\text{св}}^{\text{св}}}{d_{50}^{\text{зан}}},$$

где  $d_{\text{св}} = d_{50}^{\text{зан}}$  ( $d_{\text{св}}$  - диаметр сводообразующих частиц).

Далее расчет выполнялся так же, как и для несuffозионных грунтов.

При неоднородном в разрезе строении водоносного горизонта состав гравийной обсыпки подбирается из условия фильтрационной устойчивости наиболее мелкозернистого олоя.

Результаты расчетов фракционного состава обсыпок для гравелистых и крупнозернистых, средне- и крупнозернистых, мелко- и тонкозернистых песков сведены в табл.2.

Таблица 2

Расчетный фракционный состав гравийных обсыпок  
для скважин вертикального дренажа

| Параметры                      | Ед.<br>изм. | Г р у н т                                      |                                            |                                       |
|--------------------------------|-------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|
|                                |             | гравелистые<br>и крупно-<br>зернистые<br>пески | средне- и<br>крупно-<br>зернистые<br>пески | мелко- и<br>тонкозернис-<br>тые пески |
| 1                              | 2           | 3                                              | 4                                          | 5                                     |
| Грунт                          |             | Несuffозионные                                 |                                            | Суффозионные                          |
| $d_{50}$                       | мм          | 0,5                                            | 0,25                                       | 0,15                                  |
| $\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ |             | 20                                             | 15                                         | 91,6                                  |
| $K_{\text{ф}}$                 | м/сут       | 20                                             | 12-15                                      | 8-10                                  |

| 1                | 2  | 3    | 4    | 5    |
|------------------|----|------|------|------|
| Обсыпка          |    |      |      |      |
| $m$ — пористость |    | 0,32 | 0,32 | —    |
| $D_{17}^{min}$   | мм | 4,2  | 2,0  | 0,4  |
| $D_{17}^{max}$   | "  | 4,4  | 2,7  | 0,48 |
| $D_{min}$        | "  | 2,6  | 1,25 | 0,06 |
| $D_{max}$        | "  | 2,8  | 1,4  | 0,4  |
| $D_{40}^{min}$   | "  | 3,1  | 1,48 | 0,08 |
| $D_{40}^{max}$   | "  | 3,24 | 2,2  | 0,15 |
| $D_{50}^{min}$   | "  | 20,9 | 8,0  | 0,4  |
| $D_{50}^{max}$   | "  | 22,0 | 10,0 | 0,7  |
| $D_{80}^{min}$   | "  | 57,0 | 18,5 | 0,8  |
| $D_{80}^{max}$   | "  | 60,0 | 22,5 | 1,5  |
| $D_{100}^{min}$  | "  | 91,7 | 27,0 | 1,2  |
| $D_{100}^{max}$  | "  | 96,2 | 32   | 2,0  |

Вопросы подбора фильтровых обсыпок для скважин вертикально-го дренажа в течение ряда лет разрабатывались также институтами "Средазгипроводхлопок" и САНИИРИ.

В методике САНИИРИ [2] для гравелистых, средне- и мелко-зернистых песков приводится предельное содержание фракций гравийной обсыпки (при толщине ее 250–300 мм). В проработках института "Средазгипроводхлопок" (Н.И.Калужная), на основании обобщения натурных исследований скважин и подбора фильтров на моделях, также выявлены области применения обсыпок для гравелистых, средне- и мелкозернистых песков.

На рис.2 приведены расчетные области, предложенные ВНОГЕМОм, САНИИРИ и Средазгипроводхлопком.

Расчет обсыпки по рекомендациям ВНОГЕМа произведен при максимальном коэффициенте неоднородности обсыпки  $\eta_{\phi} = 10$ , т.е. на максимально допустимый предел, так как рекомендуемые размеры  $\eta_{\phi} = 2-10$ . Если обсыпка рассчитывается при  $\eta_{\phi} = 2-5$ , то об-

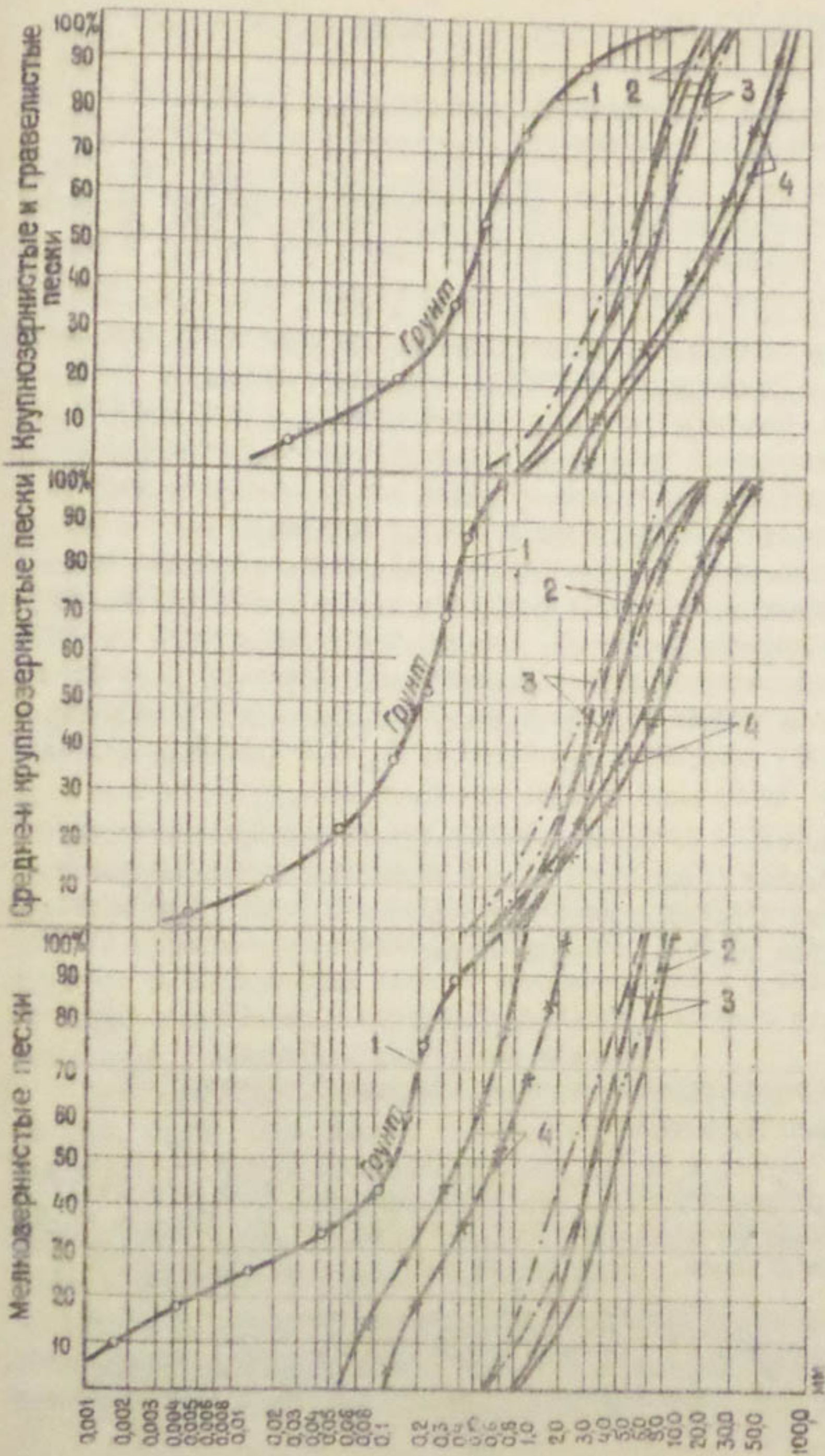


Рис. 2. Варианты фракционного состава сильных обсыпов для скважин вертикального дренажа (1 - о-о фракционный состав грунтов; расчетная состав обсыпок; 2 - --- по рекомендациям Среднеазиатского института; 3 - --- по рекомендациям САНИНИИ; 4 - -х- по рекомендации НИОГЕМА).

ласть ее применения приблизится к решениям Средазгипроводхлопка и САНИИРИ.

На исследуемых участках Каршинской степи гравелистые пески имеют значительную площадь распространения и прослеживаются в разрезах вместе с крупно- и среднезернистыми песками (район I). Для этого района рекомендуется зерновой состав обсыпок, рассчитанных для средне- и крупнозернистых песков (см. рис. 2), с параметрами:  $\varphi = 2-8$ ;  $D_{40} = 1,0-1,8$ ;  $D_{50} = 3-5$ ;  $D_{80} = 7-10$ ;  $D_{100} = 10-20$ .

Подбор обсыпок для мелкозернистых суффозионных песков крайне сложен. Рекомендации САНИИРИ и Средазгипроводхлопка даны, в основном, для мелкозернистых несуффозионных песков. ВНОГЕМ для суффозионных песков предлагает методику расчета по составу заполнителя грунта; фильтровой обсыпкой для этого грунта должен служить крупно- и среднезернистый песок (см. рис. 2).

На исследуемых участках Каршинской степи тонкозернистые пески встречаются прослоями в разрезе вместе со средне- и крупнозернистыми песками (район II), поэтому фильтровой состав обсыпки в области их распространения рекомендуется применять с коэффициентом неоднородности, равным 10. Параметры зернового состава фильтра будут следующие:  $D_{40} = 0,1-0,2$ ;  $D_{50} = 0,8-1,5$ ;  $D_{80} = 2,2-4,2$ ;  $D_{100} = 7-10$ .

Предлагаемая методика составления карт гранулометрического состава водовмещающих пород дает возможность проектным организациям выбрать и рекомендовать для эксплуатации гравийные карьеры с фракционным составом, близким к расчетному.

### Л и т е р а т у р а

1. Инструкция по проектированию оросительных систем. Ч.УШ, ВСН-П-8-74, М., 1975.
2. Якубов Х.И., Ходжаев С.С., Абиров А.А. Методика расчета скважин вертикального дренажа с оптимальными параметрами водоприемной части. - Информационный листок № 33-77 (ЦБНТИ).
3. Отчеты о гидрогеологических исследованиях совхозов № 1-31 I очереди орошения и освоения земель Каршинской степи. Архив института "Средазгипроводхлопок". Ташкент.

Б.Ж.Жуманов, гл.геолог объекта  
А.А.Пугач, нач.отряда  
(Средазгипроводхлопок)

## ОСОБЕННОСТИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЛЕССОВ МАССИВА II ОЧЕРЕДИ ОРОШЕНИЯ КАРШИНСКОЙ СТЕПИ

Рассматриваемая территория расположена в северо-восточной части площади II очереди орошения и освоения земель Каршинской степи. В геоморфологическом отношении она представляет собой пролювиальную равнину, характерной особенностью которой является расчлененность — наличие долинообразных понижений, водоразделов и пологих склонов. В литологическом строении ее до разведанной глубины принимают участие четвертичные и неогеновые отложения. Четвертичные отложения представлены лессовыми грунтами мощностью 15–40 м и пылеватыми суглинками, твердыми, макропористыми, залегающими в интервалах глубин от 15–40 до 120 м, мощностью до 80 м. Неогеновые отложения вскрыты на глубине 30–120 м; представлены алевролитами и глинами, среди которых встречаются пласты песчаников.

Наличие на массиве различных генетических типов лессовых грунтов и возможность их уплотнения в процессе орошения массива, что повлечет изменение их фильтрационных свойств, вызвали необходимость в процессе исследований для обоснования технического проекта мелиоративных мероприятий провести тщательное изучение фильтрационных свойств лессовых грунтов в зависимости от приуроченности их к определенным типам рельефа и степени уплотнения в результате длительной замочки.

Опыт орошения и освоения новых земель Голодной, Дальверзинской, Сурхан-Шерабадской и I очереди Каршинской степей показал резкое снижение водопроницаемости лессов в результате орошения. Поэтому систематический дренаж, подсчитанный по параметрам, полученным при полевых опытах до орошения территории, часто не в состоянии обеспечить норму осушения.

В свете сказанного оценка фильтрационных свойств лессов, приуроченных к определенным типам рельефа, и прогнозирование изменения этих свойств в процессе орошения имеют важное практи-

ческого значение.

По гранулометрическому составу лессовые грунты донной части свай, склонов и водоразделов не различаются. Все они относятся к пылеватым тяжелым супесям и легким суглинкам, среди которых встречаются прослойки легких супесей и средних суглинков. Среднее содержание песчаных фракций в составе рассматриваемых лессов 12%, пылеватых - 78% и глинистых - 10%.

При исследованиях были применены обычные методы определения коэффициента фильтрации - налив воды в шурфы по Нестерову и длительное замачивание лессов в котловане в течение шести месяцев.

Наливы воды в 20 опытных шурфов, заданных по створам равномерно на площади - через каждые 2 м, проводились как на водоразделах, так и на склонах и в днищах логов.

Опробование грунтов на водоразделах проведено до глубины 20 м. Этими опытами установлено закономерное изменение с глубиной плотности и коэффициента фильтрации, что характерно для лессовых толщ грунтов [17].

Кроме того, кривые изменения объемной плотности скелета грунтов и коэффициента фильтрации с глубиной, приведенные на рис. 1, свидетельствуют о наличии взаимосвязи между водопроницае-

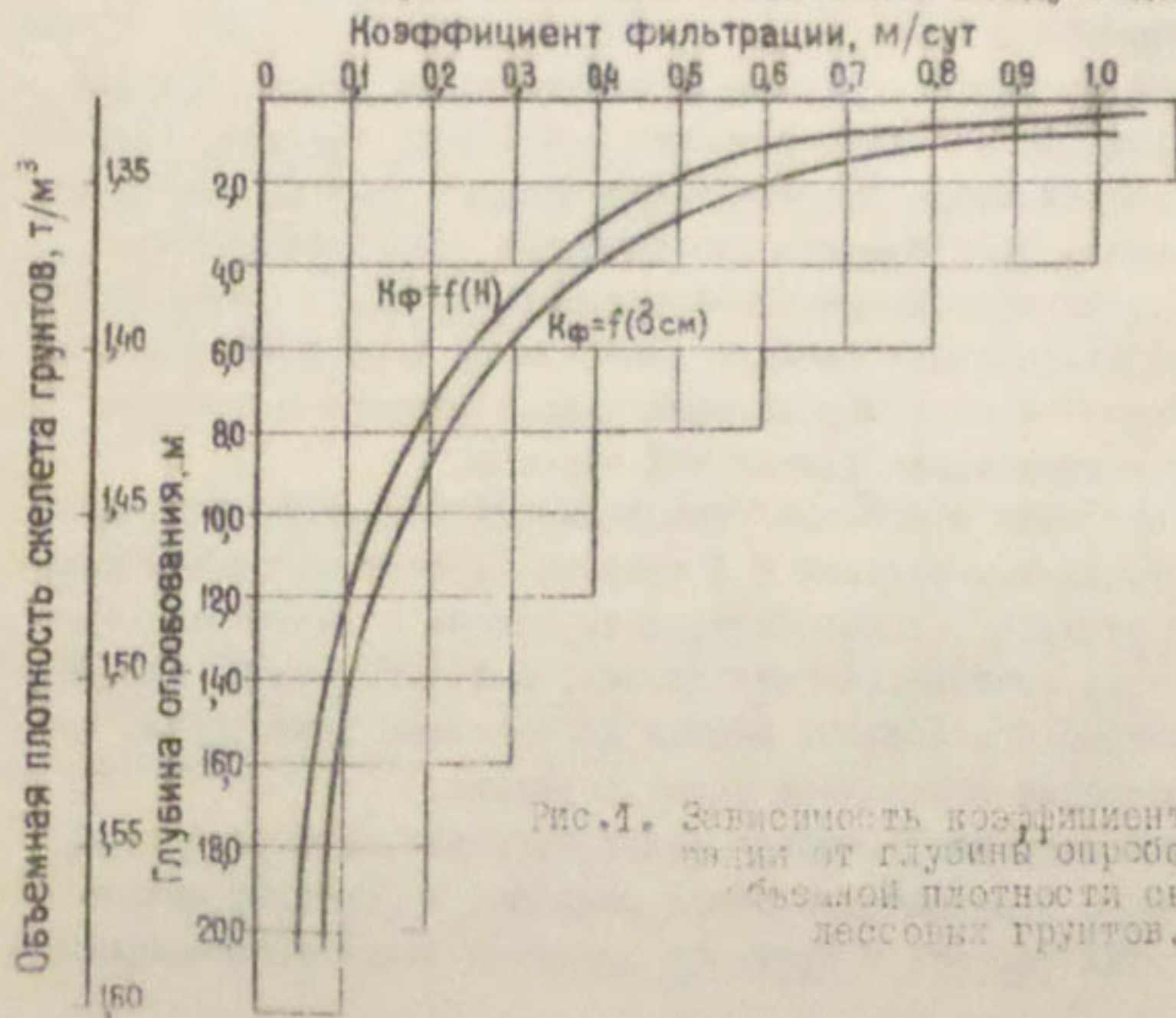


Рис. 1. Зависимость коэффициента фильтрации от глубины опробования и объемной плотности скелета лессовых грунтов.

мостью и плотность грунтов. При значениях  $\delta > 1,5 \text{ т/м}^3$  величина коэффициента фильтрации составляет  $0,03 \text{ м/сут}$ , в интервале (диапазоне)  $\delta = 1,40-1,50 \text{ т/м}^3$  — от  $0,1$  до  $0,3 \text{ м/сут}$  и в интервале  $\delta = 1,35-1,40 \text{ т/м}^3$  — от  $0,3$  до  $0,6 \text{ м/сут}$ , т.е. в последнем случае уменьшение объемной плотности скелета на  $0,05 \text{ т/м}^3$  приводит к увеличению коэффициента фильтрации в два раза.

Результаты опытов показали, что по фильтрационным свойствам лессовые грунты склонов мало отличаются от грунтов, слагающих водораздельные части, и вышеописанная закономерность характерна и для этих грунтов (рис.2).

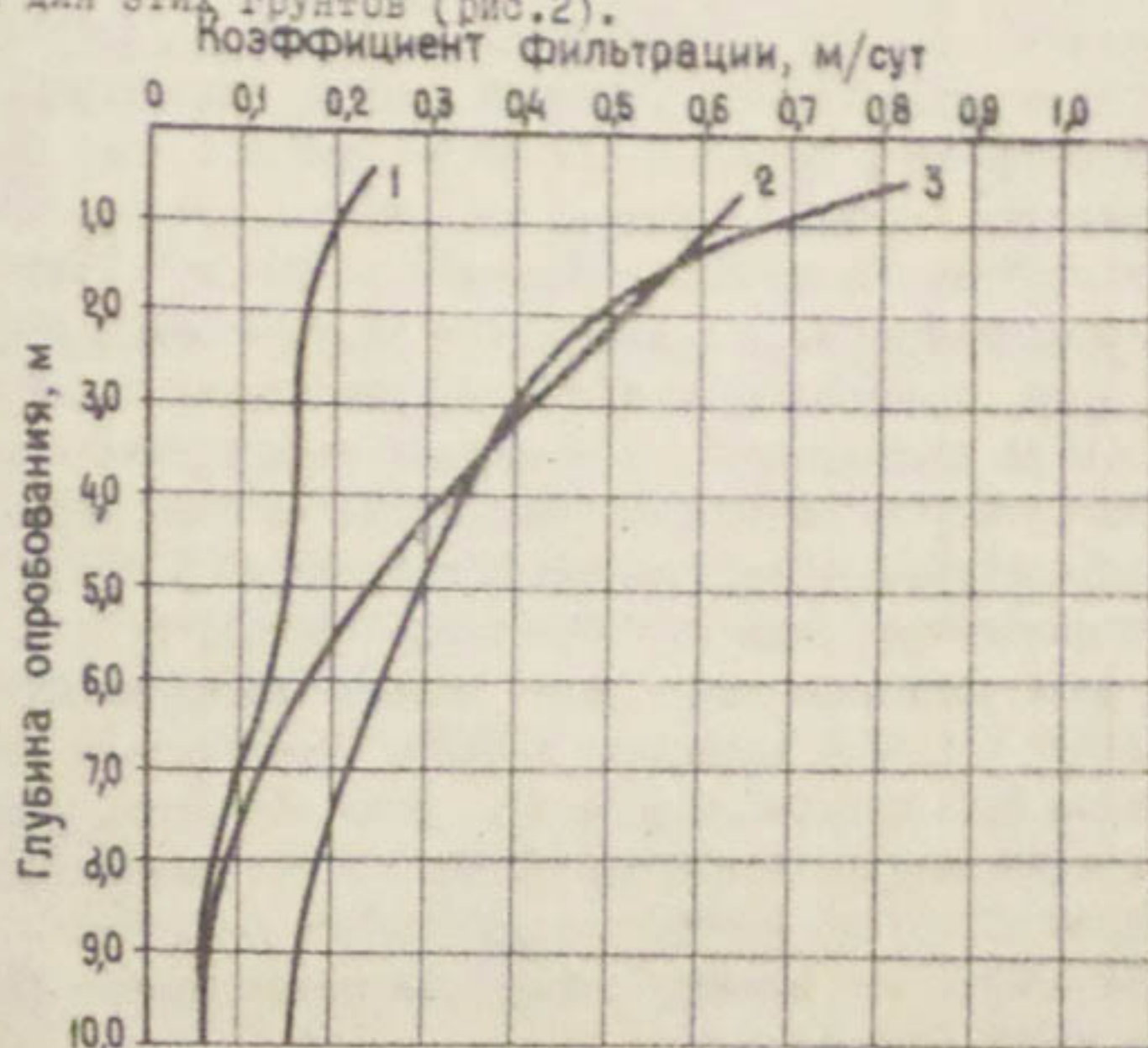


Рис.2. Зависимость коэффициента фильтрации от глубины опробования грунтов дна крупных логов (1), склонов крупных логов (2) и водоразделов (3).

Лессовые грунты в днищах крупных саяв характеризуются повышенной плотностью с объемной плотностью скелета в среднем  $1,60 \text{ т/м}^3$  и очень низкой водопроницаемостью. Исключение составляет верхняя метровая толща, где изменение коэффициента фильтрации  $0,2-0,3 \text{ м/сут}$  обусловлено наличием ходов землероев и пустот, образованных корневой системой растений. Ниже коэффи-

коэффициент фильтрации изменяется от 0,2 до 0,4 м/сут, уменьшаясь с глубиной, что является результатом уплотнения грунтов вследствие инфильтрации воды за счет селевых потоков [2]. В зоне капиллярного поднятия грунтовых вод величина коэффициента фильтрации не меняется с глубиной и в среднем составляет 0,07 м/сут. Низкая водопроницаемость лессовых грунтов в днищах крупных саяв требует особого подхода при проектировании дренажа на рассматриваемом массиве орошения.

Кроме этого, при обосновании дренажных мероприятий, как было уже сказано, важное практическое значение имеет прогнозирование изменения водопроницаемости лессов на водоразделах и склонах в результате орошения проектируемого массива, что возможно путем длительного замачивания лессов в опытных котлованах.

С этой целью на водораздельных частях массива, где ожидаются максимальная просадка и уплотнение, было проведено опытное замачивание грунтов в котлованах размером до 300 м<sup>2</sup> (15x20). В процессе замачивания велись наблюдения за изменением расхода подаваемой воды, что позволило судить об уменьшении водопроницаемости по мере промачивания. В начальный период замачивания (первые пять суток) величина фильтрационного расхода характеризует водопроницаемость верхней толщи лессов (до 5,0 м), где коэффициент фильтрации равен 0,5–1,0 м/сут. Далее, по мере проникновения фильтрационных вод в более плотные нижележащие толщи и с увеличением объемной плотности грунтов в результате просадки, уменьшался фильтрационный расход и, следовательно, коэффициент фильтрации лессов. На период полного промачивания зоны аэрации (через 60 суток) величина коэффициента фильтрации составляла 0,32 м/сут, а к моменту завершения опыта (через 183 суток) – 0,16 м/сут (рис.3).

Таким образом, водопроницаемость лессов в процессе замачивания в течение шести месяцев уменьшалась в 2–3 раза.

На рис.3 четко наблюдается параллельность кривых изменения коэффициента фильтрации и интенсивности процесса просадки, что свидетельствует о наличии прямой зависимости водопроницаемости от степени уплотнения замачиваемых грунтов и, следовательно, от изменения величины объемной плотности скелета грунтов.

Обобщение данных многочисленных полевых опытов, проведенных на площади распространения лессов, дало возможность просле-

доть зависимость значения коэффициента фильтрации от величины

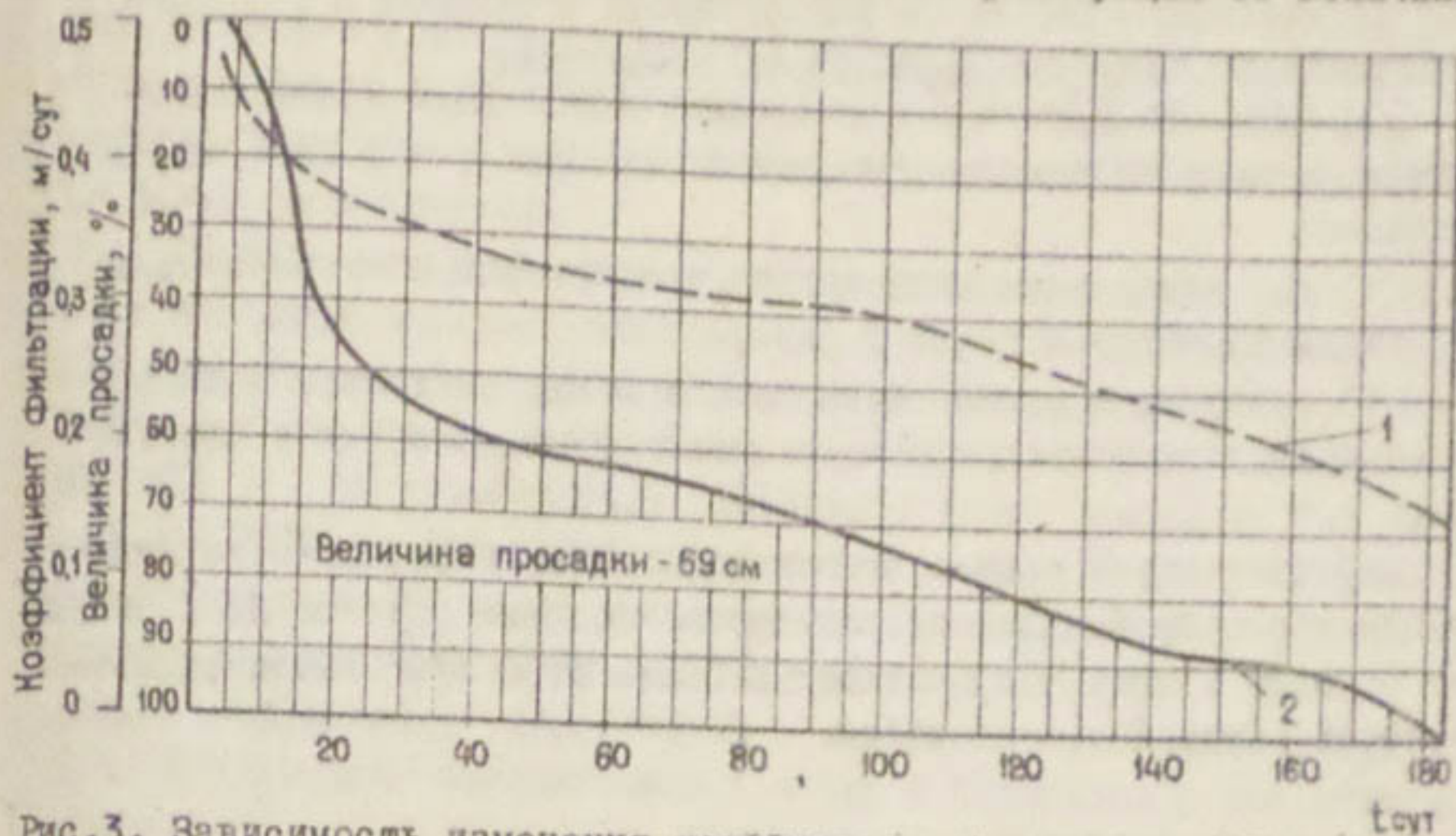


Рис.3. Зависимость изменения коэффициента фильтрации (1) и величины просадки (2) от времени.

объемной плотности грунтов (рис.4), позволяющую оценивать величину коэффициента фильтрации лессов по величине их объемной плотности, которая определяется простыми способами в полевых и лабораторных условиях.

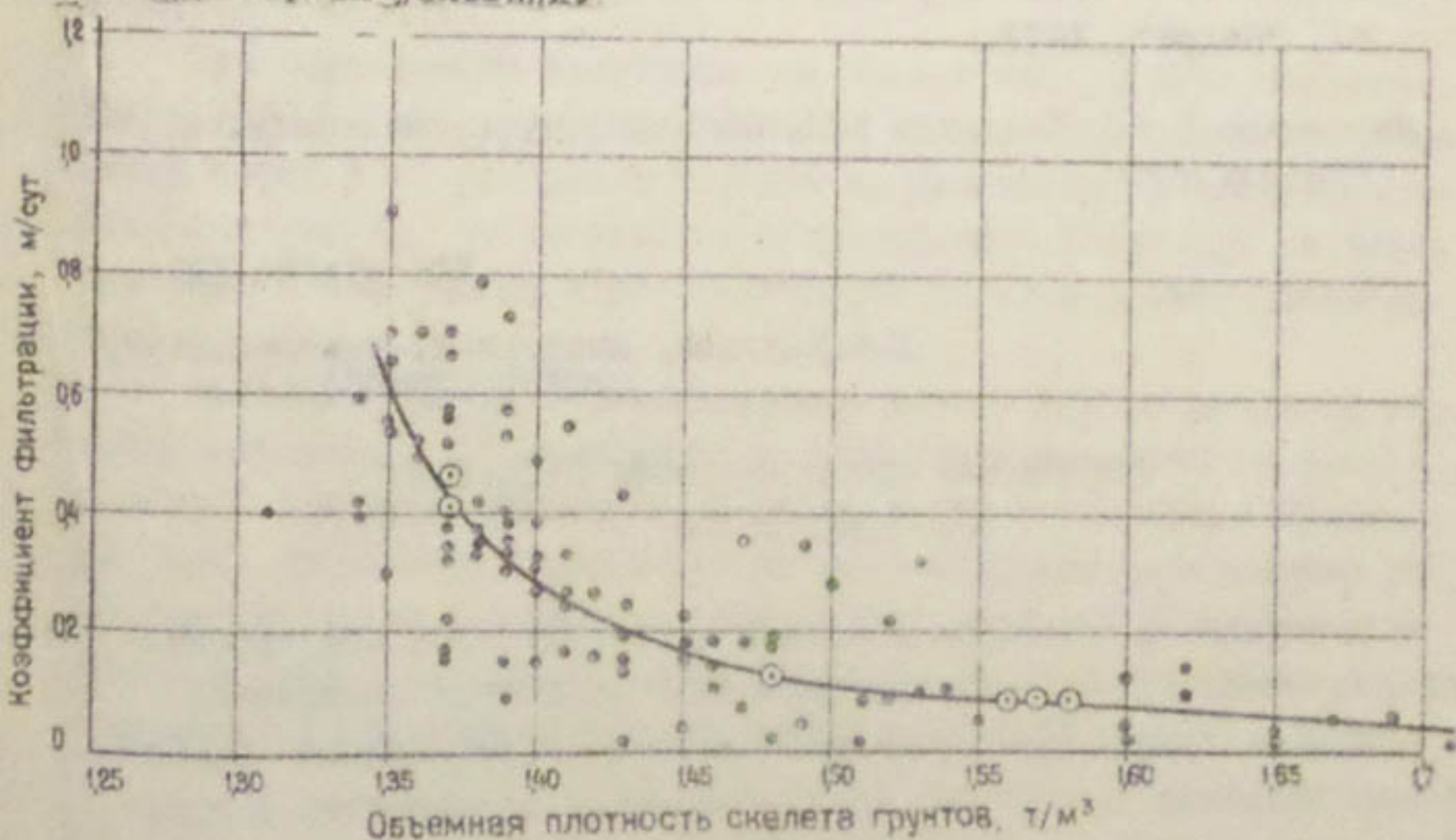


Рис.4. Зависимость коэффициента фильтрации от объемной плотности скелета грунтов (⊙ - одиночные определения; ⊖ - многократные определения).

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- 1) плотность лессов на водоразделах и склонах с глубиной увеличивается, а водопроницаемость снижается;
- 2) лессовые грунты в логах имеют повышенную плотность и низкую водопроницаемость, изменение которых с глубиной незначительно;
- 3) при длительном замачивании водопроницаемость лессов на водоразделах снижается в 2-3 раза;
- 4) существует прямая зависимость между снижением водопроницаемости и скоростью просадки лессов в процессе их замачивания;
- 5) существует прямая зависимость между коэффициентом фильтрации и объемной плотностью скелета лессовых грунтов до  $1,50 \text{ т/м}^3$ . Для грунтов с объемной плотностью более  $1,50 \text{ т/м}^3$  такая закономерность выражена менее четко.

### Л и т е р а т у р а

1. Бондарик Г.К., Горильчук М.И., Сироткин В.Г. Закономерность пространственной изменчивости лессовых пород. М., "Недра", 1976.
2. Лысенко М.П. Состав и физико-механические свойства грунтов. М., "Недра", 1972.
3. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Основы гидрогеомеханики. М., "Недра", 1974.

УДК 55:624.131

Д.Н.Круглов, канд.геол.-минерал.наук,  
доцент (ТашПИ)

### УСКОРЕННЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗА ПРОСАДОК ЛЕССОВЫХ ПОРОД

Определение размеров просадок лессовых пород при проектировании оросительных систем, каналов и различных сооружений на них и на территории орошаемого массива имеет большое практическое значение для выбора антипросадочных мероприятий и организации процесса производства работ.

Точность всяких прогнозов, основанных на расчетах, зави-

онит прежде всего от достоверности информации об исходных показателях, используемых для этих целей. Последняя для решения рассматриваемого вопроса получается путем испытания сжимаемости лессовых пород в одометрах и методом замачивания просадочных грунтов в опытных котлованах, траншеях и даже на значительных по размерам площадках.

Опытное замачивание, по мнению многих исследователей, является наиболее надежным методом определения просадочности и прогноза размеров просадок. "Инструкция по проектированию оросительных систем на просадочных грунтах ВСН-П-23-75" Минводхоза СССР [1] предусматривает проведение таких опытов на 4-2 участках на 1000 га орошаемой территории. Но каждый опыт обходится в несколько десятков тысяч рублей, хотя он по ряду причин (зависящих и не зависящих от исполнителей) не всегда дает надежные результаты, что приводит к неверным выводам, а иногда даже и к вредным направлениям в науке о просадках в лессовых породах.

Просадочность лессовых пород устанавливается совокупностью характеризующих ее признаков. Но основной качественной и количественной характеристикой просадочности является плотность сложения пород в естественном залегании, измеряемая величиной объемной массы скелета грунта, пористостью или коэффициентом пористости породы.

При определении просадочности лессов авторы ряда исследований [1]-[8] основывались только на показателях состояния плотности пород и не учитывали глубины их залегания, а следовательно и напряжений, развивающихся в просадочной толще при ее замачивании. Такой подход дает отвлеченное понятие о просадочности лессов.

Величина объемной массы скелета лесса, как известно, с глубиной возрастает, а пористость и коэффициент пористости уменьшаются в том же направлении. Изменения эти подчиняются правилу пилы. Но если рассматривать их по 5-метровым интервалам, то среднее значение показателей возрастает (или уменьшается) равномерно, почти по прямой линии (табл.1, рис.1); для 30-метровой толщи лесса разных районов УзССР и ТаджССР одного и того

же возраста, соответствующего ташкентскому циклу осадконакопления, объемная масса скелета грунта возрастает в среднем на  $0,03 \text{ т/м}^3$  на каждые 5 м.

Таблица 1

Объемная масса скелета лессовых пород по 5-метровым интервалам ( $\text{т/м}^3$ )

| Зона | Номер шурфа по первоисточникам |               |                                   |                     |           |                               |       | Сред-<br>нее |
|------|--------------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------------|-----------|-------------------------------|-------|--------------|
|      | Северный<br>кентский           | Таш-<br>канал | Самарканд-<br>ская котло-<br>вина | Каршинская<br>степь |           | Перепадная<br>ГЭС             |       |              |
|      | без<br>номера                  | 74            | 92                                | опыт<br>1           | опыт<br>2 | опыт-<br>ный<br>котло-<br>ван | шахта |              |
| 1    | 1,33                           | 1,34          | 1,32                              | 1,35                | 1,35      | 1,35                          | 1,37  | 1,34         |
| 2    | 1,40                           | 1,39          | 1,35                              | 1,38                | 1,39      | 1,40                          | 1,32  | 1,40         |
| 3    | 1,45                           | 1,41          | 1,40                              | 1,40                | 1,43      | 1,35                          | 1,35  | 1,40         |
| 4    | 1,42                           | 1,42          | 1,38                              | 1,50                | 1,54      | 1,36                          | 1,38  | 1,43         |
| 5    | 1,47                           | 1,46          | 1,45                              | 1,53                | 1,55      | 1,43                          | 1,47  | 1,48         |
| 6    | 1,47                           | 1,47          | 1,53                              | 1,53                | 1,49      | 1,51                          | 1,57  | 1,52         |

Просадка лесса при замачивании представляет собой процесс самоуплотнения породы под действием собственной массы или массы грунта и сооружения. Изменения плотности породы происходят в соответствии с развивающимися в ней напряжениями на разных глубинах, хотя правило пилы в изменении показателей плотности сохраняется, но в более сглаженной форме. Средние значения объемной массы скелета грунта по 5-метровым интервалам (зонам) с глубиной возрастают закономерно, а пористость уменьшается в том же направлении. Характер этих изменений отражен на рис.2 и в табл.2. Для составления графика использованы результаты определения рассматриваемых показателей по образцам, отобранным из шурфов, заложенных после длительного замачивания просадочных пород:

шурф 73 с просадочного блюда в концевой части Северного Ташкентского канала, где в течение более 10-летнего периодичес-

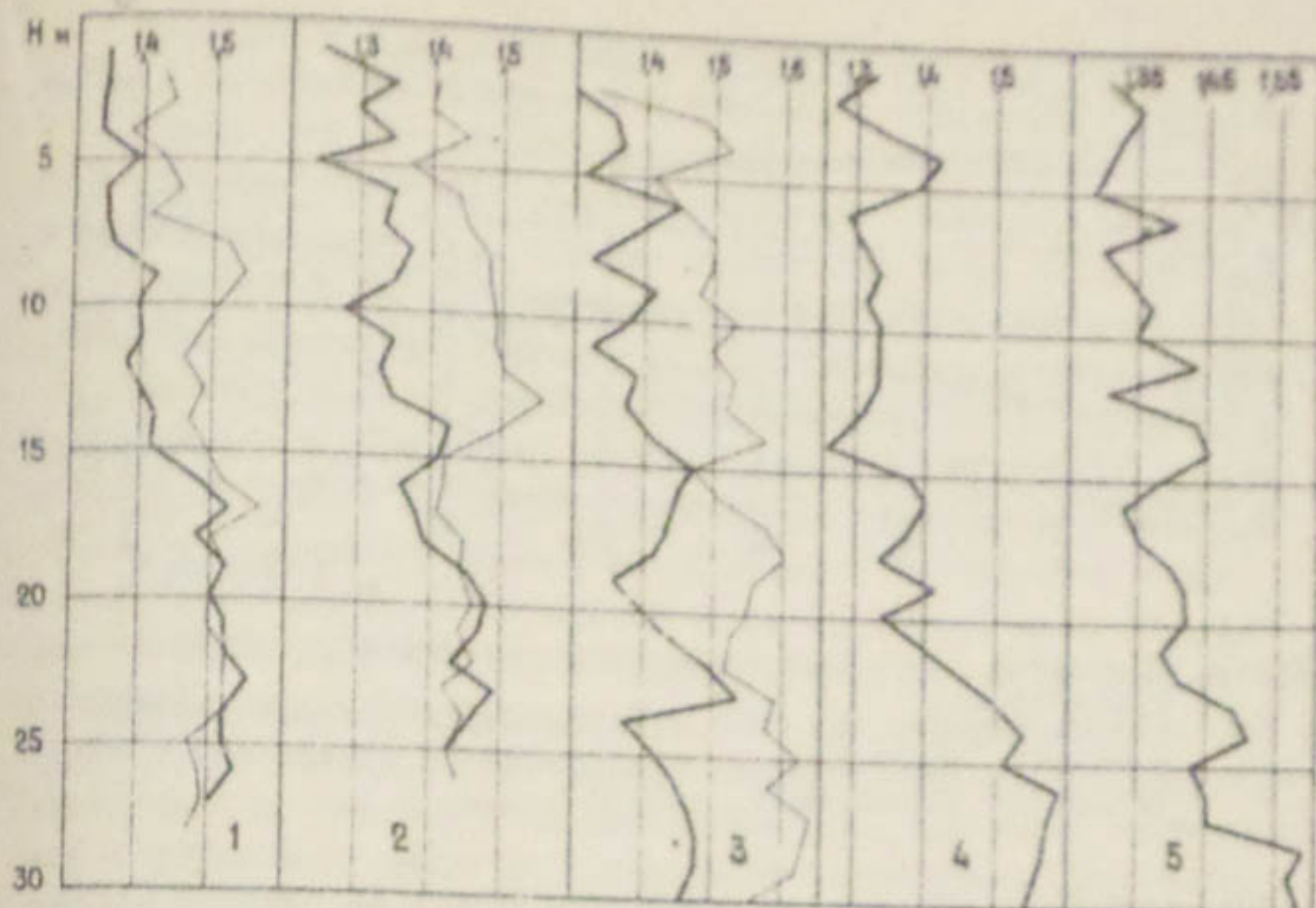


Рис. 1. Изменение объемной массы скелета лесса с глубиной (--- до замачивания, — после замачивания):  
 1 - опытный котлован № 1 в Каршинской степи;  
 2 - опытный котлован № 1 на Кок-Аральском массиве;  
 3 - Северный Ташкентский канал; 4 - перепадная ГЭС;  
 5 - Самаркандская котловина, шурф 92.

Таблица 2

Средние величины объемной массы скелета грунта по 5-метровым зонам после замачивания просадочной породы ( $\text{т/м}^3$ )

| Зона | Номер шурфа по первоисточникам |      |      |      |      |      |        |      |      | Среднее |
|------|--------------------------------|------|------|------|------|------|--------|------|------|---------|
|      | 73                             | 26л. | 2к1  | 2к2  | АК-А | 165  | опыт 1 | АМ   | 49   |         |
| 1    | 1,44                           | 1,43 | 1,42 | 1,43 | 1,42 | 1,43 | 1,40   | 1,45 | -    | 1,43    |
| 2    | 1,50                           | 1,48 | 1,49 | 1,45 | 1,48 | 1,49 | 1,46   | 1,49 | 1,43 | 1,47    |
| 3    | 1,52                           | 1,48 | 1,48 | 1,49 | 1,48 | 1,50 | 1,46   | 1,50 | 1,47 | 1,49    |
| 4    | 1,56                           | 1,57 | 1,52 | 1,52 | 1,44 | 1,63 | -      | -    | 1,47 | 1,53    |
| 5    | 1,58                           | 1,60 | 1,50 | 1,57 | -    | -    | -      | -    | -    | 1,56    |
| 6    | 1,60                           | -    | -    | 1,58 | -    | -    | -      | -    | -    | 1,59    |

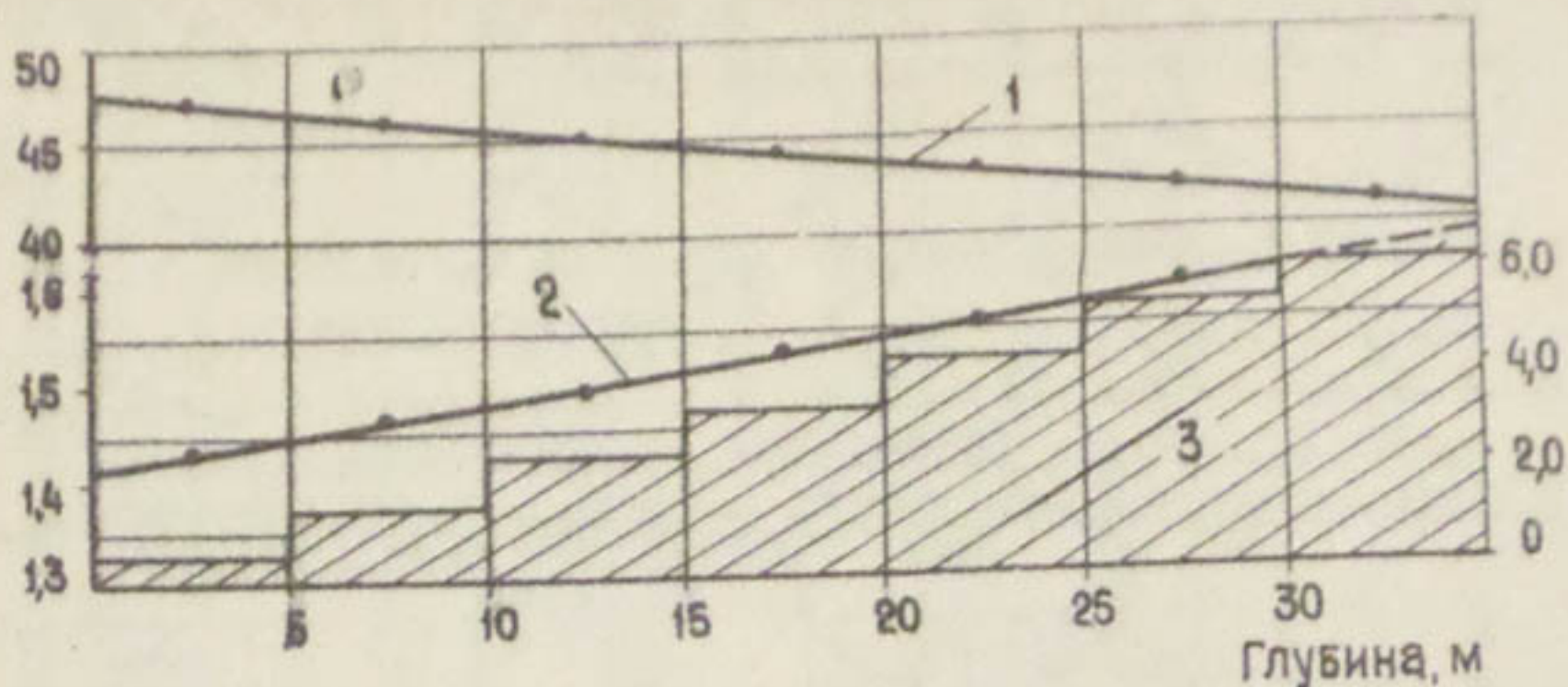


Рис. 2. Изменение плотности лесса по зонам после длительного замачивания:  
 1 - пористость, %; 2 - объемная масса скелета грунта, т/м³; 3 - эпюры средних напряжений в просадочной породе при ее замачивании, кгс/см².

кого затопления поверхность земли опустилась на глубину около 250 см [9];

шурф 2 с просадочного блюдца (2 бл), образовавшегося на землях II очереди орошения Каршинской степи от затопления участка площадью около 300 м² самоизливающейся водой из буровой скважины, пробуренной нефтяниками более 10 лет назад;

шурф 2 со дна опытного котлована № 1 (2к1) после 180-суточного замачивания, производившегося институтом "Средазгипроводхлопок" в 1974 г. в 150 м от указанной выше скважины;

шурф 2 со дна 2-го опытного котлована (2к2) института "Средазгипроводхлопок" на землях II очереди орошения Каршинской степи, где замачивание продолжалось 178 суток (1975 г.);

шурф 1 со дна котлована № 1 Средазгипроводхлопка на Кок-Аральском массиве, который был залит 125 суток (1968 г.);

шурф 165 (включает средние значения и из шурфа 170) с Джизакского опытного котлована, в котором замачивание продолжалось 125 суток (1972 г.);

шурф опыта I из котлована института "Гидроингео", замачивание в котором производилось в 1962 г. в течение 95 суток;

шурфы VI и IV с просевшего участка по берегам арыка Новый Джун [2], где суммарная величина просадки около 120 см (шурф IV) и 140-150 см (шурф VI); верхняя 5-метровая часть лесса у шурфа IV просадкой не затронута, о чем свидетельствуют низкие величины естественной влажности и объемной массы скелета грунта.

Во всех случаях уплотнение просадочной породы практически закончилось. В результате этого объемная масса скелета грунта, а следовательно и пористость приобрели такие размеры, которые соответствуют развивавшимся напряжениям в просадочной толще при ее замачивании и растекании бугра грунтовой воды, образующегося в процессе опытов. Средние значения их по 5-метровым интервалам можно считать пределом, выше которого уплотнение при замачивании породы без дополнительного на нее давления практически быть не может. Таким образом, график изменения плотности лесса с глубиной после длительного его замачивания по 5-метровым интервалам (или зонам) представляется возможным принять за эталон, указывающий на завершение просадки. Сравнение с ним величины объемной массы или пористости позволяет без особого труда установить, просадочная порода или непросадочная для любой глубины до 30-35 м, независимо от ее мощности. Для просадочной породы она разместится ниже эталонной линии, а для непросадочной - выше или совпадет с ней.

В рассмотренном аспекте указанные выше признаки просадочности лессовых пород приобретают иное понятие. Они представляют собой не какие-то постоянно действующие величины, а изменяются с глубиной, т.е. в соответствии с увеличением напряжений в просадочной породе при ее увлажнении (табл.3).

Эти показатели могут служить не только качественной характеристикой просадочности лессовых пород, но и количественной. По ним представляется возможным установить как просадочность, так и размеры возможных просадок. Для этой цели надо определить величину объемной массы скелета лессового грунта и пористость его через метр или через полметра и их средние значения по 5-метровым интервалам (зонам). Приняв их за исходные, а снятые с

Таблица 3

Изменение показателей признаков просадочности  
лесса с глубиной

| Признаки проса-<br>дочности                           | Интервалы глубины, м |               |               |               |               |               |               |
|-------------------------------------------------------|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                                                       | 0-5                  | 5-10          | 10-15         | 15-20         | 20-25         | 25-30         | 30-35         |
| Объемная масса<br>скелета грунта,<br>т/м <sup>3</sup> | 1,42-<br>1,43        | 1,45-<br>1,46 | 1,48-<br>1,49 | 1,52-<br>1,53 | 1,55-<br>1,56 | 1,58-<br>1,59 | 1,60-<br>1,61 |
| Пористость, %                                         | 47                   | 46            | 45            | 44            | 43            | 42            | 41            |

графика или из табл.3 за конечные, отвечающие полной консолидации замачиваемой породы, можно вычислить размер просадки по известной формуле Е.А.Замарина, исправленной Ф.П.Саваренским:

$$S_n = \frac{P_0 - P_1}{100 - P_1} H,$$

где  $P_0$  - пористость просадочной породы естественного состояния, %;

$P_1$  - то же, после уплотнения породы при ее замачивании - из табл.3;

$H$  - мощность сжимаемой породы по интервалам, м.

Сложение вычисленных размеров просадки по отдельным зонам дает полную величину возможной деформации для любого исследуемого участка, намеченного под сооружение или под канал. Если масса проектируемого сооружения даст существенную добавку к напряжению в просадочной породе, то напряжение от него должно суммироваться с напряжением просадочного грунта, а пористость по графику следует брать в соответствии с общим напряжением. Это позволит определять размеры общей деформации в основаниях просадочных грунтов, не применяя сложных расчетов.

При сравнении размеров просадок лесса разных районов УзССР и ТаджССР, определенных рассматриваемым методом, с зафиксированными при замачивании выявлены интересные факты (табл.4).

Вычисленная просадка 29,5-метровой толщи лесса для участка опытного котлована № 1 института "Средазгипроводхлопок" в Каршинской степи составляет 89,3 см, а фактическая ее величина за период замачивания - около 90,0 см; оседание просадоч-

Размеры провозок леса, определенные по формуле В.А. Самарина и при применении производных пород в опытных котлованах

| Виды<br>лесных<br>угодий                   | Таблица производных пород |      |      |      |      |              |      |      |        |       | Таблица производных пород |      |      |      |      |              |      |      |       |      | Таблица производных пород |      |       |      |      |              |      |      |      |       |
|--------------------------------------------|---------------------------|------|------|------|------|--------------|------|------|--------|-------|---------------------------|------|------|------|------|--------------|------|------|-------|------|---------------------------|------|-------|------|------|--------------|------|------|------|-------|
|                                            | Котлованский              |      |      |      |      | Котлованский |      |      |        |       | Котлованский              |      |      |      |      | Котлованский |      |      |       |      | Котлованский              |      |       |      |      | Котлованский |      |      |      |       |
|                                            | С                         | П    | С    | П    | С    | С            | П    | С    | П      | С     | С                         | П    | С    | П    | С    | С            | П    | С    | П     | С    | С                         | П    | С     | П    | С    | С            | П    | С    | П    | С     |
| 1-5                                        | 42,0                      | 47,0 | 25,9 | 50,1 | 47,0 | 26,4         | 51,8 | 47,0 | 36,2   | 51,7  | 47,0                      | 40,0 | 51,5 | 47,0 | 29,8 | 50,1         | 47,0 | 24,5 | 54,0  | 47,0 | 59,4                      | 50,3 | 47,0  | 51,0 | 48,8 | 47,0         | 43,6 | 47,0 | 43,6 | 47,0  |
| 6-10                                       | 46,0                      | 47,0 | 24,1 | 42,3 | 44,0 | 21,7         | 50,3 | 46,0 | 39,8   | 48,2  | 46,0                      | 20,4 | 50,0 | 46,0 | 42,5 | 48,2         | 46,0 | 20,4 | 51,0  | 46,0 | 46,3                      | 45,6 | 46,0  | 33,4 | 46,0 | 46,0         | 46,0 | 46,0 | 46,0 | 46,0  |
| 11-15                                      | 47,0                      | 48,0 | 25,5 | 46,6 | 45,0 | 14,5         | 49,3 | 45,0 | 39,1   | 46,6  | 45,0                      | 14,6 | 46,2 | 45,0 | 40,9 | 47,6         | 45,0 | 25,4 | 48,4  | 45,0 | 30,8                      | 46,8 | 45,0  | 34,4 | 47,1 | 45,0         | 45,0 | 45,0 | 45,0 | 45,0  |
| 16-20                                      | 44,1                      | 44,0 | 0,9  | 42,6 | 44,0 | -            | 47,6 | 44,0 | 33,8   | 42,4  | 44,0                      | -    | 44,4 | 44,0 | 2,1  | 47,4         | 44,0 | 30,3 | 44,8  | 44,0 | 7,1                       | 48,0 | 44,0  | 35,7 | 46,7 | 44,0         | 44,0 | 44,0 | 44,0 | 44,0  |
| 21-25                                      | 43,3                      | 43,0 | 2,6  | 42,6 | 44,0 | -            | 45,9 | 43,0 | 25,4   | -     | -                         | -    | -    | -    | -    | 44,6         | 43,0 | 18,3 | -     | -    | -                         | -    | 45,8  | 46,2 | 43,0 | 43,0         | 43,0 | 43,0 | 43,0 | 43,0  |
| 26-30                                      | 43,6                      | 42,0 | 13,8 | -    | -    | -            | -    | -    | -      | -     | -                         | -    | -    | -    | -    | -            | -    | -    | -     | -    | -                         | -    | -     | -    | -    | -            | -    | -    | -    | -     |
| Всего                                      | 92,8                      |      |      |      |      | 62,6         |      |      | 174,2  | 75,0  |                           |      | 85,3 |      |      | 148,9        |      |      | 143,6 |      |                           |      | 150,3 |      |      |              |      |      |      | 103,5 |
| Дополнено<br>за счет<br>различных<br>зонах | 3,5                       |      |      |      |      | -            |      |      | 58,2   | -     |                           |      | -    |      |      | 50,3         |      |      | -     |      |                           |      | -     |      |      |              |      |      |      | 71,4  |
| Остаток                                    | 89,3                      |      |      |      |      | 62,6         |      |      | 115,0  | 75,0  |                           |      | 85,3 |      |      | 88,6         |      |      | 143,6 |      |                           |      | 150,3 |      |      |              |      |      |      | 102,1 |
| Избыток<br>процентов                       | 90,0                      |      |      |      |      | 69,2         |      |      | 112,0  | 80,8  |                           |      | 78,9 |      |      | 106,6        |      |      | 105,5 |      |                           |      | 143,0 |      |      |              |      |      |      | 101,9 |
| Отклонения в см                            | 0,7                       |      |      |      |      | 6,6          |      |      | -3,0   | 5,8   |                           |      | -0,4 |      |      | 18,0         |      |      | -34,1 |      |                           |      | -7,3  |      |      |              |      |      |      | -3,2  |
| Отклонения в %                             | 0,8                       |      |      |      |      | 9,5          |      |      | 2,6    | 7,7   |                           |      | 9,2  |      |      | 17,0         |      |      | 31,0  |      |                           |      | 4,4   |      |      |              |      |      |      | 11,0  |
| Количество про-<br>счетов по-<br>ростам    | 29,5 м                    |      |      |      |      | 14,5 м       |      |      | 24,5 м | 17,5  |                           |      | 16,5 |      |      | 22,5         |      |      | 19,5  |      |                           |      | 23,0  |      |      |              |      |      |      | 24,0  |
| Время заготовки<br>леса, сут               | 180,0                     |      |      |      |      | 176,0        |      |      | 125,0  | 125,0 |                           |      | 95,0 |      |      | 60,0         |      |      | 60,0  |      |                           |      | 100,0 |      |      |              |      |      |      | 80,0  |

ного блюда, расположенного недалеко от опытного котлована, находится в пределах 90-95 см.

Здесь зафиксирован интересный факт, остававшийся нераскрытым. На глубине 15-25 м глубинные реперы показывали отсутствие уплотнения просадочной породы, а на глубине 25 м - оседание около 16 см. Это согласуется с расчетами, показавшими, что просадка в том интервале составила всего лишь 3,5 см, а на глубине 25-30 м - 13 см. Таким образом, расчеты вскрыли причину отсутствия уплотнения на указанном выше интервале, обусловленную предельной плотностью изучаемой породы.

На 2-ом опытном котловане института "Средаэтипроводило-пок" в Каршинской степи просадка по поверхностным реперам дна котлована изменяется от 50,7 до 69,2 см, а в среднем равна 62,5 см. Судя по оседанию глубинных реперов, уплотнение лесса распространилось на глубину до 15 м. Это подтверждается и расчетами, по которым просадка составляет 62,6 см и отличается от максимальной наблюдаемой всего на 6,6 см, а от средней на 0,1 см, или на 9,5 и 0,15%. В интервале 15-25 м порода оказалась предельной плотности для давления от собственной массы ее, что и обусловило отсутствие уплотнения в процессе замачивания.

На Кок-Аральском массиве определена просадка в 174,2 см, а наблюдаемая при замачивании 112,0 см. Но, судя по отсутствию оседания глубинных реперов, установленных на глубине 15 и 20 м, и низкой влажности просадочной породы в этом интервале, уплотнения ее здесь не проявилось. До глубины 15 м расчетная просадка составила 115 см и отличалась от натурной всего на 3,0 см, или на 2,6%.

На Джизакском массиве просадка определена в 75,0 см. Она отличается от максимальной наблюдаемой при замачивании (92,7 см) на 7,7 и на 5,8 см от средней (80,8 см), или на 10,3 и 7,7%.

На котловане опыта 1 (Узбекгидрогеология), проведенного в 1962 г. в Каршинской степи, максимальная просадка составила 78,9 см, а средняя по дну котлована 71,9 см. По расчету она 85,3 см. Отклонение - на 6,4 и 13,4 см, или на 9,2 и 21,0%.

Максимальная просадка при замачивании лесса на левобережье Чирчика в 1973 г. (Узбекгидрогеология) 106,6 см, а расчетная для 22,5-метровой толщи 118,9 см. Но в интервале глубин 15,0-20,0 м,

судя по положению глубинных реперов, уплотнения не было. По исключении размера просадки, вычисленной для этой зоны (30,3 см), она составит 88,6 см. Отклонение от натурной 18,0 см, или 17,0%.

Наибольшее отклонение (31,0%) расчетной просадки (143,6 см) от натурной (109,5 см) зафиксировано для котлована № 1 Узбекгидрогеологии в Яванской долине. Объясняется это малой продолжительностью замачивания (всего 60 суток), не обеспечивающего достаточного промачивания просадочной породы на всю ее мощность.

Просадка для перепадной ГЭС определена в 150,3 см, а максимальная ее величина на площадке, находившейся под водой более 100 суток, — 143,0 см. Отклонение — на 7,3 см, или на 5,1%. Характерным для этого случая является совпадение вычисленной просадки для интервала глубины 15,0–23,0 м со средней величиной оседания глубинных реперов, установленных на глубине 15,0 м, которое для трех ближайших точек составляет 51,5 см, изменяясь от 45,6 до 57,7 см.

Просадка для Джаушукумского массива определена в 103,5 см, а натурная за период замачивания составила всего лишь 28,9 см. Такое явление объясняется тем, что просадочная порода была промочена до критической влажности только на глубину 9,0 м от дна котлована. Это подтверждается отсутствием оседания репера, установленного на указанной глубине, и низкой влажностью нижележащей породы. Уплотнению здесь подверглась только верхняя 9-метровая толща, расчетная просадка которой составляет 32,1 см, что больше натурной всего лишь на 3,2 см.

Сравнение расчетных величин просадки с натурными, зафиксированными при опытных замачиваниях лессовых пород различных районов Средней Азии, показывает, что отклонения в большинстве случаев невелики и находятся в пределах точности инженерных расчетов. Это позволяет рекомендовать рассматриваемый метод определения просадок лессовых пород для практического применения при инженерно-геологических исследованиях на просадочных грунтах. Он очень прост и не требует дорогостоящих опытных замачиваний. С его помощью можно установить просадочность исследуемой породы и определить размеры возможных просадок только по данным простейших показателей: объемной массы скелета грунта, естественной влажности, плотности — и их производных: пористос-

ти или коэффициента пористости, установленных по образцам естественной структуры.

Размеры просадки, вычисленной этим методом, включают полную величину деформации просадочной породы при замачивании, соответственно с природной обстановкой, учитывающей развивающиеся в ней напряжения, а не частичную, как то делается по СНиПам или по двум кривым. Это исключает необходимость применения переходных коэффициентов от лабораторных (расчетных) величин просадки к натурным.

### Л и т е р а т у р а

1. Инструкция по проектированию оросительных систем на просадочных грунтах ВСН-П-23-75. М., Минводхоз СССР, 1975.
2. Архангельский Г.И., Дмитриев В.Л. Признаки просадочности лессов. - Тр.Среднеазиатского индустриального института, вып.45. Ташкент, 1944.
3. Денисов Н.Я. О природе просадочных явлений в лессовидных суглинках. М., "Советская наука", 1946.
4. Воронов Ф.И. Признаки просадочности и классификации лессов. - Тр. Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта, вып.ХП. Ташкент, 1959.
5. Маслов Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии. М., "Высшая школа", 1968.
6. Мавлянов Г.А., Пулатов К.П. Методы изучения просадочности лессовых пород. Ташкент, "Фан", 1974.
7. Аскарлов Х.А. Лессовые породы Узбекистана как основания гидротехнических сооружений. - Тр.Международного симпозиума по литологии и генезису лессовых пород, том II. Ташкент, 1974.
8. Приклонский В.А. Грунтоведение. Ч.1. М., Гос.науч.-техн.изд-во лит.по геологии и охране недр, 1955.

9. Исламов А.И., Кадыров Э.В. Изменение некоторых физико-механических свойств лессовых пород после просадки. - Узбекский геологический журнал, 1963, № 2.
10. Круглов Д.Н. Опытные исследования и прогноз просадочности лесса на Джизакском массиве для обоснования проекта мелиоративной системы. - Сб. науч. тр. ин-та "Средазгипроводхлопок", вып. 5. Ташкент, 1974.
11. Строительные нормы и правила СНиП-П-15-74. М., Стройиздат, 1975.

УДК 622.24:627.822

В.А. Боровинский, руковод. сектора  
В.С. Галдобин, гл. спец.  
(Средазгипроводхлопок)  
Л.А. Думаревский, канд. техн. наук, доц.  
К.И. Аксенов, ст. преподав.  
(ТашПИ)

ВЛИЯНИЕ БУРОВОГО НАКОНЕЧНИКА НА КЕРН -  
ПОКАЗАТЕЛЬ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНА  
ПЛОТИНЫ АНДИЖАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

В проведении натурных исследований бетона и контроля за его качеством на строящихся гидротехнических сооружениях значительное место занимает колонковое бурение скважин [1], [2] с отбором керна. С его помощью можно исследовать бетон практически в любой части сооружения на различной глубине. Бурение скважин с отбором керна по всей глубине как один из способов проверки состояния бетона осуществляется на плотине Андижанского водохранилища с 1972 г. За это время пробурено 100 скважин объемом свыше 1300 м.

Бурение скважин проводилось серийными твердосплавными корочками диаметром 151 мм и алмазными коронками диаметром 168 мм, разработанными и изготовленными в опытном порядке Киевским институтом сверхтвердых материалов АН УССР [3]. По каж-

дой скважине составлялся паспорт скважины и керновой колонки бетона, в котором собраны первичные данные по бурению бетонных блоков, испытанию скважин и извлеченного керна. Приводим методику сбора данных, характеризующих керн, и представление их в керновой колонке.

По окончании рейса бурения колонковая труба вместе с керном извлекается из скважины на поверхность, отвинчивается коронка, керн извлекается из колонковой трубы и укладывается в порядке, соответствующем его положению в скважине. Затем производится зарисовка керна по его фактическому состоянию (форма плашек керна, осколки, наверны на плашках, наличие арматурного железа и другие особенности). Плашкам присваиваются ранги начиная от устья скважины. Мерной металлической линейкой замеряется длина плашки керна по ее оси. С помощью штангенциркуля по трем замерам (вверху, внизу и в середине плашки) определяется диаметр керна и записывается в виде дроби (в числителе — через тире минимум и максимум, в знаменателе — среднее замеров). Далее устанавливается категория плашки керна по ВСН-008-67. Визуальным способом определяются и фиксируются в журнале цвет бетона, состояние поверхности керна, наличие пор и каверн, распределение заполнителя и раствора в керне и характеристика отрыва плашки керна. Эти данные позволяют провести сравнение керна, образующегося при бурении твердосплавными и алмазными коронками, а также сделать объективные выводы о преимуществах применявшихся видов коронок.

Наличие большого по объему производственного материала, стремление получить объективные и обоснованные выводы предопределили применение математических методов обработки данных [4]-[6].

Авторами статьи систематизирован и проанализирован керн по 16 скважинам алмазного и 15 скважинам твердосплавного бурения общим объемом 516,0 м (соответственно 266,4 и 249,6 м). Плашки керна распределены в зависимости от их длины по 11 классам с интервалом 10 см. Относительные частоты длины плашек керна при бурении твердосплавными и алмазными коронками для скважин глубиной до 15 м и более приведены на рис. 1 и 2. Если при твердосплавном бурении плашки керна длиной от 11 до 40 см сос-

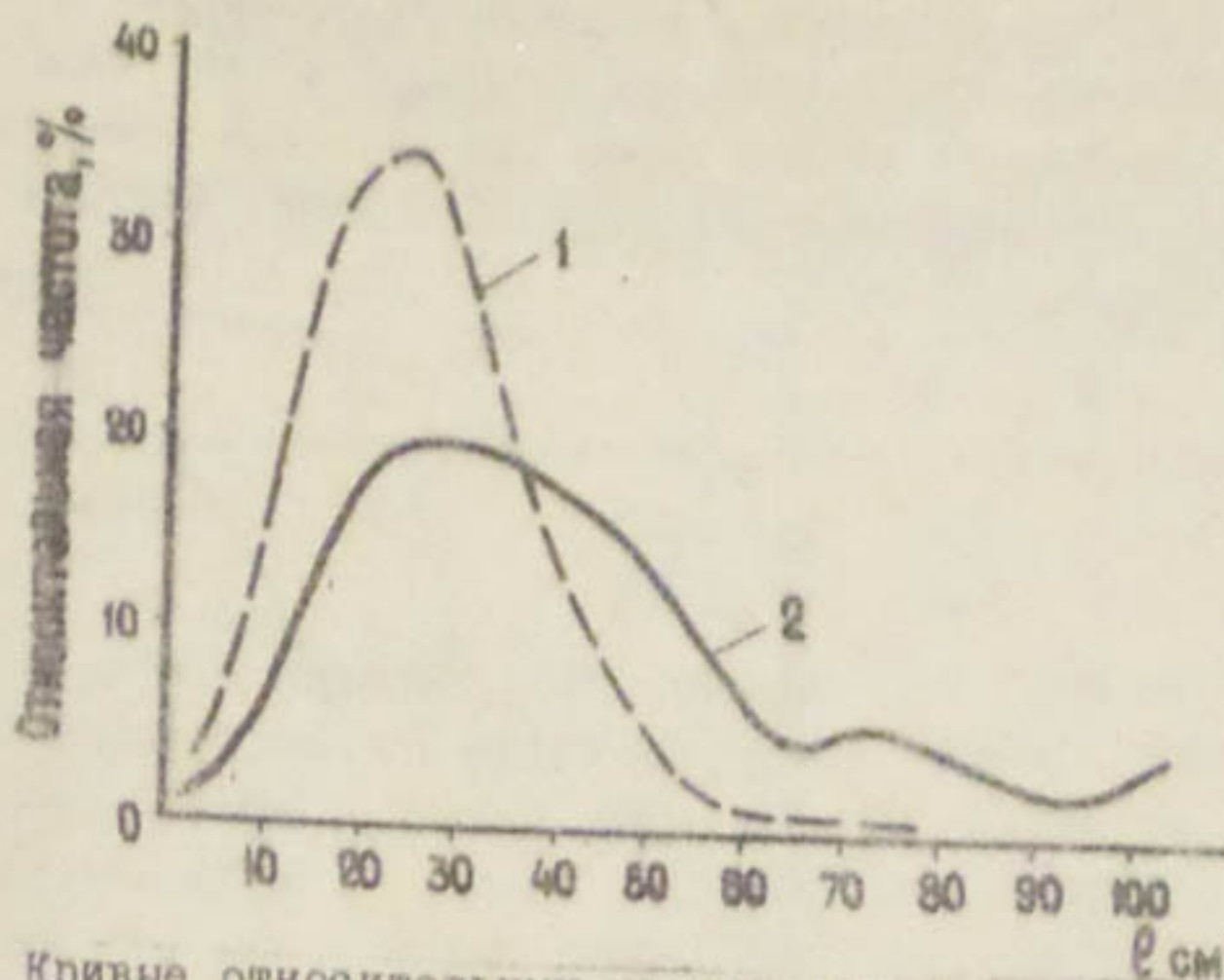


Рис. 1. Кривые относительных частот длины плашек керн при бурении твердосплавными (1) и алмазными (2) коронками при глубине скважин до 15 м.

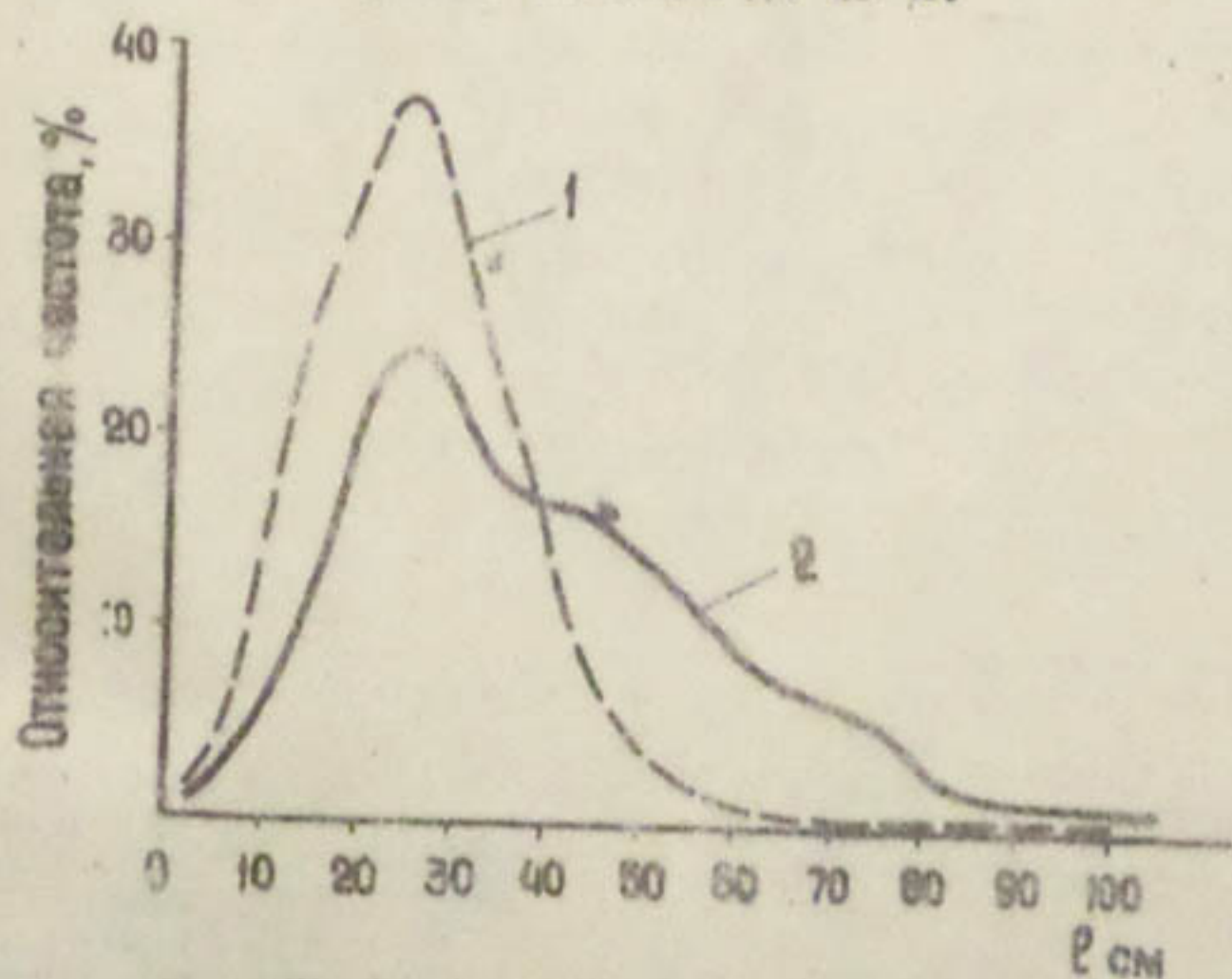


Рис. 2. Кривые относительных частот длины плашек керн при бурении твердосплавными (1) и алмазными (2) коронками при глубине скважин более 15 м.

тавляют 85%, а длиной свыше 41 см – всего 10,8%, то при алмазном бурении длина плашки керн значительно увеличивается. Так, плашки длиной от 11 до 40 см составляет 52,4%, а длиной свыше 41 см – 45,7%. При алмазном бурении встречаются керны длиной свыше 1 м (2,8%). Это наглядно представлено также кривыми абсолютного распределения плашек керн по их длине (рис. 3).

В целом по всем скважинам, пробуренным алмазными и твердосплавными коронками, приводится кумулятивная кривая относительной частоты распределения плашек керна (рис.4), при этом ветвь кривой для алмазного бурения лежит несколько ниже, чем для твердосплавного бурения.

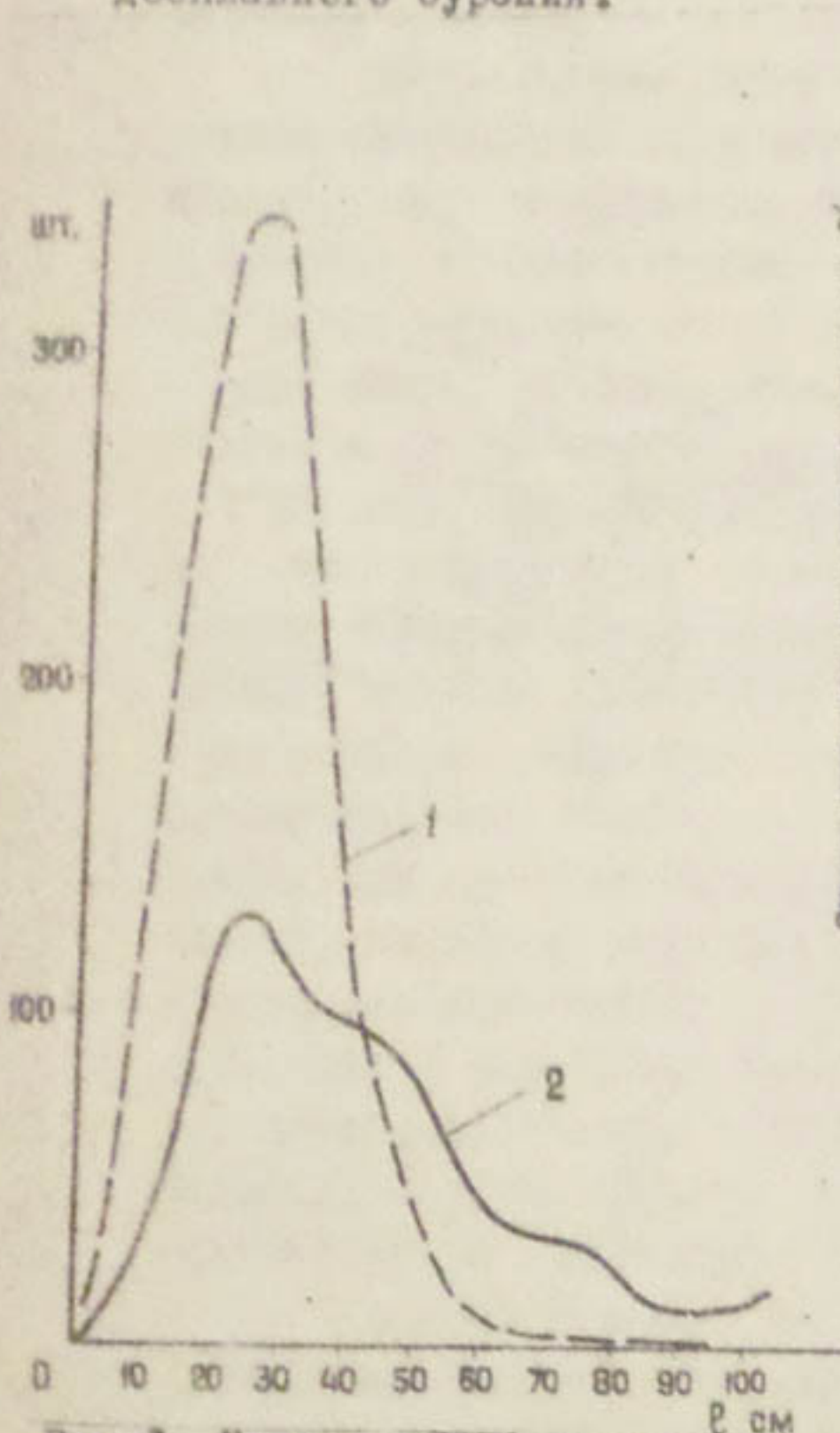


Рис.3. Кривые абсолютного распределения плашек керна по их длине при бурении твердосплавными (1) и алмазными (2) коронками.

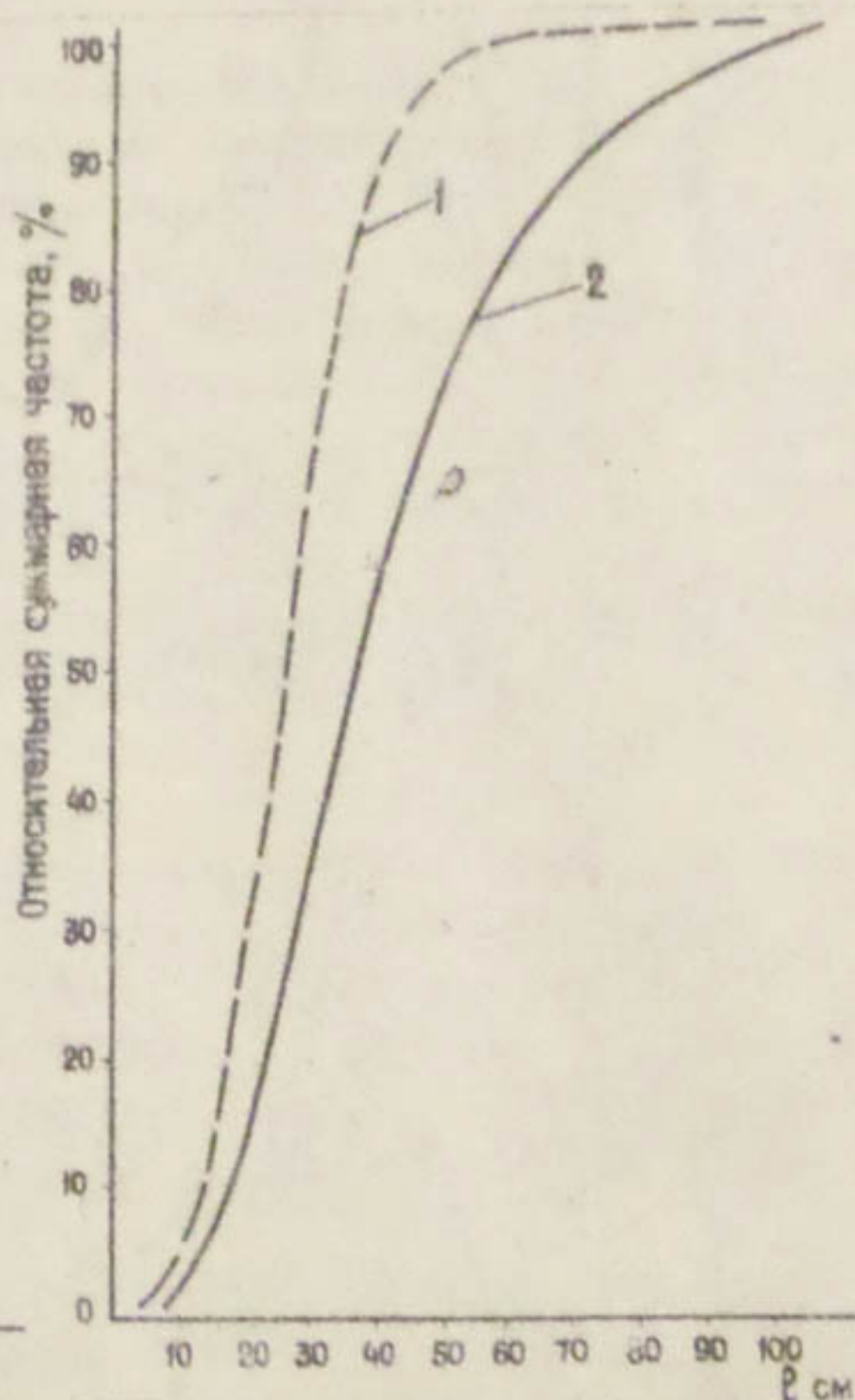


Рис.4. Кумулятивная кривая относительной частоты распределения плашек керна по длине при бурении твердосплавными (1) и алмазными (2) коронками.

Замеры диаметра кернов показали, что для твердосплавной коронки  $\varnothing 151$  мм средний диаметр керна составляет 130 мм, а для алмазной коронки  $\varnothing 168$  мм — 150 мм. Эти данные стабильны для многочисленных замеров.

Распределение керна по категориям в зависимости от вида бурения приведено в табл.1.

Таблица 1

Распределение керн по категориям  
в зависимости от вида бурения

| Вид бурения    | Относительная частота плашек керн (%)<br>по категориям |      |     |     |
|----------------|--------------------------------------------------------|------|-----|-----|
|                | I                                                      | II   | III | IV  |
| Твердосплавное | 82,3                                                   | 11,1 | 2,6 | 4,0 |
| Алмазное       | 93,0                                                   | 4,0  | -   | 3,0 |

Из табл.1 следует, что при алмазном бурении на 10,7% повышается выход плашек I категории, т.е. таких, длина которых после обрезки торцов больше диаметра. Это имеет немалое значение при испытаниях керн в строительной лаборатории. При алмазном бурении значительно уменьшается количество плашек других категорий.

Визуальный осмотр показал, что керн при алмазном бурении имеет гладкую, отшлифованную поверхность, при твердосплавном бурении поверхность керн шероховатая, неровная. В первом случае поверхность керн обрабатывается большим количеством сегментов, импрегнированных очень мелким алмазом. Во втором в обработке керн участвует небольшое количество твердосплавных резцов, расположенных друг от друга на значительном расстоянии.

В заключение приведем данные статистического оценивания, свидетельствующие в пользу гипотезы о существенности различия двух выборок по длине плашек керн ( табл.2).

Таблица 2

Статистическое оценивание выборок  
по длине плашек керн

| Показатели                                  | Вид бурения    |          |
|---------------------------------------------|----------------|----------|
|                                             | твердосплавное | алмазное |
| Среднее значение статистического оценивания | 104            | 52       |
| Размах ряда                                 | 340            | 120      |
| Дисперсия                                   | 0,1584         | 0,016    |

$F_H = \frac{0,4584}{0,0460} = 9,9$ . На уровне вероятности 0,90 при числе степеней свободы  $K_1=9$  и  $K_2=10$   $F_T = 2,35$ . Отсюда  $F_H > F_T$ , т.е. дисперсионным анализом подтверждена существенность различия двух выборок длин плашек керн при твердосплавном и алмазном бурении.

#### В ы в о д ы

1. Существенное влияние на керн в бетоне оказывает вид коронок, применяемых при бурении.

2. Керн при алмазном бурении полнее удовлетворяет требованиям ВСН к испытаниям образцов бетона.

#### Л и т е р а т у р а

1. Викторов А.М. Натурные исследования бетона в гидротехнических сооружениях. М., Стройиздат, 1956.
2. Методы контроля качества бетона при возведении гидротехнических сооружений. Л., "Энергия", 1968.
3. Гонтарь А.В. и др. Алмазные коронки для сверления железобетона. - Сб. "Горный породоразрушающий инструмент". Киев, "Техника", 1969.
4. Беликов В.Г. и др. Обобщение и распространение передового опыта в бурении. М., "Недра", 1969.
5. Кассандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. М., "Наука", 1970.
6. Вакс Л. Статистическое оценивание. М., "Статистика", 1976.

А.А.Туманов, канд.техн.наук, гл.спец.  
(Средазгипроводхлопок)

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУЖАЮЩИХ УСТРОЙСТВ  
В КАЧЕСТВЕ ВОДОМЕРОВ ДЛЯ ГИДРАНТОВ  
ЗАКРЫТОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

На закрытых оросительных системах Узбекистана в качестве водовыпусков наиболее часто применяются гидранты в виде сварных клапанных задвижек конструкции института "Средазгипроводхлопок". Как правило, поливная норма завышается, что приводит к перерасходу оросительной воды и ухудшению мелиоративного состояния земель. Поэтому задача организации водоучета с помощью надежной в эксплуатации и простой в изготовлении конструкции водомера требует незамедлительного разрешения.

Использовать для этой цели скоростные счетчики, широко применяющиеся в водоснабжении, невозможно из-за наличия в воде взвешенных наносов, водорослей и мелкого плава. На базе существующих технических решений единственно возможно применение водомеров по типу сужающего устройства (СУ), работающих без посторонних источников энергии, простых в изготовлении и эксплуатации. Их общий недостаток — сравнительно небольшая область учета и громоздкость, обусловленная необходимостью соблюдения определенных длин прямолинейных участков до водомера и за ним.

Таким образом, для условий поставленной задачи первоочередным является установление типа СУ, оптимальной величины его модуля и длин прямолинейных участков, обеспечивающих компактность конструкции и относительно невысокую погрешность измерений.

Институтом "Средазгипроводхлопок" были исследованы три конструкции водомеров: сегментная диафрагма, полуцилиндр и цилиндрическая вставка с конфузоров. Исследования проводились на испытательном стенде, состоящем из типового гидранта-водовыпуска, сужающего устройства, набора патрубков различной длины и мерного бака с водосливом.

Диапазон действующего давления в месте врезки гидранта 0,4–1,0 кгс/см<sup>2</sup> при расходах 30–110 л/с.

Исследования показали принципиальную возможность использования полуцилиндра в качестве водомера. Однако, в связи с тем, что эта конструкция дает большую погрешность и требует на 50% больших длин прямолинейных участков, чем две другие, для решения поставленной задачи она не подходит и далее не рассматривается.

Сегментная диафрагма была выполнена по типовому проекту 820-16 (УВТ-61), разработанному институтом "Среднегипроводхлосок", с некоторыми конструктивными изменениями: отбор давлений производился как в угловых точках, так и в точках, расположенных по обе стороны от диафрагмы с шагом 50 мм (0,2Д), диаметр которых мог изменяться от 5 до 12 мм. Это позволило выяснить влияние возможных отклонений от проекта на стабильность коэффициента расхода. Схема исследованной диафрагмы с основными ее параметрами приведена на рис. 1а.

Измерительная вставка с конфузуром, угол сходимости которого равен 45°, устанавливалась по схеме, изображенной на рис. 1б. Вдоль цилиндрической части, равной 1,0Д, располагались точки отбора минусового давления с шагом 0,2Д, диаметр которых мог изменяться от 0,02 до 0,05Д. В первом варианте на расстоянии 0,2 Д от начала цилиндрической части размещалась стенка, делящая полость между вставкой и трубой на камеры плюсового и минусового давления, во втором – отбор плюсового давления производился двумя штуцерами, расположенными перед конусом, а минусового – четырьмя штуцерами, объединенными сборным коллектором на цилиндрическом участке вставки. Характер изменения пьезометрического давления фиксировался батареей пьезометров, а величина перепада – дифманометром ДТ-50.

Работа водомеров с сужающим устройством основана на принципе измерения перепада, связанного с расходом квадратичной зависимостью вида

$$Q = K F_0 \sqrt{\frac{\Delta P}{2g}}, \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент расхода;

$F_0$  – площадь проходного отверстия, м<sup>2</sup>;

$\Delta P$  – величина водомерного перепада, м.

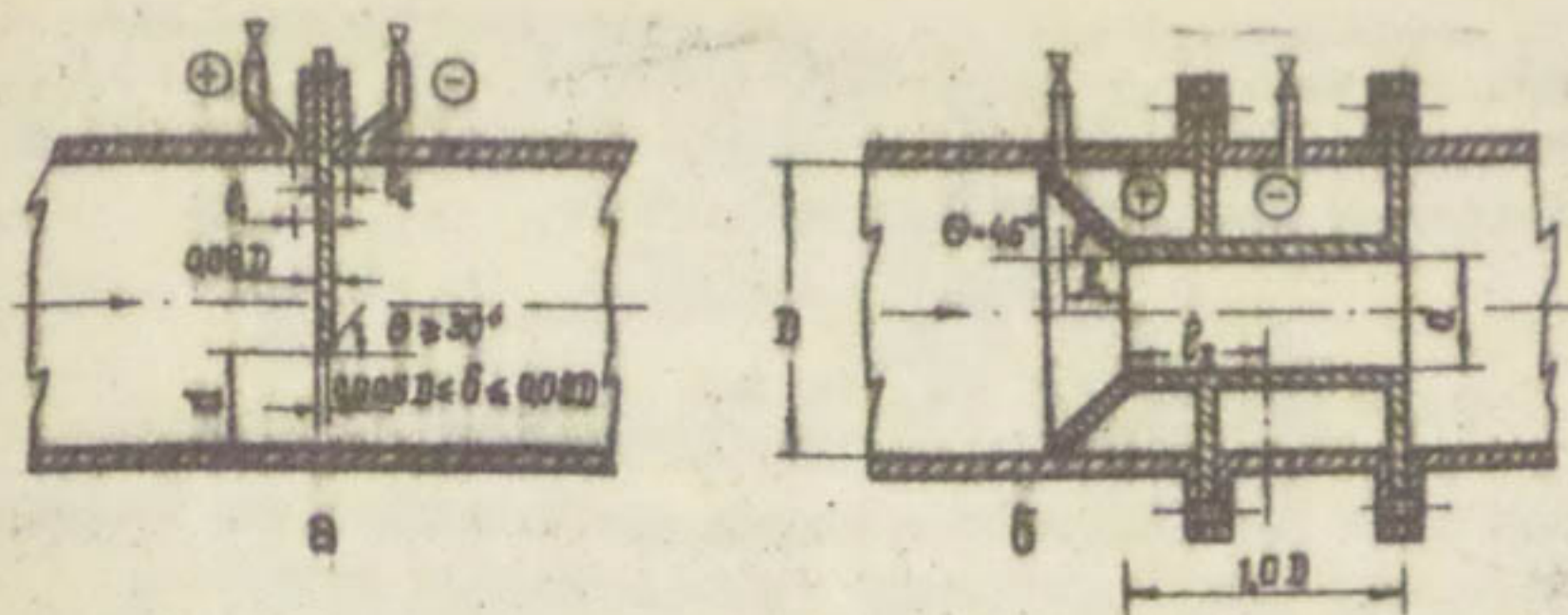


Рис. 1. Схемы исследованных конструкций водомерных устройств:

а — сегментная диафрагма; б — измерительная цилиндрическая вставка.

Поскольку значения  $K$  могут быть получены только эмпирически, очевидно, необходимо подобрать такое сочетание элементов сужающего устройства, при котором число влияющих на величину коэффициента  $K$  факторов было бы сведено к минимуму. Основные из них: 1) величина сжатия струи; 2) неравномерность распределения скоростей по сечению до сужения и за ним; 3) скорость подхода жидкости к сужающему устройству; 4) местоположение точек отбора давления.

Первые три фактора зависят от числа Рейнольдса и, чтобы исключить их, необходимо обеспечить условие  $Re > Re_{пр}$ , где предельное число Рейнольдса ( $Re_{пр}$ ) является нижней границей квадратичной зависимости перепада давлений от скорости и должно быть достаточно низким для обеспечения требуемой области учета.

Поскольку  $Re_{пр}$  определяет собой момент наступления совершенного сжатия, после которого дальнейшее возрастание числа  $Re$  не вызовет существенного сжатия струи, то оно может быть понижено за счет усиления инерционных сил. А это, в свою очередь, возможно лишь за счет уменьшения модуля  $m = \frac{d^2}{D^2}$ , что приведет к возрастанию радиальных составляющих струи, входящей в отверстие СУ, и повлечет за собой резкое увеличение потерь напора. Оптимальное решение, очевидно, будет при  $m$ , обеспечивающем нижний

предел автомодельной зоны для минимального эксплуатационного расхода гидранта, т.е. постоянство  $K$  для всех прочих расходов. Для степеней сжатия  $m \leq 0,5$  предельное число  $Re$  находится по полученной на основании опытов зависимости

$$Re_{пр} = 420000 m^2. \quad (2)$$

Для  $m > 0,5$  принимается  $Re_{пр}$  на 30% больше.

На рис. 2 представлена зависимость исходных коэффициентов расхода от  $m$  для автомодельной зоны, откуда видно, что коэффициент расхода обеих конструкций с уменьшением  $m$  снижается. Следует отметить, что полученные для  $m \leq 0,5$  значения коэффициента расхода сегментной диафрагмы оказались близкими к нормативным для концентрической диафрагмы с угловым отбором давлений ( $K_{сд} = K_{кд} \approx 0,7$  при  $Re = 2,0 \times 10^4 + 2,0 \times 10^5$ ).

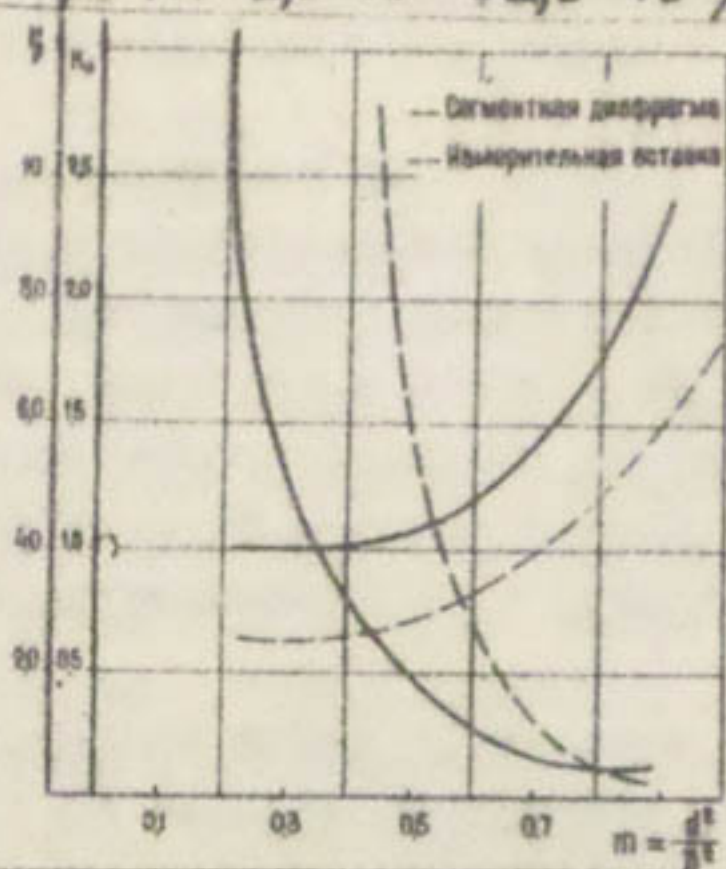


Рис. 2. Зависимость исходных коэффициентов расхода и коэффициентов сопротивлений от модуля.

Если при установке сужающего устройства доминирует требование обеспечения минимальных потерь напора, что возможно при больших значениях модуля, к исходному  $K_0$  вводятся поправочные коэффициенты на вязкость. Их значения для наиболее часто встречающихся в практике чисел  $Re$  приведены на рис. 3.

Анализ кривых свидетельствует о том, что  $Re_{пр}$  сегментной диафрагмы ниже, чем вставки, но абсолютная величина поправки к  $K_0$  почти вдвое больше. Большая стабильность коэффициента расхода вставки связана с характером движения потока в сужении, где



Рис.3. Поправочный коэффициент на вязкость ( $\alpha$ ) .

коническая часть действует как направляющая и отсутствует возвратное движение к сечению с наименьшим давлением.

Отбор давлений при применении сегментных диафрагм обычно производится в угловых точках, расположенных у вершины сегмента. Значения исходного  $K_0$  были получены при отборе в этих точках. При  $m < 0,5$  отбор плюсового давления в пределах 1,0Д существенного влияния на значения коэффициента расхода не оказывает и дополнительная погрешность при наибольшем удалении точки отбора от угловой не превышает 2%. Иная картина при удалении точки отбора минусового давления от угловой. Поскольку наибольший перепад напоров отмечается при отборе давления вблизи сжатого сечения струи, то с удалением от него величина водомерного перепада снижается и чувствительность водомера падает. Местоположение сжатого сечения не зависит от расхода, а целиком определяется величиной модуля — с его увеличением сжатое сечение приближается к диафрагме.

Предельные расстояния  $L_1$  и  $L_2$  точек отбора, при которых приведенные на рис.2 значения  $K_0$  не требуют дополнительных коррективов, представлены в табл.1.

Пределные расстояния точек отбора СУ

| Модуль $m$ | Сегментная диафрагма |                 | Измерительная вставка |                 |
|------------|----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|
| 0,8-0,7    | $0,2D < l_1$         | $0,4D < l_2$    | $l_1 < 0,4D$          | $0,2D < l_2$    |
| 0,7-0,5    | $0,5D < l_1$         | $0,2D < l_2$    | $l_1 < 0,3D$          | $0,5D < l_2$    |
| 0,5-0,3    | $0,8D < l_1$         | $0,5D < l_2$    | $l_1 < 0,5D$          | $1,0D < l_2$    |
| 0,3-0,2    | $1,2D \leq l_1$      | $0,7D \leq l_2$ | $l_1 \leq 1,0D$       | $1,0D \leq l_2$ |

У измерительной вставки отсутствует характерное для диафрагмы повышение давления перед входом, что объясняется влиянием конфузора. Принятый угол  $Q = 45^\circ$  вполне оправдан при  $m \geq 0,4$ , но при меньших значениях струя отрывается от стенок конфузора под углом, значения которого зависят от  $m$ : чем меньше  $m$ , тем раньше начинается изгиб потока. Оптимальным вариантом была бы установка конфузора с углом  $Q = 45 + 22^\circ$ , т.е. близким к углу естественного растекания затопленной струи, что привело бы к чрезмерному увеличению габаритов конструкции, в связи с чем представляется возможной установка цилиндрического патрубка с  $Q = 90^\circ$ .

В опытах для получения  $K_0$  точки отбора плюсового давления располагались на расстоянии  $l_1 = 0,3D$ , а минусового -  $0,25D$  от начала цилиндра, что обеспечивало наибольшую величину перепада при  $m = 0,4 + 0,6$ . Местоположение точек отбора минусового давления в измерительной вставке, в отличие от диафрагмы, в меньшей степени зависит от  $m$ , поскольку при входе в цилиндрический патрубок давление резко падает и его величина сохраняется примерно одинаковой по всей длине, вплоть до выхода. Пределные значения  $l_1$  и  $l_2$  также приведены в табл. 4.

Дополнительная погрешность измерений, возникающая при использовании данных таблицы, составляет не более 2% для сегментной диафрагмы и 0,5% для измерительной вставки. Меньшая погрешность вставки обусловлена осреднением величины давления и меньшим влиянием диаметра отверстий отбора давления. Последний находится в пределах  $0,02-0,025D$  для диафрагмы и  $0,02-0,04D$  для вставки.

Были исследованы два варианта установки СУ: стационарный - на стойке и съемный - за гидрантом. Первый более рациональный, но в этом случае увеличивается число водомеров и усложняются

условия монтажа и эксплуатации. Во втором значительно возрастает длина прямолинейного участка до водомера, поскольку в непосредственной близости от него находится гидрант, и в зависимости от степени подъема клапана  $h_k$  меняется характер скоростного поля в трубе, что создает неравномерность распределения статического давления по периметру сечения.

Во время опытов длина патрубков до водомера и за ним изменялась при различных модулях от 2,5 до 5,0Д в первом варианте и от 2,5 до 10,0Д во втором, что позволило оценить влияние скорости потока на погрешность измерений.

В табл.2 приводятся предельно допустимые длины до водомера и за ним, полученные по результатам исследований в зависимости от величины модуля и отношения  $\frac{h_k}{D}$ . Ориентировочно можно считать, что уменьшение  $m$  на треть первоначальной величины равноценно удлинению прямолинейного участка на 3,0Д.

Для варианта установки СУ на стояке гидранта приведенные в табл.2 значения уменьшаются в два раза.

Таблица 2

Предельно допустимые длины прямолинейных участков

| Модуль<br>$m$ | Прямолинейный участок<br>до СУ |                          | Прямолинейный участок<br>за СУ |                          |
|---------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|
|               | сегментная<br>диафрагма        | измерительная<br>вставка | сегментная<br>диафрагма        | измерительная<br>вставка |
| 0,25          | 4                              | 3                        | 2,5                            | 3                        |
| 0,4           | 4,5-5                          | 3,5-4                    | 3                              | 4                        |
| 0,5           | 6-7                            | 5-6                      | 4                              | 4,5                      |
| 0,7           | 8-9                            | 7-8,5                    | 5                              | 5                        |
| 0,85          | 10                             | 10                       | 6                              | 6                        |

При отсутствии в воде плавника и водорослей может быть использована конструкция пластинчатого струевыпрямителя, представляющего собой шесть взаимно перекрещивающихся пластин длиной 1,0Д, упирающихся в упорное кольцо на расстоянии 1,5Д от входа. Применение такого струевыпрямителя позволяет при необходимости дополнительно сократить длину подводящего патрубка на 2-2,5Д.

Сопоставление потерь напора в исследованных конструкциях показало, что при  $m \geq 0,7$  и  $m < 0,3$  потери близки, т.е. геометрическая форма незначительно сказывается на формировании скоростного поля в месте установки СУ.

При  $m = 0,3 \pm 0,6$  отношение потерь напора к величине перепада составляет  $0,7 \pm 0,35$  для измерительной вставки и  $0,9 \pm 0,5$  для сегментной диафрагмы. Оптимальными величинами модуля вставки следует признать  $0,4 \pm 0,5$ , когда потери напора в среднем на 40% меньше, чем у диафрагмы, при равных значениях водомерного перепада.

Полученные для автомоделльной зоны значения коэффициентов сопротивления обеих конструкций (см. рис. 2) позволяют найти потери напора для любого модуля по зависимости

$$h_{\text{пот}} = \zeta \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

На основании проведенных исследований для поставленной задачи рекомендуются сегментная диафрагма и измерительная вставка с модулем  $0,3 \pm 0,5$ , при котором обеспечиваются область учета 1:4, общая длина всей конструкции порядка 10,0д (ее можно уменьшить с помощью струевыпрямителя) и погрешность измерений в пределах  $\pm 8\%$ . В изготовлении более проста сегментная диафрагма, но потери напора в ней значительно больше, в связи с чем она может быть рекомендована лишь при достаточном выходном напоре. Более целесообразно использование измерительной вставки, потери которой вдвое меньше при прочих равных параметрах.

### В ы в о д ы

1. На основании проведенных исследований отобраны две конструкции водомеров, несложных в изготовлении и надежных при работе с водой, содержащей взвешенные наносы.

2. Более рациональна стационарная установка водомера на стояке гидранта. При значениях модуля  $0,3 \pm 0,5$  обеспечивается погрешность измерения в пределах  $\pm 8\%$  и общая компактность конструкции.

3. Сегментную диафрагму целесообразно применять, когда потери напора не имеют существенного значения при эксплуатации гид-

ранта и основным является требование предельной простоты конструкции.

4. Рекомендуемая конструкция измерительной вставки менее диафрагмы чувствительна к сбойности потока, имеет меньший коэффициент сопротивления и меньшую погрешность измерения расхода.

### Л и т е р а т у р а

1. Лобачев П.В., Шевелев Ф.А. Современные водомеры для водопроводов. М., Госиздат по стр-ву и архитектуре, 1952.
2. Попова В.Я. Сооружения для распределения и учета воды при орошении. М., "Колос", 1966.
3. Сальников М. П. Водомер для мелиоративных насосных станций. — "Гидротехника и мелиорация", 1965, №3.
4. Старковская В.Е. Исследования трубчатого водомера-регулятора САНИИРИ. — Тр.САНИИРИ, вып.94, 1973.
5. Топерверх Н.И., Шермая М.Я. Теплотехнические измерительные и регулирующие приборы. М., "Металлургия", 1966.

УДК 62-83.621.333.323.072.9.621.65

Ф.А.Абуталиев, нач.отдела  
(Средазгипроводхлопок)  
И.А.Ахмедов, канд.техн.наук, ст.науч.сотр.  
М.А.Хусанов, канд.техн.наук, зав.лабор.  
М.Н.Султанходжаева, ст.инж.  
(УзНИИЭиА)

### СРАВНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВУХ МЕТОДОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Анализ графиков водопотребления на действующих насосных станциях показывает, что широко используемое в настоящее время сту-

пенчатое покрытие требуемого расхода приводит к существенному перерасходу воды и электроэнергии. В этой связи, для рационального использования водных и энергетических ресурсов, появляется необходимость в плавном регулировании производительности насоса.

Ниже рассмотрим и проанализируем два метода плавного регулирования производительности на примере оросительной насосной станции "Саят" с центробежными насосами ЦН типа 20НД<sub>Н</sub> (обточенный диаметр рабочего колеса 506 мм) каждый номинальной производительностью  $Q_H = 700$  л/с. Геометрическая высота подъема воды  $H_T = 10,85$  м.

В качестве приводного электродвигателя насоса использован синхронный электродвигатель Д типа ДС-104-8 номинальной мощностью  $N_{2H} = 125$  кВт, коэффициентом мощности  $\cos \varphi_H = 0,9$  (опережающий), КПД двигателя  $\eta_{2H} = 0,925$  и частотой вращения  $n_H = 750$  об/мин.

Напряжение  $U_c$  и частота  $f_c$  источника питания соответственно равны 380 В и 50 Гц.

Для общего анализа и выявления закономерностей изменения энергетических показателей системы диапазон регулирования производительности насоса  $Q$  принят 100-980 л/с. Верхний предел

$Q_{\max} = 980$  л/с ограничен возможностью появления кавитации [4] и механической прочностью насосного агрегата ( $n_{\max} = 1,2 n_H$ ).

#### Метод дроссельного регулирования при $n = \text{const}$ .

Плавное уменьшение производительности центробежного насоса  $Q < Q_H$  достигается путем увеличения гидравлического сопротивления сети прикрытием задвижки на напорной стороне при постоянном значении частоты вращения  $n$  насосного агрегата. При этом режим работы приводного электродвигателя определяется нагрузкой на его валу  $N_2$  при постоянной величине  $U_c$  и  $f_c$ .

В силу простоты дросселирование как метод регулирования производительности нашло широкое применение в установках с центробежными насосами.

Для рассматриваемого варианта будут справедливы следующие соотношения [27]:

полный напор насоса (м)

$$H = H_c + \Delta H_z,$$

(1)

полезная мощность насоса (кВт)

$$N = \frac{\gamma Q H_c}{102}, \quad (2)$$

где  $H_c = H_r + RQ^2$  - характеристика сети;

$\Delta H_r$  - дополнительные потери напора в регулируемом органе (затворе);

$\gamma$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$Q$  - производительность насоса, м<sup>3</sup>/с.

Суммарная мощность, потребляемая двигателем, равна

$$N_c = \frac{N}{\eta_c}, \quad (3)$$

где  $\eta_c = \eta_d \cdot \eta_n \cdot \eta_z$  - КПД системы;

$\eta_d, \eta_n, \eta_z$  - КПД двигателя, насоса и затвора при данной производительности.

Коэффициент полезного действия синхронного электродвигателя  $\eta_d$  зависит от нагрузки на валу  $N_z$  и режима его работы [3].

В частности, в принятом нами диапазоне регулирования производительности насоса  $Q = 400 \div 980$  л/с при дроссельном методе загрузки двигателя по мощности на его валу составляет  $N_z = (0,64 \div 0,84) N_{дн}$ . При этом в режиме работы синхронного двигателя с поддержанием  $\cos \varphi_d = \cos \varphi_n$  его КПД изменяется незначительно. Поэтому нами при расчетах принято

$$\eta_d = \eta_{дн} = \text{const}.$$

Суммарные потери мощности в системе определяются как

$$\Delta N_c = N_c - N. \quad (4)$$

На рис. 1 показаны зависимости полезной мощности  $N$ , коэффициента мощности  $\cos \varphi_d$ , КПД системы  $\eta_c$  и суммарные потери мощности  $\Delta N_c$  при дроссельном методе регулирования производительности насосов (пунктирные линии).

#### Метод регулирования производительности насосов изменением частоты вращения.

Рассмотрим случай питания электродвигателя насоса от тиристорного преобразователя частоты ТПЧ (рис. 2).

В общем случае ТПЧ состоит из управляемого выпрямителя УВ и автономного инвертора тока (или напряжения) АИ.

Выпрямительная часть ТПЧ предназначена для преобразования переменного напряжения источника питания  $U_c$  с частотой  $f_c$  в

постоянное  $U_0$ , а инверторная - преобразует постоянное напряжение в переменное  $U$  регулируемой частоты  $f$ .

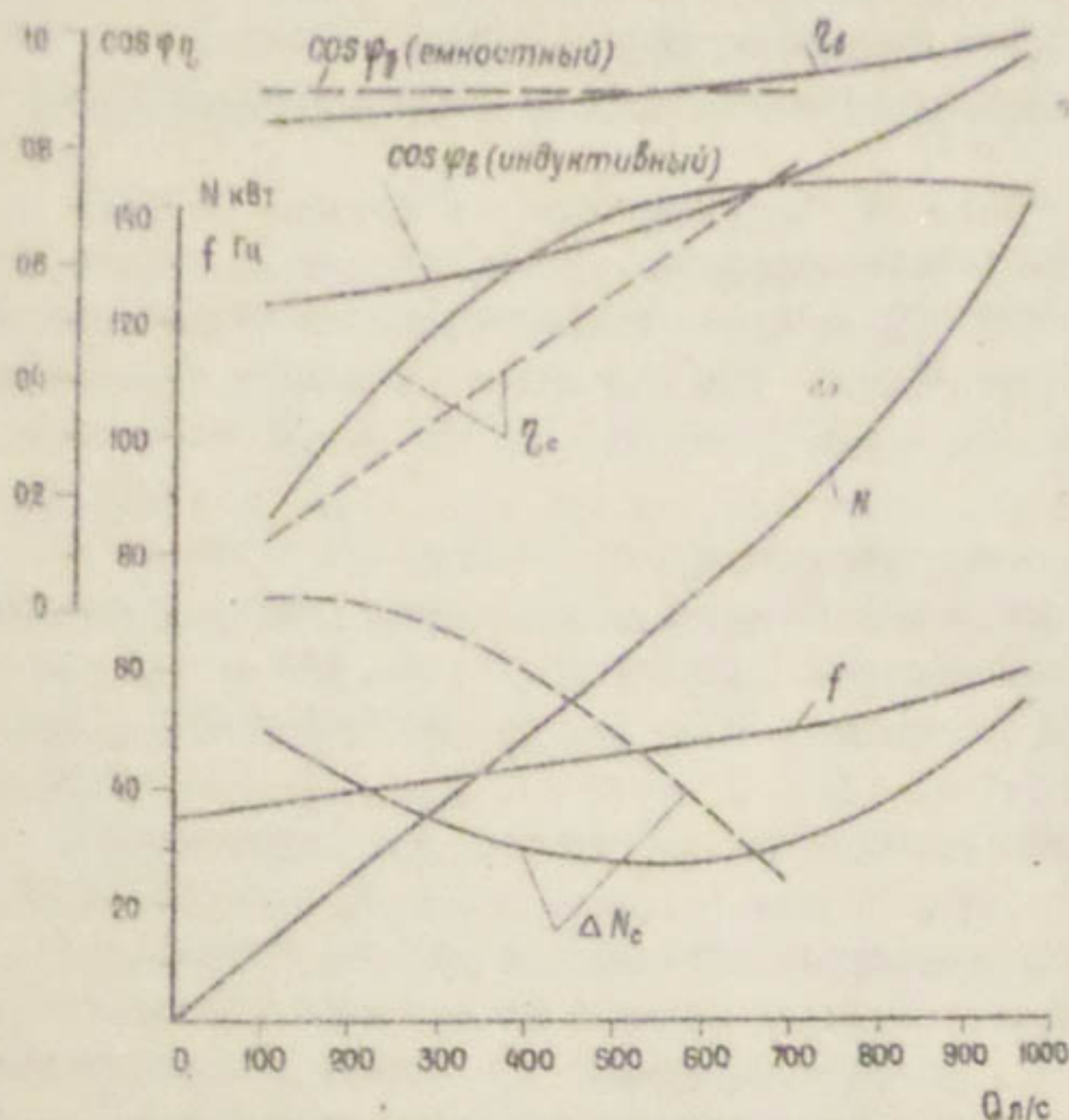


Рис. 1. Расчетные зависимости энергетических показателей системы при регулировании производительности насоса дросселированием (---) и изменением частоты источника питания приводного электродвигателя (—).

Желаемые значения  $U_0$  и  $f$  устанавливаются путем воздействия соответственно на системы управления выпрямителя  $\alpha_y$  и инвертора  $f_y$ .

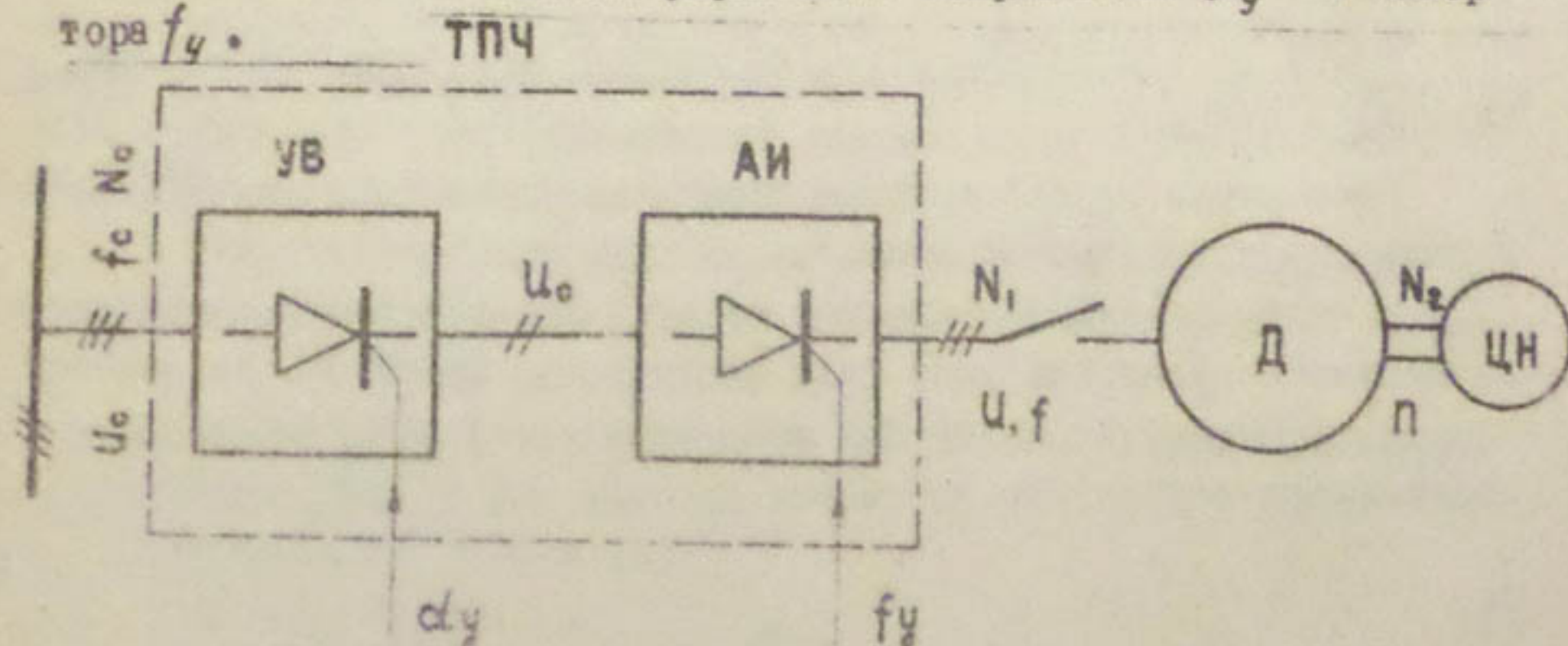


Рис. 2. Схема регулирования производительности насоса посредством ТПЧ.

Текущее значение частоты вращения электродвигателя определяется по выражению  $n = \frac{60f}{p}$ , где  $p$  — число пар полюсов.

Известно, что изменение частоты вращения двигателей переменного тока осуществляется согласно закону экономического регулирования, который выражается, как в работе [4]

$$\frac{U}{U_H} = \frac{f}{f_H} \sqrt{\frac{M_c}{M_{сн}}}, \quad (5)$$

$$\frac{i_{\phi}}{i_{\phi H}} = \sqrt{\frac{M_c}{M_{сн}}}, \quad (6)$$

где  $U_H, f_H$  и  $i_{\phi H}$  — напряжение, частота и ток в обмотке возбуждения синхронного двигателя при номинальных условиях;

$U, f$  и  $i_{\phi}$  — текущие значения этих величин при любой частоте вращения;

$M_c$  и  $M_{сн}$  — статические моменты рабочего механизма при частотах вращения, соответствующих  $f$  и  $f_H$ .

Вычисление значений  $M_c$  и  $M_{сн}$  производилось графоаналитическим способом [5]. Для этой цели построены  $Q-H$  — характеристики насоса при различных постоянных значениях частоты вращения. Нанеся на эти характеристики характеристику сети  $H_c$ , получаем соответствующую производительность при заданной частоте вращения рабочего колеса насосного агрегата. Это позволяет построить регулировочную характеристику насоса  $Q = \psi\left(\frac{n}{n_H}\right)$ , которая приведена на рис. 3.

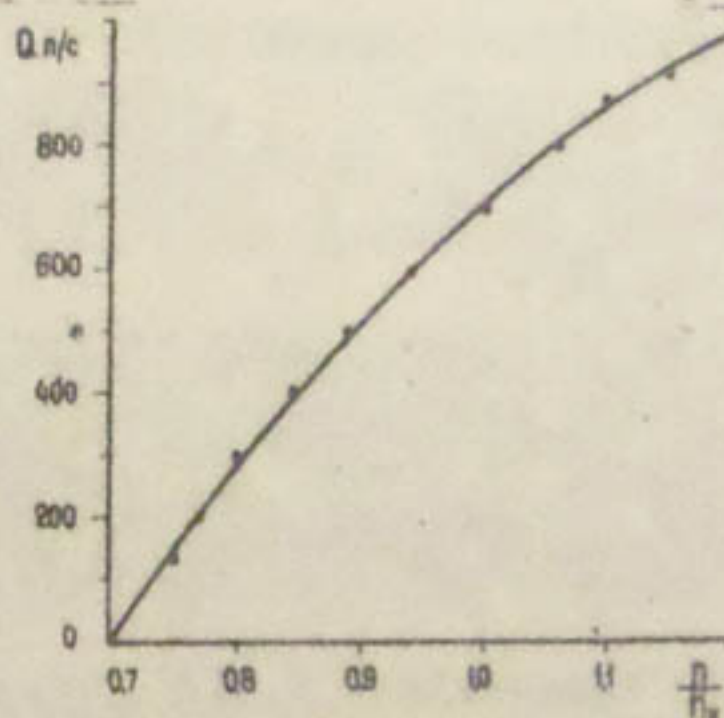


Рис. 3. Регулировочная характеристика насоса.

Мощность, потребляемая насосом от вала двигателя, вычисляется по формуле

$$N_2 = \frac{8QH_c}{102 \cdot \eta}, \quad (7)$$

где  $\eta$  - КПД насоса берется из универсальной его характеристики.

При этом момент, развиваемый двигателем  $M_d = M_c$ , равен

$$M_d = \frac{975 N_a}{n} \quad (8)$$

Момент  $M_{сн}$  является частным случаем значения  $M_c$  при  $n = n_H$ , т.е.  $f = f_H$ .

Необходимое соотношение  $\frac{U}{U_0}$  в зависимости (5) обеспечивается управляемым выпрямителем путем изменения его выходного напряжения.

Анализ энергетических показателей системы при данном методе регулирования производительности насоса проводим при допущении об идеальности элементов АИ и выходном напряжении инвертора, близком к синусоиде. Это позволяет вести расчеты по основной гармонике.

Для рассматриваемой системы будут справедливы следующие соотношения:

суммарная потребляемая мощность равна:

$$N_c = \frac{N}{\eta \cdot \eta_d \cdot \eta_v} \quad (9)$$

суммарные потери мощности составят

$$\Delta N_c = N_c - N \quad (10)$$

где  $\eta_c = \eta \cdot \eta_d \cdot \eta_v$  - КПД системы;

$\eta_d = \frac{N_d}{N_c}$  - КПД двигателя;

$N_d = 3UI \cos \varphi$  - потребляемая двигателем мощность;

$\eta_v$  - КПД управляемого выпрямителя.

Коэффициент полезного действия  $\eta_v$  и коэффициент мощности  $\cos \varphi_v$  управляемого выпрямителя зависят от глубины регулирования его выходного напряжения  $U_0$  [6].

Учет изменения  $\eta_v$  и  $\cos \varphi_v$  производился по методике, изложенной в работе [6], на примере автономного инвертора напряжения с коэффициентом преобразования  $U = 0,45 U_0$  при максимальном значении выпрямленного напряжения выпрямителя в режиме холостого хода  $E_0 = 700$  В.

Расчетные зависимости изменения  $N, f, \Delta N_c, \eta_v$  и  $\cos \varphi_v$  при регулировании производительности насоса по второму методу приведены на рис. 4 (сплошные линии).

Из анализа этих графиков видно, что при регулировании про-

производительности насоса посредством тиристорного преобразователя частоты энергетические показатели системы имеют как количественные, так и качественные изменения против метода регулирования дросселированием.

Так, например, при дроссельном методе суммарные потери мощности в системе уменьшаются по нелинейному закону по мере увеличения производительности насоса. При этом КПД системы в рабочей зоне насоса увеличивается по прямолинейному закону. Коэффициент мощности  $\cos \varphi$  зависит от режима работы синхронного двигателя.

В отличие от метода дросселирования, при регулировании производительности насоса посредством ТПЧ кривая изменения суммарных потерь мощности в системе имеет нисходящую и восходящую ветви с неявно выраженным минимумом.

При этом в области  $Q \leq Q_n$  суммарные потери мощности в системе всегда меньше по сравнению с методом дросселирования. Это дает до 20% увеличения КПД системы против регулирования методом дросселирования.

Характер изменения КПД системы восходящий с постоянным значением в широком диапазоне регулирования производительности насоса.

Коэффициент мощности  $\cos \varphi$  регулируемого агрегата имеет индуктивный (отстающий) характер, и его значение снижается по сравнению с нерегулируемыми агрегатами. Однако этот недостаток легко компенсируется, если нерегулируемые насосные агрегаты станции оборудованы синхронными приводами и работают в режиме перевозбуждения, т.е. с коэффициентом мощности опережающего характера.

Наряду с лучшими энергетическими показателями данного метода по сравнению с дросселированием, имеется возможность увеличить номинальную производительность насоса на 30-40% за счет повышения частоты вращения при заданных параметрах насосной станции.

### Л и т е р а т у р а

1. Хусанов М.А., Ахмедов И.А., Рахимов Ш.Х. Пределы регулирования режимов работы центробежных насосных агрегатов при переменном числе оборотов. - Механизация хлопководства (Ре-

феративный научно-технический сборник), № 6, 1976.

2. Онищенко Г.Б., Юзков М.Г. Электропривод турбомеханизмов. М., "Энергия", 1972.
3. Сиромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей. М.-Л., ГЭИ, 1963.
4. Хамудханов М.З. и др. Частотное регулирование скорости электроприводов переменного тока. Ташкент, "Фан", 1966.
5. Черкасский В.М. и др. Насосы, компрессоры, вентиляторы. М., "Энергия", 1968.
6. Смирнов Ю.В. Некоторые вопросы электропривода с дросселями насыщения и полупроводниковым выпрямителем. - "Известия ВУЗ. Энергетика", № 10, 1962.

## РЕФЕРАТЫ

УДК 333.8:631.6

НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ ЦЕЛИННЫХ ЗЕМЕЛЬ УЗБЕКИСТАНА. Воронов А.П., Халиков И. – Вопросы проектирования и эффективности работы гидромелиоративных систем Средней Азии, вып.8. Ташкент, САНИИРИ, 1977.

В статье дается теоретический и практический анализ влияния комплексного освоения целинных земель Голодной, Джизакской, Каршинской степей и низовьев Амударьи на народнохозяйственный комплекс ряда областей Узбекистана, раскрывается значение комплексного освоения целинных земель в производстве важнейших видов сельскохозяйственной продукции республикой, а также влияние целинных районов на формирование новых аграрно-промышленных комплексов, качественное изменение производственных и социально-культурных условий жизни строителей и освоителей целинных земель.

УДК 627.8

РОЛЬ ВОДОХРАНИЛИЩ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ В УСЛОВИЯХ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СРЕДНЕЙ АЗИИ. Ракитин А.К. – Вопросы проектирования и эффективности работы гидромелиоративных систем Средней Азии, вып.8. Ташкент, САНИИРИ, 1977.

Для современного водного хозяйства Средней Азии характерно комплексное использование водных ресурсов при несоответствии внутригодового распределения речного стока и гидрографа водопотребления, при стабильной многолетней цикличности водности с острым дефицитом в маловодные годы. В этих условиях

одним из основных элементов водохозяйственной системы становится водохранилища; обеспечивающие наиболее эффективное и полное использование водных ресурсов.

В статье рассматривается общая схема регулирования всех поверхностных водосточников Средней Азии и дается оценка возможного водохозяйственного эффекта.

Водные ресурсы среднеазиатских рек составляют  $127 \text{ км}^3$  по году средней водности и  $95 \text{ км}^3$  по году 90%-ной обеспеченности.

При полном многолетнем регулировании стока всех водотоков Средней Азии объем водостдачи определен в размере  $104,2 \text{ км}^3$ , из которых в народном хозяйстве может быть использовано около  $92 \text{ км}^3$ . Это практически располагаемые водные ресурсы региона, на которые следует ориентироваться при планировании водохозяйственных мероприятий.

Общая полезная емкость всех водохранилищ должна быть доведена до  $50 \text{ км}^3$ , т.е. увеличена более чем в три раза.

В статье дан анализ работы водохранилищ бассейна в различных условиях, в том числе в остромаловодные периоды и при переброске части стока сибирских рек в этот район.

Таблиц 2.

УДК 634.6:634.4

О ВОЗМОЖНОЙ АЛЬТЕРНАТИВЕ ПОВЕРХНОСТНЫМ СПОСОБАМ ПОЛИВА.  
Хамраев Н.Р. — Вопросы проектирования и эффективности работы гидромелиоративных систем Средней Азии, вып.8. Ташкент, САНИИРИ, 1977.

Развитие орошаемого земледелия в среднеазиатском регионе, обладающем значительным фондом свободных земель и благоприятными агроклиматическими условиями, лимитируется ограниченностью водных ресурсов. В этих условиях все большую актуальность приобретают вопросы экономного расходования оросительной воды за счет рационализации режимов орошения и применения новых, прогрессивных способов полива.

В статье приводится оценка наиболее распространенного в хлопководческих районах Средней Азии способа полива — поверхностного по бороздам и даны прогнозы возможности перехода на более прогрессивные способы орошения в этой зоне, к которым автор относит дождевание и внутрипочвенное орошение (ВПО). Из указанных способов ВПО обеспечивает наиболее эффективное использование оросительной воды и может рассматриваться в качестве альтернативы бороздковому орошению.

Библиографий 8.

УДК 634.6:633.5

ГИДРОМОДУЛЬНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ОРОСИТЕЛЬНЫХ НОРМ ДЛЯ ХЛОПЧАТНИКА В УСЛОВИЯХ АРИДНОЙ ЗОНЫ. Предер В.Р., Васильев И.К., Трунова Т.А. — Вопросы проектирования и эффективности работы гидромелиоративных систем Средней Азии, вып.8. Ташкент, САНИИРИ, 1977.

В статье представлена методика определения оросительных норм хлопчатника для природных условий Средней Азии, основанная на расчете суммарного испарения с учетом климатических, литолого-геоморфологических и гидрогеологических факторов. Выделение гидромодульных районов производится по литологическому составу почвообразующих пород. Для условий глубокого залегания грунтовых вод выделено пять гидромодульных районов, для каждого из которых установлена норма орошения.

Таблиц 6, иллюстраций 4, библиографий 12.

УДК 634.6

ВОДНЫЙ РЕЖИМ ОРОШАЕМЫХ ТАКЫРНЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ СУРХАНДАРЬИНСКОЙ ОБЛАСТИ УзССР. Решетов Г.Г. — Вопросы проектирования и эффективности работы гидромелиоративных систем Средней Азии, вып.8. Ташкент, САНИИРИ, 1977.

Данные наблюдений за влажностью почв хлопкового поля позволили в условиях глубоких грунтовых вод Сурхандарьинской об-

ласти установить прямолинейную зависимость суммарного испарения почвенной влаги от влажности расчетного слоя. Анализ полученного материала показал, что расход почвенной влаги на испарение и транспирацию ограничивается определенным слоем влагопереноса. При первом поливе таким является слой 0-80 см, при втором - 0-150 см и при последующих - 0-175 см.

Определены поливные и оросительные нормы хлопчатника при возделывании на суглинистых почвах. Оросительная норма нетто составила  $8020 \text{ м}^3/\text{га}$  при шести вегетационных поливах. Расход влаги на испарение и транспирацию во время проведения поливов составляет  $4435 \text{ м}^3/\text{га}$ .

Таблиц 2, иллюстраций 3, библиографий 10.

УДК 634.413.21-634.6.626.87

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИФфуЗИИ И РАВНОВЕСНОЙ СОРБЦИИ СОЛЕЙ В ПОЧВОГРУНТАХ ПО ДАННЫМ ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ. Белова Г.П., Клыков В.В., Пудьгин Д.Ф. - Вопросы проектирования и эффективности работы гидромелиоративных систем Средней Азии, вып.8. Ташкент, САНИИРИ, 1977.

В статье рассмотрен полевой метод нахождения двух параметров переноса солей: конвективной диффузии и равновесной сорбции. Для этого используются энтуры распределения солей и влаги в почвенной толще опытной площадки, полученные в результате отбора проб грунта для двух моментов времени при промывке засоленной толщи площадки.

Приводится пример расчета.

Таблиц 1, иллюстраций 1, библиографий 4.

УДК 634.4:51

К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВУМЕРНОЙ ЗАДАЧИ ВЛАГОПЕРЕНОСА ПРИ ВНУТРИПОЧВЕННОМ ОРОЖЕНИИ. Хамраев Н.Р. - Вопросы проектирования и эффективности работы гидромелиоративных систем Средней Азии, вып.8. Ташкент, САНИИРИ, 1977.

Применение внутрипочвенного орошения (ВПО) оказалось эффективным в части экономии воды, повышении урожайности и механизации полива. Проектирование производственных систем ВПО потребовало решения задачи влагопереноса в почвогрунтах для более обоснованного назначения расстояний между увлажнителями и других параметров системы. В статье приводится пример численного решения двумерной задачи влагопереноса, осуществленного на ЭИМ М-222.

Иллюстраций 5, библиографий 16.

УДК 626.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТОДОМ ВГДА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ФИЛЬТРАЦИОННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДРЕНЫ, ОБУСЛОВЛЕННОГО НЕСОВЕРШЕНСТВОМ ЕЕ КОНСТРУКЦИИ, ПО СРАВНЕНИЮ С ПОЛОСТЬЮ ТОГО ЖЕ ДИАМЕТРА. Дармин Л.В., Филатов Л.М. - Вопросы проектирования и эффективности работы гидромелиоративных систем Средней Азии, вып.8. Ташкент, САНИИРИ, 1977.

В работе дается методика определения методом ВГДА дополнительного сопротивления, обусловленного несовершенством конструкции дрены, по сравнению с полостью того же диаметра. По результатам построен график зависимости величины дополнительного сопротивления от скважности дренажной трубы.

Таблиц 2, иллюстраций 2, библиографий 4.

УДК 626.862

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОПРИЕМНОЙ СПОСОБНОСТИ ПЛАСТМАССОВОГО ДРЕНА С ФИЛЬТРОМ ИЗ ИСКУССТВЕННЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ. Серебренников Ф.В. - Вопросы проектирования и эффективности работы гидромелиоративных систем Средней Азии, вып.8. Ташкент, САНИИРИ, 1977.

Приводятся результаты лабораторных опытов по определению водоприемной способности пластмассовых дрен с фильтром из искусственных волокнистых материалов (технический капрон, стек-

лотки, стеклохолст, штапельное базальтовое волокно, фильтры ЛАНИНГема).

Налагается теоретическая сторона оценки водоприемной способности конструкций закрытого дренажа, приводится пример обработки данных, полученных при проведении опытов в прямоугольных фильтрационных лотках.

Таблиц 2, иллюстраций 4, библиографий 4.

626.8:634.6

О ДРЕНАЖЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ УСАДЕБ СОЮЗОВ В НОВОЙ ЗОНЕ ОРОШЕНИЯ ГОЛОДНОЙ СТИПИ. Нейман Б.Я., Нейман В.А. - Вопросы проектирования и эффективности работы гидромелиоративных систем Средней Азии, вып.8. Ташкент, САНИИРИ, 1977.

В статье предлагается сравнительно простой метод дренажа застроенных территорий системой мелких скважин, оборудованных эрифтами с централизованной подачей воздуха. Этот метод исключает необходимость нарушений существующих зданий и коммуникаций.

Приводятся расчеты параметров дренажных скважин при размещении их линейными рядами и по квадратной сетке, а также ориентировочный расчет потребной производительности центральной компрессорной установки.

Таблиц 3, иллюстраций 3, библиографий 3.

УДК 634.4:626.8

О СОСТАВЛЕНИИ КАРТ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА ВОДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ДЛЯ ПОДБОРА ФИЛЬТРОВЫХ ОБСЫПКОК СКВАЖИН ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА. Калижная Н.И. - Вопросы проектирования и эффективности работы гидромелиоративных систем Средней Азии, вып.8. Ташкент, САНИИРИ, 1977.

В работе приведены результаты оценки фракционного состава песчаных водоносных горизонтов, вскрытых выработками глубиной 50-100 м и мощностью более 5 м, и для выделенных разностей

рассчитан состав фильтровых обсылок скважин вертикального дренажа.

Таблиц 2, иллюстраций 2, библиографий 3.

УДК 634.6:624.434

ОСОБЕННОСТИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЛЕССОВ МАССИВА П ОЧЕРЕДИ ОРОШЕНИЯ КАРШИНСКОЙ СТЕПИ. Жуманов Б.М., Пугач А.А. - Вопросы проектирования и эффективности работы гидромелиоративных систем Средней Азии, вып.8. Ташкент, САНИИРИ, 1977.

Анализ результатов многочисленных полевых опытов дал возможность авторам работы установить закономерности изменения с глубиной фильтрационных свойств лессовых грунтов, приуроченных к определенным типам рельефа: водоразделам, склонам и днищам крупных логов, а также проследить изменение водопроницаемости в процессе длительного замачивания лессовых грунтов в опытных котлованах.

Кроме того, установлена закономерная взаимосвязь между величиной коэффициента фильтрации и объемной плотностью скелета лессовых грунтов по результатам полевых опытов, проведенных авторами данного исследования на площади II очереди орошения Каршинской степи для обоснования технического проекта.

Иллюстраций 4, библиографий 3.

УДК 55:624.434

УСКОРЕННЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗА ПРОСАДОК ЛЕССОВЫХ ПОРОД. Круглов Д.Н. - Вопросы проектирования и эффективности работы гидромелиоративных систем Средней Азии, вып.8. Ташкент, САНИИРИ, 1977.

На основе многочисленных определений показателей плотности лессовых пород после длительного их замачивания установлены предельные величины объемной массы скелета и пористости грунта, характеризующие завершение процесса уплотнения просадочной породы. Средние их значения по 5-метровым интервалам изменяются

по глубине закономерно и соответствуют средним напряжениям в просадочной толще каждой зоны.

Использование этих показателей и определенных при изысканиях на просадочных грунтах позволяет установить просадочность лессовых пород и вычислить размеры просадки без дорогостоящих опытных исследований.

Таблиц 4, иллюстраций 2, библиографий 11.

УДК 622.24:627,822

ВЛИЯНИЕ БУРОВОГО НАКОНЕЧНИКА НА КЕРН — ПОКАЗАТЕЛЬ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНА ПЛОТИНЫ АНДИЖАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА. Боровинский В.А., Галдобин В.С., Думаревский Л.А., Аксенов К.И. — Вопросы проектирования и эффективности работы гидромелиоративных систем Средней Азии, вып.8. Ташкент, САНИИРИ, 1977.

В работе на основе большого производственного материала приводятся сравнительные характеристики керна при твердосплавном и алмазном бурении по бетону. Методами математической статистики установлено, что при алмазном бурении плашки керна по ряду показателей (длина, качество поверхности и др.) имеют преимущества по сравнению с керном при твердосплавном бурении.

Таблиц 2, иллюстраций 4, библиографий 6.

УДК 626.8:634.6

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУЖАЮЩИХ УСТРОЙСТВ В КАЧЕСТВЕ ВОДОМЕРОВ ДЛЯ ГИДРАНТОВ ЗАКРЫТОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ. Туманов А.А. — Вопросы проектирования и эффективности работы гидромелиоративных систем Средней Азии, вып.8. Ташкент, САНИИРИ, 1977.

В статье изложены результаты исследования двух конструкций водомерных устройств, предназначенных для учета воды при поливе гибкими шлангами. Приводятся основные расчетные параметры и анали-

вируются возможности уменьшения габаритов конструкций без ухудшения их эксплуатационных качеств. Рекомендуется оптимальное решение при использовании водомера с типовым гидрантом конструкции института "Средазгипроводхлопок".

Таблиц 2, иллюстраций 3, библиографий 5.

УДК 62-83.621.333.323.072.9.621.65

СРАВНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВУХ МЕТОДОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА. Абуталиев Ф.А., Ахмедов И.А., Хусанов М.А., Султанходжаева М.Н. – Вопросы проектирования и эффективности работы гидромелиоративных систем Средней Азии, вып.8. Ташкент, САНИИРИ, 1977.

В результате сравнения энергетических показателей насосного агрегата определено, что регулирование его производительности изменением частоты вращения с помощью тиристорного преобразователя частоты увеличивает КПД системы до 20% против метода регулирования дросселированием.

Иллюстраций 3, библиографий 6.

# СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                                | Стр. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| А.П.Воронов, И.Халиков. Народнохозяйственное значение комплексного освоения целинных земель Узбекистана                                                                                        | 3    |
| К.А.Рамитин. Роль водохранилищ и их эффективность в условиях водного хозяйства Средней Азии                                                                                                    | 11   |
| Н.Р.Хамраев. О возможной альтернативе поверхностным способам полива                                                                                                                            | 19   |
| В.Р.Шредер, И.К.Васильев, Т.А.Трунова. Гидроמודульное районирование и расчет оросительных норм для хлопчатника в условиях аридной зоны                                                         | 28   |
| Г.Г.Решетов. Водный режим орошаемых такырных почв в условиях Сурхандарьинской области УзССР                                                                                                    | 41   |
| Г.П.Белова, В.Е.Кликов, Д.Ф.Шульгин. Определение параметров диффузии и равновесной сорбции солей в почвогрунтах по данным полевых опытов                                                       | 50   |
| Н.Р.Хамраев. К вопросу построения математической модели двумерной задачи влагопереноса при внутрпочвенном орошении                                                                             | 56   |
| Л.В.Ларина, Л.М.Филатов. Определение методом ЭГДА дополнительного фильтрационного сопротивления дрены, обусловленного несовершенством ее конструкции, по сравнению с полостью того же диаметра | 67   |
| Ф.В.Серебренников. Лабораторные исследования водоприемной способности пластмассового дренажа с фильтром из искусственных волокнистых материалов                                                | 71   |

|                                                                                                                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Б.Я.Нейман, В.А.Нейман. О дренаже существующих усадеб совхозов в новой зоне орошения Голодной степи                                                                                | 80  |
| Н.И.Калужная. О составлении карт фракционного состава водовмещающих пород для подбора фильтровых обсыпок скважин вертикального дренажа                                             | 88  |
| Б.М.Жуманов, А.А.Пугач. Особенности фильтрационных свойств лессов массива II очереди орошения Каршинской степи                                                                     | 95  |
| Д.Н.Круглов. Ускоренный метод прогноза просадок лессовых пород                                                                                                                     | 100 |
| В.А.Боровинский, В.С.Галдобин, Л.А.Дударевский, К.И.Аксенов. Влияние бурового наконечника на керн — показатель прочностных характеристик бетона плотины Андijanского водохранилища | 111 |
| А.А.Туманов. О возможности использования сужающих устройств в качестве водометров для гидрантов закрытой оросительной сети                                                         | 117 |
| Ф.А.Абуталиев, И.А.Ахмедов, М.А.Хусанов, М.Н.Султанходжаева. Сравнение энергетических показателей двух методов регулирования производительности центробежного насоса               | 125 |
| Рефераты                                                                                                                                                                           | 133 |

ВОПРОСЫ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ  
ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ СРЕДНЕЙ АЗИИ

Сборник научных трудов  
Выпуск 8

Редакторы Е.Н.Макушенко, Б.Ф.Калягина

Подписано в печать 8/IX-77г. Бумага типографская № I  
Формат 60x84 1/16. Уч.-издат. л. 7,0.  
Тираж 500 экз. Цена 80 коп. Р 05775. Заказ № 867.  
Отпечатано офсетной мастерской института  
"Средазгипрводхлопок"  
Ташкент, Навои, 44