МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР

СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ
им. В. Д. ЖУРИНА
„С А Н И И Р И„

Т Р У Д Ы

СРЕДНЕАЗИАТСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА ИРРИГАЦИИ им. В. Д ЖУРИНА

Выпуск 114

ТАШКЕНТ—1968

УДК 626.8

В сборнике приведены материалы исследований фильтрации применительно к мелиорации крупных земельных массивов, к основанию водовыпусков из водохранилищ и т.д. и предлагаются антифильтрационные мероприятия для грунтов оросительных каналов. Дается анализ физико-технических свойств грунтов, освещается вопрос определения расхода донных наносов и предлагается метод подбора ирригационных отстойников с механической очисткой; исследуются местные материалы для устройства дренажа в условиях Голодной степи. В книге приведены материалы исследования бетонных и железобетонных деталей типовых гидросооружений в условиях жаркого климата.

Сборник предназначен для научных сотрудников, работников проектных, строительных эксплуатационных организаций, аспирантов, преподавателей и студентов вузов строительной и гидротехнической специальности.

Редакционная коллегия

З. Х. Хусан-Ходжаев (отв. редактор), С. Г. Запрометов, А. А. Рачинский, Х. А. Аскаров, А. М. Мухамедов У. Ю. Пулатов, И. И. Горошков, А.З. Захидов, М. В. Бутырин, Г. Г. Валентини

Н.И.ДРУЖИНИН

ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ МЕТОДОМ ЭГДА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К МЕЛИОРАЦИИ КРУПНЫХ ЗЕМЕЛЬНЫХ МАССИВОВ

Увеличение объема водохозяйственного и гидромелиоративного строительства, намечаемый рост сельскохозяйственного производства на осушенных и орошаемых землях, развитие рисосеяния, осушение, орошение и обводнение лугов и пастбищ, а также комплексное использование поверхностных и грунтовых вод требуют усиления научно-исследовательских работ по гидромелиоративным, гидротехническим и водохозяйственным проблемам. Одна из важнейших задач этого плана - региональная фильтрация, т.е. проблема изучения фильтрационного потока на большой территории, измеряемой тысячами и сотнями тысяч квадратных километров.

Объекты ирригационного и мелиоративного строительства располагаются в различных физико-географических зонах страны, имеющих разнообразные почвенные и климатические условия. Поэтому вопросы расчета, проектирования, строительства и эксплуатации осушительных и оросительных систем должны разрабатываться на основе глубокого научного анализа природных условий, но формирование и движение фильтрационного потока на обширных территориях зависит от многочисленных природных факторов. К ним относятся, в первую очередь, физико-географические и почвенно-геологические факторы, в частности климат, развитие гидрографической сети, различная водопроницаемость и взаимосвязь горных пород, а также сложная форма водоупорной поверхности.

Указанные факторы обусловливают и сложные формы пространственного регионального фильтрационного потока, изучение которого теоретическими методами представляет

до сих пор серьезные трудности как вследствие сложных начальных и граничных условий, так и из-за многообразия действующих сил. Даже простейшие задачи часто приводят к сложным дифференциальным уравнениям, интегрирование которых или затруднительно, или вовсе невозможно. Поэтому, наряду с развитием аналитических методов расчета, в СССР и за рубежом широко распространены и экспериментальные методы исследования, использующие формальную математическую аналогию между электрическими явлениями и физическими процессами.

Метод математического моделирования, в частности способ аналогии, заключающийся, как известно, в решении заданного уравнения путем экспериментального изучения какого-либо физического явления, описываемого этим уравнением, получил широкое распространение, даже более широкое, чем метод моделирования, при котором в модели сохраняется физическая природа изучаемого явления. И это вполне закономерно, так как математическое моделирование (аналоговое с применением электроинтеграторов и различных приборов, установок и устройств, дискретное с применением ЦВМ) рассматривает целый класс аналогичных явлений, описываемых одним и тем же уравнением. Поэтому математическое моделирование по сравнению с физическим более общее.

Действительно, движение установившегося фильтрационного потока в пористой среде, стационарные процессы распространения магнитного и теплового потоков, движение жидкости, газа, электрического тока, явление диффузии и другие процессы характеризуются одним и тем же дифференциальным уравнением в частных производных эллиптического типа, которое при определенных условиях переходит в уравнение Лапласа. Такие уравнения наиболее просто и удобно

решаются теперь методами электрических аналогий, в частности способом ЭГДА, предложенным для решения фильтрационных задач акад. Н.Н.Павловским и значительно развитым его учениками и последователями.

При изучении неустановившихся процессов, описываемых уравнениями Буссинеска и Фурье, помимо аналогового метода, широкое распространение получил метод гидравлических аналогий, разработанный профессорами Е.А.Замариным, В.С.Лукьяновым и др.

Интерес в различных областях науки и техники к вопросам использования математической аналогии между электрическими явлениями и физическими процессами особенно возрос после опубликования Н.Н.Павловским метода ЭГДА для решения задач теории фильтрации.

В течение нескольких лет многие проектные, изыскательские институты и строительные организации различных служб, министерств и ведомств освоили указанный метод, применяя его при разнообразных исследованиях и расчетах. Лабораторные работы по методу ЭГДА входят теперь в программы курсов теории фильтрации, гидравлики и гидромеханики ряда специальностей в вузах СССР. Появилась обширная литература, посвященная методу ЭГДА, представленная монографиями, кандидатскими и докторскими диссертациями, тысячами статей в периодических изданиях, отдельными разделами и главами в учебниках, а также в большом количестве научно-техническими отчетами по специальным исследованиям, выполненным методом ЭГДА.

С развитием способов математического и физического моделирования появился и получил широкое развитие ряд оригинальных методик исследования фильтрационных потоков, конструкций и приборов, значительно расширилась область применения и возрос круг задач, решаемых методами

математического моделирования в теории фильтрации и не только фильтрации, но и в гидромеханике, аэродинамике, гидротехнике, теплотехнике, электротехнике, электронике и во многих других областях науки и техники.

В области ирригации, мелиорации и теории фильтрации широко распространено, например, изучение методом ЭГДА фильтрационных потоков на больших территориях с учетом физико-географических, почвенно-геологических, климатических и других естественных и искусственных факторов, определение этим методом величины инфильтрации в почву атмосферных осадков, расстояния между дренами и каналами в зависимости от гидрологических, почвенных и климатических условий, исследование рационального подземного контура гидросооружений, расположенных на неоднородных грунтах, изучение сложных пространственных потоков в сооружениях и их основаниях, моделирование нестационарных процессов, расчет сложных мелиоративных (осушительных, оросительных и коллекторно-дренажных) систем и т.д.

С момента возникновения и до настоящего времени метод ЭГДА развивался в нескольких направлениях. Но главнейшая задача - распространение метода ЭГДА на случай исследования напорных и безнапорных потоков в условиях плоской, плановой и пространственной фильтраций в районах гидроузлов и на больших территориях с учетом разнородности грунтов, влияния различных климатических и физико-географических условий (интенсивность испарения, солнечная радиация, колебания температуры, орография местности и т.п.), а также изучения неустановившейся фильтрации и фильтрации в анизотропных грунтах.

Применение метода ЭГДА, как и других способов математического и физического моделирования, к указанным случаям требовало разработки методики исследования-

изучения способов схематизации поставленной задачи, нахождения рациональных способов моделирования различных естественных и искусственных факторов, влияющих на фильтрационный поток, выбора масштаба и материала исследуемой области, создания рациональной схемы и конструкции установки, а также изыскания принципов измерения и записи искомых величин и, наконец, определения напоров в различных точках модели, измерения расходов, притекающих к различным границам моделируемой области фильтрации.

Применение метода ЭГДА при изучении региональных потоков подземных вод

Теоретические основы метода ЭГДА и условия моделирования фильтрационных и электрических явлений хорошо известны. Отметим лишь, что применение этого метода для исследования фильтрации в гидроузлах и на больших территориях требует разработки вопросов точности измерения на установках ЭГДА потенциалов, градиентов напора и фильтрационных расходов, точности построения гидродинамических сеток на установках ЭГДА, выяснения влияния на результаты исследования чувствительности электрических схем установок ЭГДА, качества электропроводных материалов модели, метода измерения, рода электрического тока, характера электрохимических явлений в электропроводном материале модели.

Указанные вопросы имеют значение при дальнейшем развитии метода ЭГДА. Поэтому вопросам изучения точности исследования и разработке мер ее повышения было уделено много внимания. Основные результаты проведенных нами исследований по этому вопросу представлены в монографиях [1, 2].

Вопросы применения метода ЭГДА при гидрогеологических изысканиях и исследованиях, возникающие как при

решении задач о притоке воды к одиночным колодцам, так и при изучении фильтрационных свойств грунтов, залегающих в русле рек, в основании водоемов и междуречных пространствах, а также при определении дебита подрусловых водозаборов, заложенных в двухслойных и трехслойных грунтах, имеют большой практический интерес в ирригации при обводнении лугов и пастбищ, в питьевом и промышленном водоснабжении и при возведении гидротехнических сооружений, но они стоят в стороне от основной темы и в статье не освещаются.

Решить задачу сложного пространственного фильтрационного потока, занимающего большую территорию, можно лишь на базе комплексного анализа гидродинамических и гидрогеологических условий.

Гидрогеологические и гидродинамические условия такой задачи сложны: область фильтрации состоит из гидравлически связанных между собой слоев грунта, обладающих разной проницаемостью, пористостью и мощностью. Очертания слоев часто неправильной формы. Гидродинамические давления на границах области фильтрации переменны по величине и выражаются сложными функциональными зависимостями, отображающими физико-географические и почвенно-геологические условия рассматриваемого района. Плановые размеры области фильтрации по сравнению с мощностью водопроницаемых слоев огромны. Фильтрационный поток протекает по водоупору, поверхность которого имеет сложные очертания. В различных частях единого пространственного фильтрационного потока имеются области напорной и безнапорной фильтрации, причем, в безнапорной области фильтрации положение депрессионной поверхности неизвестно.

В указанной постановке наиболее рациональным методом решения задачи пространственного фильтрационного потока является метод ЭГДА. Но ранее существовавшие установки ЭГДА и методика исследования не были пригодны

для изучения региональной фильтрации. Поэтому при развитии метода ЭГДА в применении к исследованию фильтрации на больших территориях нам потребовалось разработать особую методику моделирования и создать соответствующую аппаратуру и установки ЭГДА, которые позволили бы учитывать все многообразие вышеуказанных факторов.

Для учета геологических, гидрогеологических, гидрографических, климатических и других естественных и искусственных факторов были разработаны:

I. Метод моделирования пространственной региональной области фильтрации при наличии неоднородных грунтов и сложной формы геологических пластов.

2. Методика исследования, включающая методики:

а) составления профилей проницаемости и осреднения коэффициентов фильтрации горных пород;

б) расчета влияния дренажной сети малых рек на уровень грунтовых вод;

в) моделирования инфильтрации и горизонтов воды в реках;

г) изучения влияния на фильтрационный поток геофизических факторов: густоты и глубины врезки гидрографической сети, мощности водопроницаемого слоя и рельефа водоупора, степени неоднородной водопроницаемости и наличия крупных водохранилищ.

3. Электрические схемы установки ЭГДА, способные учесть все многообразие природных условий изучаемой области.

Метод моделирования пространственной региональной области фильтрации при неоднородных грунтах

Изучать пространственные региональные потоки методом ЭГДА очень трудно. Трудности вызываются, главным образом, большими размерами в плане области фильтрации

(охватывают иногда 1000х1000 км^2) и малой мощностью водопроницаемых пластов. В некоторых частях модели необходимо учитывать тонкие (например, в 1 м) прослои сильно- или слабопроницаемых слоев. Даже при наличии тонкослойных электропроводных материалов необходимо моделировать область фильтрации в искаженных масштабах. Известно, что искажение линейного масштаба моделей грунтовых потоков возможно лишь при искажении масштаба коэффициента фильтрации в соответствующих направлениях, т.е. искажение линейного масштаба требует применения на модели анизотропно-водопроницаемого грунта.

Учитывая, что в методе ЭГДА аналогом коэффициента фильтрации K является удельная проводимость электропроводного материала и заменяя удельные проводимости в горизонтальном и вертикальном направлениях соответствующими элементарными сопротивлениями $r_г$ и $r_в$, легко получить формулу, позволяющую определять коэффициент анизотропии λ в зависимости от искажения толщины t слоя грунта в модели. Таким образом, чтобы сохранить условия моделирования однородной изотропной области фильтрации, выражаемые в задаче (при определении линий равных напоров) равенством $\rho K = const$, в обратной (при определении линий тока фильтрационного потока) $\frac{\rho}{K} = const$, необходимо в искаженной области модели изотропные проводники, удовлетворяющие равенствам $\rho K = const$ и $\frac{\rho}{K} = const$, заменить анизотропными.

Анизотропию проводника можно создать различными способами, например, путем применения слоисто-анизотропного проводника, составленного из параллельных слоев с двумя различными чередующимися значениями удельной проводимости, или создания дискретно-анизотропного проводника с помощью вырезов части изотропного электропроводного материала или вставки в изотропный электропроводный мате-

риал с удельным сопротивлением ρ цилиндров или параллелепипедов из другого электропроводного материала, обладающего удельным сопротивлением $\rho_a \geq \rho$. Такой дискретно-анизотропный проводник выгодно отличается от слоисто-анизотропного: он позволяет моделировать большую степень искажения, не образуя короткозамкнутых полей.

При создании дискретно-анизотропной среды сопротивление в вертикальном направлении легко вычисляется теоретически; в горизонтальном - вытекает из рассмотрения обтекания электрическим током единичного цилиндра или параллелепипеда. В модели такое обтекание происходит в ограниченном поле. Поэтому теоретически получить точную формулу трудно. Однако трудности легко преодолеть, если η_r определить опытным путем, например, при помощи моста сопротивлений.

Исследования [2] показали, что при употреблении в модели листовых материалов, например электропроводной бумаги с наклеенными на нее вставками из станиолевой или латунной фольги, λ изменяется от 0 до I, что соответствует уменьшению (сжатию) при моделировании мощности пласта, т.е. случаю, когда мощная водопроницаемая толща грунта заменяется в модели тонким слоем электропроводного материала, например, листом электропроводной бумаги с сильнопроводящими наклейками.

Для увеличения (растяжения) на модели мощности пласта необходимо иметь $\lambda > I$. Незначительного увеличения λ (до двух) можно достичь при помощи вырезов части электропроводного материала. Для достижения большего значения λ необходимо в местах наклейки станиолевых или латунных квадратов (кругов) вырезать под ними бумажную основу и заменить ее материалом с большой проводимостью. При этом сопротивление листа в вертикальном направлении рез-

ко снизится и будет определяться сильно проводящей вставкой, а ℓ_r будет изменяться значительно медленнее, что приведет к сильному возрастанию λ . Для еще большего увеличения λ следует пользоваться ионными проводниками (электролитами, агар-агаром и др.), в которые надлежит вставлять параллелепипеды или цилиндры из меди или латуни. При таких проводниках можно искажать масштабы модели в десятки тысяч раз.

Итак, зная масштабные коэффициенты модели λ_r ; λ_ℓ, а также толщины слоя электропроводного материала и мощности моделируемого слоя грунта, легко определить $\lambda = \frac{\lambda_r}{\lambda_\ell}$, а по значениям λ и $\eta_0 = \frac{\rho_a}{\rho}$ найти по предложенным автором [2] графикам размеры a и d электропроводных вставок, соответствующих принятому в модели искажению вертикальных размеров различных слоев грунта. При изготовлении модели всегда имеем $\lambda_r = const$, а λ_ℓ может быть переменной и зависит от мощности моделируемого слоя грунта. Таким образом, предложенный метод дает возможность моделировать геометрические размеры слоев грунта переменной мощности при помощи электропроводного слоя модели постоянной толщины, но переменной анизотропии.

Методика составления профилей проницаемости и осреднения коэффициентов фильтрации К отдельных слоев

Эта методика состоит в следующем:

I. Строится геологический разрез на основании изучения картографического материала и полевых исследований.

2. Для каждого геологического пласта устанавливается коэффициент фильтрации на основании:

а) лабораторных исследований,

б) полевых изысканий,

в) литературных источников или

г) теоретических формул.

3. Коэффициенты фильтрации различных слоев в дальнейшем осредняются так, чтобы получилось на модели минимальное количество слоев с различными значениями К.

При определении $K_{ср}$ применим способ, разработанный нами для подсчета погрешностей, вызванных неточным подбором удельных сопротивлений отдельных слоев модели.

Определение $K_{ср}$ по указанному способу сводится в таблицу, по результатам которой строятся кривые, каждая из которых характеризует погрешность в %, вносимую данным слоем в результате замены его К значением $K_{ср}$. Кривая $K = f(n)$ характеризует суммарную погрешность. Точка пересечения этой кривой с осью ординат дает то значение $K_{ср}$, при котором суммарная погрешность равна 0.

Расчет и изготовление модели региональной области фильтрации

Сначала для каждого схематизированного слоя пространственной области определяется удельное сопротивление изотропного проводника так, чтобы удовлетворить условиям $\rho_i K_i = const$ или $\frac{\rho_i}{K_i} = const$, где

ρ_i – удельное сопротивление электропроводного материала модели,

K – коэффициент фильтрации рассматриваемого i-го слоя области фильтрации, $i = 1,2,3...$ номер слоя.

Затем осуществляются мощности слоев путем создания анизотропии в каждом слое модели в зависимости от коэффициента искажения вертикальных размеров слоя грунта. Если каждый слой в плане принять постоянным по толщине ($t = const$), то для любой точки рассматриваемого слоя $\lambda = const$. Если моделируемый слой имеет в плане

переменную мощность, то перед началом расчета необходимо изготовить чертеж (план) с показанием границ простирания слоя и изолиний равных мощностей. В таком слое коэффициент искажения λ будет постоянным вдоль каждой изолинии и переменным от изолинии к изолинии.

Учет влияния малых рек на уровень грунтовых вод

В региональной области фильтрации малые водотоки почти не влияют на общую топографию зеркала грунтовых вод. Однако они могут значительно изменить микрорельеф депрессионной поверхности. Воздействие малых водотоков на фильтрационный поток можно учесть при помощи специальных графиков, полученных нами методом ЭГДА для различных схем притоков. На приборе ЭГДА были рассмотрены следующие основные случаи расположения рек и их притоков: случаи I и I'. Две параллельно текущие реки А и Б, впадают в море, озеро или водохранилище под углом 90^0 к берегу водоема. Одна из рек имеет приток С. Исток притока С может находиться в любой точке площади, ограниченной реками А и Б и берегом водоема. Устье истока С может располагаться в любой точке реки А (случай I) или Б (случай I'). Отметка истока притока С изменяется от отметки горизонта воды в устье притока до максимальной отметки горизонта воды в реках А и Б на рассматриваемом участке; случаи II,III,III' отличаются от I и I' тем, что реки А и Б сливаются вместе под углом 45^0. Случай IУ и IУ'. Реки А и Б образуют при слиянии угол 90^0. Случай У и У' . Реки А и Б сливаются под углом 135^0. Случай УI и УI'. Реки А и Б текут навстречу друг другу.

Всего рассмотрено I700 схем расположения притока С и для каждой схемы определены приведенные потенциалы U_q в 20 точках поля. По результатам исследования

построены расчетные графики изменения U_r в зависимости от направления притока, его приведенной длины l_r, уклона горизонта воды J и места положения устья притока С (всего построено более 9200 расчетных кривых).

Пользуясь подобными кривыми, можно построить эквипотенциальные линии для любого расположения притока и определить потенциальное поле региональной области фильтрации, не изучая фильтрационный поток на модели. Потенциальное поле в этом случае строится путем расчета U_r в отдельных точках модели. U_r подсчитывается относительно единой плоскости сравнения, проходящей через отметку с самым низким горизонтом воды (поверхность озера, моря и т.д.). По полученным точкам путем интерполяции строятся эквипотенциальные линии U_r. Значения последних пересчитываются на напоры h и отметки потока ∇.

Рассмотренные графики не учитывают инфильтрацию.

При учете инфильтрации необходимо значения U_r, полученные из графиков, умножить на поправочный коэффициент $\xi = \frac{(U_r)_и}{U_r}$, где $(U_r)_и$ – приведенный потенциал в рассматриваемой точке при наличии инфильтрации. Он определяется из подобных же графиков, но построенных в зависимости от интенсивности инфильтрации q, длины l_r и уклона J горизонта воды притока, места m и угла θ впадения притока в рассматриваемую реку $(U_r)_и = f(q, l_r, J, m, \theta)$.

В случае неоднороднопроницаемой области фильтрации приведенные потенциалы фильтрации φ_r в произвольной точке плана течения будут совпадать с U_r или h_r для этой же точки модели. Потенциалы фильтрации φ, φ_1 и φ_2 определяются в каждом частном случае из уравнений, получающихся путем интегрирования потенциала вектора расхода в плановой задаче:

а) для безнапорного течения по формуле

$$\varphi = \int_{0}^{h(x,y)} K(z)(z-h)\,dz; \qquad (I)$$

б) для напорного –

$$\varphi = \int_{0}^{T} K(z)(z-h)\,dz, \qquad (2)$$

где $K(z)$ – коэффициент фильтрации горизонтально-слоистого грунта;

z – координата рассматриваемой точки;

h – напор, зависящий от координат плана сечения;

T – мощность рассматриваемого слоя.

Моделирование гидрографической сети, горизонтов воды в реках и инфильтрации

Гидрографическая сеть представляется на модели системой проводников постоянного сечения, отображающих в плане все изгибы рек.

Горизонты воды в реках осуществляются на модели путем принудительного задания в истоках и устьях рек, а также в створах гидрометеорологических постов при помощи специальных потенциометров, включенных в установку ЭГДА. Значение приведенных потенциалов в гидрометрических створах подсчитывается на основании характерных графиков колебания горизонтов воды за рассматриваемый период времени. Так, можно использовать графики колебания среднемноголетних или среднемесячных уровней.

Можно принимать характерные горизонты воды в реках, например, минимальные меженные, средние меженные, средние за вегетационный, а также за зимний периоды и т.д. Эти графики косвенно учитывают характер растительного покрова, кроме того температуру, влажность,

интенсивность испарения и ряд других факторов, отображающих климат и погоду области.

Инфильтрационный расход моделируют при помощи шин проводников малого сопротивления (медных проволок или латунных, медных, станиолевых листов), уложенных на электропроводный материал модели вдоль изолиний интенсивности инфильтрации или полос с одинаковым инфильтрационным расходом. Шины подключаются проводом к потенциометру, составленному из реостатов, обладающих по сравнению с моделью весьма большими сопротивлениями. Такими потенциометрами задаются значения тока, пропорциональные инфильтрационным расходам.

После изготовления инфильтрационных шин, модели гидрографической сети и определения значений U_z, моделирующих отметки горизонтов воды различных водотоков и водоемов, расположенных на рассматриваемой территории, изготавливается область фильтрации.

При сложной форме водоупорной поверхности фильтрационный поток исследуется на двух моделях.

В модели № I за область фильтрации принимается область, ограниченная в плане реками и водоемами, а сверху и снизу - горизонтальными водоупорными плоскостями. Такая область исследуется на плановой напорной модели, обладающей электропроводным материалом постоянной толщины.

При наличии в плановой модели зон грунта, обладающих различными коэффициентами фильтрации, последние учитываются путем изготовления этих зон из электропроводных материалов, имеющих соответствующие электрические проводимости.

После изготовления модели № I задаются приведенные потенциалы в истоках рек и в створах гидрометпостов. Затем измеряются потенциалы на электропьезометрах.

Результаты исследования представляются обычно в виде карты, на которой надписаны заданные или измеренные в модели приведенные электрические потенциалы. Последние интерполируются, и по полученным точкам проводятся эквипотенциальные линии.

Затем, в зависимости от условий фильтрации (напорный или безнапорный поток, однородный или горизонтально-слоистый грунт) определяются над плоскостью сравнения значения напоров и вычисляются отметки гидроизогипс.

На карту гидроизогипс, характеризующих депрессионную поверхность в первом приближении, наносятся горизонтали залегания водоупора. В точках пересечения гидроизогипс с горизонтами водоупора надписываются значения глубин фильтрационного потока. Последние интерполируются и по полученным точкам проводятся изобаты (линии равных глубин).

По построенной карте изобат создается модель № 2 уже пространственной области фильтрации. Эта модель конструируется с учетом сложной формы водоупорной и депрессионной поверхностей, а также неоднородно проницаемых слоев грунта. Метод расчета и изготовления модели из изотропных и анизотропных проводников при наличии однородных и неоднородных грунтов был изложен выше. Операции же по заданию приведенных потенциалов, производству опыта и обработке экспериментальных данных при исследовании модели № 2 такие же, как и при исследовании модели № I.

Изучение влияния на фильтрационный поток различных геофизических факторов

В начале исследований обычно выясняется влияние гидрографической сети, для чего на модели № I, состоящей из однородного грунта, при условии, что имеется только

гидрографическая сеть с обозначением среднемноголетнего горизонта воды в ней, определяются гидроизогипсы. Изменяя густоту речной сети и глубину вреза, получим различные карты гидроизогипс, указывающие на дренирующее влияние гидрографической сети.

Влияние рельефа водоупора определяется из сравнения двух опытов, проведенных на напорной и пространственной моделях.

Если эксперименты, проведенные для изучения влияния на фильтрационный поток гидрографической сети и рельефа водоупора, повторить с наложением на модель инфильтрационных вод и полученные гидроизогипсы сравнить с результатами прежних исследований, то по разным положениям депрессионной поверхности легко оценить воздействие инфильтрации на грунтовые воды.

Влияние неоднородной водопроницаемости слоев оценивается следующим образом. Создается модель, наиболее полно отражающая природные условия, т.е. гидрографическую сеть, инфильтрацию, рельеф водоупора, различную водопроницаемость пластов в плане и по глубине. Определенные при этих условиях гидроизогипсы сравниваются с полученными при прочих равных условиях для однороднопроницаемой области фильтрации. Затем в неоднородной области фильтрации для каждого водоносного горизонта строятся карты гидроизопьез. Желательно карты гидроизогипс и гидроизопьез строить для случаев, когда горизонты воды в реках и интенсивность инфильтрации соответствуют характерным по водности годам (среднемноголетнему, максимальному и минимальному), а также для отдельных или характерных месяцев указанных лет. Полученные карты позволят для различных периодов определить скорости движения фильтрационного потока, подсчитать статические запасы и динамические ресурсы грунтовых и подземных вод, установить взаимосвязь грунтовых

вод через слабопроницаемые пласты, выявить области питания и разгрузки артезианских бассейнов, подсчитать движения потоков грунтовых вод и т.д.

По полученным картам можно изучить водопроницаемость отдельных зон или средний коэффициент фильтрации для всей рассматриваемой области. С этой целью на карту гидроизогипс, построенную для случая отсутствия инфильтрации (например, для периода конца зимней межени), наносятся изобаты – линии равных глубин фильтрационного потока, а также линии тока.

Карту линий тока можно построить графически на основании карты гидроизогипс или по методу ЭГДА. В последнем случае во всех истоках рек задаются приведенные потенциалы $U_z = 0$, а в гидрометствореах и в устьях рек – приведенные потенциалы пропорциональны расходам в этих сечениях. По замеренным на электропьезометрах приведенным потенциалам строится карта эквипотенциальных линий. Последние явятся линиями тока грунтового потока, соответствующими различной инфильтрации и различным горизонтам воды в реках.

Прогноз грунтовых и подземных вод в связи с созданием крупных водохранилищ легко получить из сравнения результатов исследования региональной фильтрации на одной модели. При этом сначала изучают ее при наличии гидрографической сети и горизонтов воды в ней в предположении отсутствия водохранилищ, а затем на той же модели – при наличии водохранилищ. В последнем опыте изменяют лишь граничные условия, т.е. на модель накладывают шины, имеющие в плане очертания уреза воды в водохранилищах, равные по площади зеркалу воды водохранилищ в соответствующем масштабе и несущие приведенный потенциал, отвечающий абсолютной отметке горизонта воды водохранилища.

Различные положения депрессионных поверхностей в первом и втором опытах укажут на влияние водохранилищ на фильтрационный поток.

Для исследования характеристик пространственного регионального фильтрационного потока нами были разработаны принципиальные электрические схемы шести установок ЭГДА, позволяющие учитывать все геофизические факторы, действующие на больших территориях. Такие установки работают на переменном токе технической и звуковой частоты. Разработаны две электрические схемы установок ЭГДА с фазочувствительными указателями равновесия моста. Запроектирована и изготовлена установка ЭГДА, работающая на переменном и постоянном токе. Эта установка при помощи потенциометра позволяет задавать в модели 540 различных значений напоров (потенциалов), а с помощью коммутатора измерять с точностью до 0,02% значения напорной функции в 7500 точках модели области фильтрации.

На указанной установке выполнен ряд экспериментов по изучению регионального фильтрационного потока. На одной из моделей исследуемая территория составила свыше 437 тыс.кв.км. Мощность проницаемого слоя изменялась от 150 до 4000 м. В 311 реках моделировались горизонты воды.

Модель области фильтрации, выполненная в масштабе 1:1000000, включала большую часть Днепровско-Донецкой впадины, Приазовский кристаллический массив, Донецкий бассейн, восточную часть Причерноморской впадины, юго-западный склон Воронежского массива и южную часть Русской платформы.

Для такой модели был определен календарный год (1947), близкий по водности к среднему гидрологическому году, и для него получены методом ЭГДА карты гидроизогипс грунтовых вод пространственной однородной

области фильтрации с учетом гидрографической сети и горизонтов воды в ней, а также сложной формы водоупорных и депрессионных поверхностей. Для выяснения влияния на фильтрационный поток крупных водохранилищ исследования проводились в двух сериях: при наличии и при отсутствии Цимлянского, Каховского и Днепровского водохранилищ.

Депрессионные поверхности, выведенные на установке ЭГДА, сравнивались с теми, которые получены в натуре при бурении скважины на воду. При сопоставлении оказалось, что средние глубины залегания грунтовых вод от поверхности земли, полученные по карте гидроизогипс, построенной методом ЭГДА, и по карте ВСЕГИНГЕО отличаются друг от друга на I, 7, I8, 22%. Такие же сравнения были проведены еще по 30 профилям, имеющим общую длину более I0000 км. Результаты сравнения также оказались удовлетворительными.

Таким образом, сравнение экспериментальных данных с натурными показало, что в дальнейшем, пользуясь разработанным методом исследования и предложенной установкой ЭГДА, можно построить карты гидроизогипс безнапорного грунтового потока для всей территории СССР (включая и малоизученные районы) и карты гидроизопьез главнейших артезианских бассейнов. При наличии указанных карт можно решать многие важные народнохозяйственные вопросы, в частности:

а) улучшение методов прогнозирования стока и уровенного режима грунтовых вод;

б) определение величины грунтового питания рек;

в) подсчет потерь грунтовых вод в моря и крупные водоемы (уточнение уравнения водного баланса на территории СССР);

г) обеспечение более правильного производства гидромелиоративных, водноэнергетических, водохозяйственных, гидрологических, гидрогеологических и гидротехнических расчетов;

д) выявление площади подтопляемых и заболачиваемых земель при строительстве водохранилищ;

е) при разработке водноэнергетической схемы комплексного использования бассейнов крупных рек и выборе вариантов наиболее рационального расположения гидроузлов.

Указанные карты позволят более точно производить экономическую оценку сооружений, определить стоимость добычи и использования подземных вод; при водоснабжении, орошении и обводнении - установить дебит скважин, оптимальное их расположение, рациональную производительность насосов и необходимую мощность моторов.

Карты гидроизогипс и гидроизопьез необходимы также для подсчета величины испарения с зеркала грунтовых вод, проведения районирования грунтовых и подземных вод, изучения грунтовых и подземных вод как минеральных богатств СССР.

Можно указать на многочисленные вопросы из области ирригации, мелиорации, питьевого и промышленного водоснабжения и из многих других отраслей народного хозяйства, при решении которых применение карт гидроизогипс и гидроизопьез даст возможность получать более точные и экономичные результаты.

Однако составлению таких карт должна предшествовать большая подготовительная работа, заключающаяся:

а) в определении поверхности кристаллического фундамента, могущего служить водоупором при создании модели региональной области фильтрации, а также конфигура-

ции и мощности различных водоупорных слоев, разделяющих артезианские бассейны подземных вод СССР;

б) в разбивке территории СССР на большие речные бассейны и провинции и определении для них граничных условий, изолиний инфильтрации и гидрогеологических разрезов. Первый вариант разбивки территории СССР на регионы представлен на рис.I. Для ряда регионов уже построены карты гидроизогипс грунтового потока. Такие карты получены для междуречий Днепра и Дона (регион 8, площадь 437 тыс. км^2), а также Амударьи, Сырдарьи и Зарафшана (регион 30, площадь 500 тыс. км^2); для Кулундинской степи (регион 41, площадь около 100 тыс. км^2) и для Северной части Карельского перешейка (часть региона);

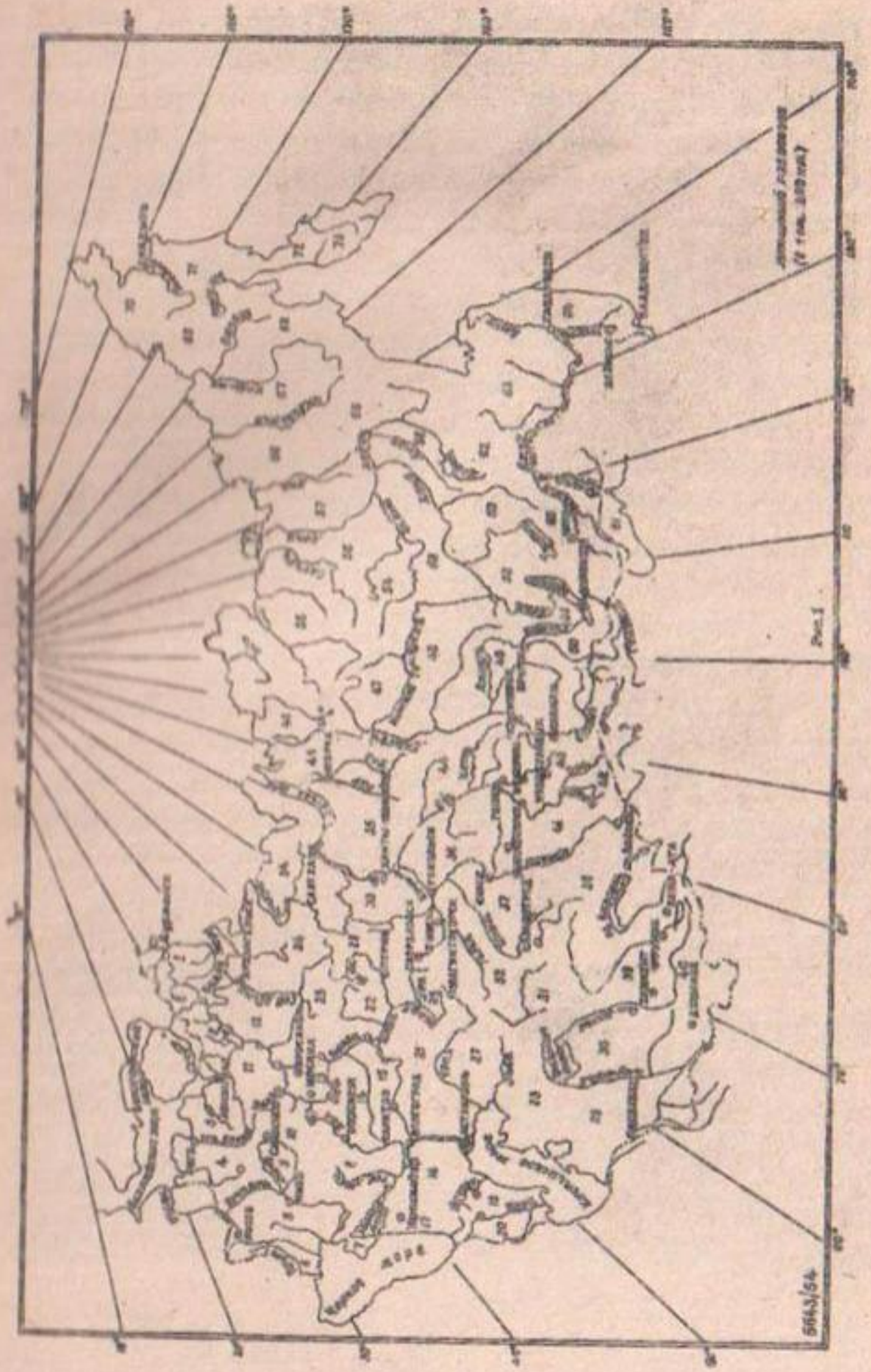
в) в выявлении коэффициентов фильтрации, а также водоотдачи горных пород.

Определение фильтрационных свойств горных пород - большая и сложная проблема, изучать которую необходимо в контакте с научно-исследовательскими и проектно-изыскательскими организациями (ВСЕГЕИ, ВСЕГИНГЕО, ВИМС, ВОДГЕО, Почвенным институтом, Всесоюзным и Республиканским трестами, их гидрорежимными экспедициями и опорными гидрогеологическими партиями, а также геологическими и гидрогеологическими партиями различных комитетов, министерств, ведомств и служб).

Параллельно с исследованием фильтрационных характеристик грунтов по фондовым материалам необходимо разрабатывать теоретические методы расчета и совершенствовать способы полевых определений коэффициентов фильтрации, водоотдачи, а также недостатка насыщения пород.

Заключение

Современный уровень научных исследований в области гидромелиорации земель и водного хозяйства еще не



полностью удовлетворяет запросам сельскохозяйственного и водохозяйственного производства, особенно по таким проблемам, как повышение коэффициента полезного действия ирригационных и осушительных систем, борьба с засолением и заболачиванием, двустороннее регулирование водного режима, составление прогнозов уровня грунтовых вод и сроков полива сельскохозяйственных земель в зависимости от метеорологических условий, разработка теоретических и экспериментальных методов исследования и законов движения воды в глинистых почвах, изучение и охрана вод от загрязнения и истощения и др.

Решением указанных проблем должны заниматься специальные лаборатории математического моделирования, основным средством и орудием исследования в которых является метод ЭГДА, а также электронные аналоговые и цифровые вычислительные машины.

Подобные лаборатории за последнее время организованы в ряде научно-исследовательских, учебных и проектных институтов, например в Институте гидродинамики Сибирского отделения АН СССР, Рижском политехническом институте, Гидропроекте, Институте кибернетики АН УССР, в Московском и Киевском госуниверситетах, в НИИ строительной физики, СевНИИГиМе и др.

В программу и тематику таких лабораторий должно входить следующее:

а) развитие математических методов исследования фильтрации, изучение сложных фильтрационных потоков на больших территориях, а также в районах действия мелиоративных и ирригационных систем, исследование фильтрации из водохранилищ (сюда входит определение потерь воды на фильтрацию из водохранилищ и разработка методов по защите территории от затопления и подтопления водохранилищ);

б) применение метода ЭГДА и электронных цифровых вычислительных машин (ЭЦВМ) к решению задач неустановившейся фильтрации, фильтрации в тонкодисперсных грунтах и в условиях изменяемой пористой среды;

в) применение метода ЭГДА с целью развития, удешевления и совершенствования гидрогеологических изысканий для гидромелиоративного строительства и повышения точности определения фильтрационных характеристик грунтов;

г) разработка новой аппаратуры, приборов и установок ЭГДА и электропроводных материалов;

д) установление точности определения методом ЭГДА основных характеристик поля модели фильтрационного потока.

Изучение сложных фильтрационных потоков на больших территориях, а также в районах расположения водохранилищ, гидроузлов, осушительных и оросительных систем диктуется быстрым развитием мелиоративного, гидротехнического, промышленного и транспортного строительства, строительством гидросооружений на нескальных грунтах и трещиноватых скальных основаниях, созданием каскадов крупнейших водохранилищ, сети осушительных, оросительных и обводнительных каналов, охватывающих территории в десятки и сотни тысяч квадратных километров, переформировывающих грунтовое питание бассейнов ряда крупных рек и влияющих на все отрасли народного хозяйства. Эти исследования диктуются также необходимостью изучения водных богатств Советского Союза и разработкой генеральной схемы комплексного использования подземных и поверхностных вод страны на ближайшие десятилетия. Необходимо отметить, что долгое время при проектировании гидроузлов учитывались главным образом интересы энерге-

тики и судоходства и, как правило, игнорировались интересы водоснабжения, сельского хозяйства (осушение, орошение), рыбного и лесного хозяйства и другие вопросы комплексного использования водных ресурсов. Это привело к тому, что многие проекты крупнейших ГЭС составлены без учета комплексного использования водных ресурсов обширных районов страны. Яркий пример неудачного решения - проект создания Нижнеобской ГЭС с водохранилищем в 113 тыс. км^2, затопляющим большие лесные массивы и богатейшие месторождения нефти, газа, угля и торфа.

Ясно, что решение проблем комплексного использования водных ресурсов СССР и рационального употребления запасов водохранилищ имеет особое значение.

Подземный поток находится в непрерывном движении, изменяются его формы, скорости течения и расходы. Изменение во времени характеристик потока зависит от многих природных факторов: климатических (величины и характера осадков, температуры и влажности почвы и воздуха, направления и силы ветра, интенсивности солнечной радиации); почвенно-геологических (мощности и формы слоев грунта, коэффициентов фильтрации, водоотдачи, недостатка насыщения, интенсивности инфильтрации); топографических и геоморфологических (уклона, строения и рельефа местности); гидродинамических (высоты расположения, диаметра и шага дрен, нормы осушения); гидрографических (частоты и глубины вреза рек); физики почв (гранулометрического состава, агрегатного состояния и строения почв и грунтов). Поэтому изучение неустановившихся движений грунтовых потоков - актуальная проблема.

Существующие в настоящее время электрические моделирующие устройства на сплошных средах позволяют моделировать главным образом установившиеся потоки. Для изу-

чения неустановившихся движений соответствующие электрические модели до сих пор разработаны мало, применяемые же гидроинтеграторы (проф.Лукьянова) и щелевые лотки имеют ряд существенных недостатков, сильно ограничивающих область их применения и круг решаемых задач. Поэтому для решения вышеуказанных проблем особое значение имеет разработка математического моделирования, а также новой аппаратуры, приборов и установок ЭГДА, автоматизирующих, визуализирующих и механизирующих снятие электрических характеристик поля модели сложного пространственного установившегося и неустановившегося фильтрационного потока или регионального потока грунтовых вод.

Сложность граничных условий и объемная область исследований предъявляют особые условия к электропроводному материалу модели в отношении сохранения постоянства электрических свойств во времени, возможности искусственного изменения удельной электропроводности материала в широких пределах, отсутствия сопротивления слоев с шинами или другими слоями, обладающими различными проводимостями. Естественно, такой материал должен позволять создавать зоны, обладающие анизотропной электрической проводимостью, изготовлять пространственные (объемные) модели и осуществлять распределение электрического потенциала по линейному или по какому-либо другому закону, действующему в реальных условиях.

Процесс отыскания электропроводного материала с указанными свойствами - длительный и трудный. Он не окончен и в настоящее время, так как до сих пор не найден материал, удовлетворяющий полностью названным требованиям.

Учитывая сказанное выше, шестое координационное совещание по фильтрации [4] отметило настоятельную необходимость разработки рациональной конструкции прибора,

предназначенного для электрического моделирования неустановившихся фильтрационных потоков, развития основных видов математического моделирования ... и, прежде всего, сплошных и сеточных моделей ЭГДА, рекомендовало усилить поиски и изучение новых электропроводных материалов, обладающих электронной изотропной и анизотропной проводимостью и высокой стабильностью электрического сопротивления, например, анизотропной электропроводной бумаги, металлических тканей и сеток, высокополимерных электропроводных пленок и пластиков, электропроводных красок и лаков, обладающих высокой однородностью и устойчивостью электрических сопротивлений.

В числе основных вопросов, требующих первоочередной разработки, совещание отметило также следующие:

применение счетно-решающих машин для расчетов фильтрации;

определение фильтрационных характеристик (коэффициентов фильтрации, водоотдачи и др.) по результатам математического моделирования и данным гидрогеологических изысканий;

расширение применения методов математического моделирования к изучению грунтовых и подземных вод на больших территориях с целью использования их для осушения территорий, водоснабжения, орошения полей и создания подземных водохранилищ.

Следовательно, для лабораторий математических методов моделирования можно рекомендовать следующую программу исследований.

П р о б л е м а I. Исследование на электрических моделях в условиях недеформируемых грунтов установившейся пространственной фильтрации в районах гидромелиоративных систем и гидросооружений.

Проблема включает:

Разработку новых теоретических и экспериментальных способов исследования пространственных движений грунтовых вод в сложных гидрогеологических условиях при наличии разветвленной сети осушительных и ирригационных каналов.

Определение оптимального расположения и воздействия на грунтовый поток дренажных систем, сооружаемых в неоднородных грунтах при наличии инфильтрации различной интенсивности.

Разработку рациональных размеров подземного контура гидросооружений, возводимых на неоднородных грунтах, и т.д.

П р о б л е м а II. Исследование на электрических моделях региональных фильтрационных потоков.

В проблему входит:

Разработка новых теоретических и экспериментальных способов исследования движения грунтовых вод на больших территориях в связи с проектированием комплексного водноэнергетического использования бассейнов крупных рек и снижением стоимости гидромелиоративного строительства. Изучение влияния крупных водохранилищ на уровень грунтовых вод прилегающих территорий.

Построение карт гидроизогипс ряда речных и гидроизопьез важнейших артезианских бассейнов. Разработка методов по инженерной защите территорий от затоплений и подтоплений водами водохранилищ.

Разработка способа составления на электрической модели перспективных схем водохранилищ и расположения гидроузлов в свете комплексного использования водных ресурсов крупных речных бассейнов.

Исследование методом ЭГДА формирования подземных вод и выяснение генетических связей их с поверхностными водами. Установление естественных запасов и динамических

ресурсов подземных вод. Выяснение количественных характеристик подземного потока отдельных регионов. Определение причин заболачивания обширных территорий, например Западно-Сибирской низменности, Барабы, Колхиды, Полесья, Ленкорани, Мещеры и др. и разработка мер борьбы с этим явлением. Изучение величины подпитывания водами артезианских бассейнов обширных заболоченных районов Европейской и Азиатской части РСФСР с целью разработки мероприятий по осушению таких территорий. Определение зависимости подземных вод от климатических условий.

П р о б л е м а III. Разработка методов исследования на электрических моделях сложных пространственных неустановившихся фильтрационных потоков при наличии мелиоративных систем и водохранилищ.

Проблема включает:

Изучение методом ЭГДА пространственных фильтрационных безнапорных потоков при неустановившемся режиме, вызванном различными методами полива земельных участков, наполнением или сработкой водохранилищ и оросительных каналов или работой водопонизительных установок в строительных котлованах.

Изучение методом ЭГДА движения фильтрационного потока в условиях изменения во времени и по координатам коэффициента фильтрации грунтов (случаи засоления и рассоления почв, наличия механической или химической суффозии грунта, механического или биологического кольматажа дренажных устройств и т.п.), а также влияния волнения водохранилища на элементы фильтрационного потока в теле и основании земляных защитных дамб.

П р о б л е м а IУ. Разработка методов исследования на электрической модели региональной неустановив-

нейки фильтрации. В проблему входят:

Разработка на электрической модели способов расчета и прогнозирования уровенного режима грунтовых вод в речных бассейнах при создании каскадов водохранилищ, осушении и орошении крупных земельных массивов, методов моделирования инфильтрации, конденсации, испарения при исследовании региональных неустановившихся потоков грунтовых вод, а также математического моделирования фильтрации в гидравлически связанных пластах.

Изучение режима грунтовых вод в зоне заболачивания при водохранилищах. Исследование и разработка мероприятий по созданию и народнохозяйственному использованию подземных водохранилищ.

П р о б л е м а У. Развитие математических методов исследования фильтрации.

Проблема включает:

Применение методов ЭГДА к изучению движения фильтрационного потока за пределами применимости закона Дарси (случаи движения потока в крупнозернистых и тонкодисперсных грунтах и в трещиноватых породах).

Разработку критериев подобия при математическом моделировании движения вязко-пластических жидкостей.

Применение метода ЭГДА при гидрогеологических изысканиях и исследованиях, проводимых для обоснования проектов мелиорации земель и строительства гидросооружений.

Определение фильтрационных характеристик (коэффициентов фильтрации, водоотдачи и др.) по результатам математического моделирования и данным гидрогеологических изысканий.

П р о б л е м а УI. Изыскание электропроводных материалов и разработка методов автоматической регистра-

ции параметров поля на электрических моделях.

В проблему входят:

Разработка и изучение новых электропроводных материалов, применяемых при математическом моделировании фильтрации.

Разработка методов автоматической регистрации и визуализации основных электрических характеристик модели пространственного и регионального потоков.

Разработка вопросов точности исследования методом ЭГДА основных характеристик поля модели фильтрационного потока (пространственного в районах гидроузлов и регионального на территориях, примыкающих к крупным водохранилищам или каскаду водохранилищ и имеющих сложные осушительные или оросительные системы каналов).

П р о б л е м а УП. Внедрение результатов научных исследований в практику гидромелиоративного строительства.

Проблема включает:

Разработку нормативных документов (ТУ и Н, рекомендаций, инструкций и руководящих указаний) по фильтрационным расчетам гидромелиоративных систем и математическому моделированию фильтрационных потоков.

Составление монографий, технической информации, научных статей и аннотаций по расчетам и математическому моделированию фильтрации.

Оказание научно-технической помощи работникам научно-исследовательских и учебных институтов, проектных, строительных и эксплуатационных организаций путем консультаций, экспертиз проектов, заключений и проведения исследований особо сложных фильтрационных потоков в проектируемых и строящихся мелиоративных системах.

Названные проблемы представляют собой укрупненную общую картину необходимых исследований.

Некоторые из названных вопросов уже изучаются и при этом основательно, другие только начаты, третьи должны изучаться в ближайшее время и в перспективе.

Изложенная программа требует обширных исследований различных учреждений, должной их согласованности и регулярной координации.

Литература

I. Дружинин Н.И. Метод электрогидродинамических аналогий и его применение при исследовании фильтрации. М.-Л., Госэнергоиздат, 1956, стр.1-356.

2. Дружинин Н.И. Изучение региональных потоков подземных вод методом электрогидродинамических аналогий. "Недра", М., 1966, стр.1-336.

3. Дружинин Н.И. Развитие метода ЭГДА в применении к исследованиям фильтрации на больших территориях. Диссертация, т.I,II. Институт механики АН СССР, 1956.

4. Шестое координационное совещание, посвященное вопросам моделирования фильтрационных процессов и координации планов научно-исследовательских работ на 1963-1964 гг. Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып.XXI, М.-Л., изд."Энергия",1965,стр.1-236.

У.Ю.ПУЛАТОВ

К ВОПРОСУ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

В свете решений майского (1966 г.) Пленума ЦК КПСС "О широком развитии мелиорации земель для получения высоких и устойчивых урожаев зерновых и других сельскохозяйственных культур" важное значение приобретают работы по уменьшению потерь воды из каналов. В постановлении Пленума отмечается недопустимость принижения значения проведения мероприятий по уменьшению потерь воды в оросительных системах.

Вопросу предотвращения фильтрации воды из ирригационных каналов до последнего времени не уделялось должного внимания. Несмотря на большие работы по освоению новых и мелиоративному улучшению существующих поливных земель, проводимые в Голодной степи и других крупных орошаемых массивах, протяженность межхозяйственных каналов, имеющих противофильтрационную одежду, не превышает в СССР и двух процентов общей длины [1].

Облицованные же каналы имеют в основном бетонную и железобетонную одежду, трудоемкую в изготовлении и сравнительно дорогую по стоимости.

Для облицовки оросительной сети монолитным бетоном отсутствуют машины по планировке, уплотнению и бетонировке дна и откосов канала.

При использовании сборного железобетона необходимо тщательно заделывать швы между элементами конструкции, без этого теряется общий эффект от его применения. Необходимость выполнения этой операции вручную - один из недостатков подобного типа одежды. Поэтому вопросу изыскания более дешевых и эффективных способов борьбы с фильтрацией воды из каналов уделяется серьезное внимание.

Наиболее простой и дешевый способ уменьшения фильтрации – облицовка каналов уплотненным грунтом.

Известны два способа облицовки смоченного периметра каналов уплотненным грунтом: ударное уплотнение грунта ненарушенной структуры и уплотнение грунта нарушенной структуры послойной укаткой.

При первом способе, разработанном и исследованном в Советском Союзе, на поверхность канала ударно воздействуют специальные трамбующие устройства [2]. В результате по смоченному периметру канала образуется грунтовой экран толщиной до 1,5 м, с плотностью, значительно превышающей плотность грунта естественного залегания.

При втором, применяемом в США, экран по дну и откосам канала устраивается из грунта с послойной укаткой, на манер строительства плотин и дамб; выемка канала в этом случае отрывается больших размеров на величину толщины экрана. Если величина канала имеет малые параметры и он проходит в насыпи, последняя возводится послойной укаткой, а затем в уплотненной дамбе вырезается проектное сечение выемки [3].

Ударное уплотнение каналов впервые предложено и изучено как средство уменьшения потерь воды на фильтрацию бывшим Закавказским научно-исследовательским институтом водного хозяйства (ЗНИИВХ) в 1940–1941 гг. [4]. В последующие годы, особенно начиная с 1950 г., широкие исследования этого вопроса продолжались в АзНИИГиМе, КазНИИГиМе, УкрНИИГиМе, САНИИРИ и других научно-исследовательских и проектных организациях.

В 1951 г. Министерством сельского хозяйства СССР и бывш. Министерством хлопководства СССР были утверждены технические требования на конструирование оборудования для уплотнения грунта в каналах, составленные АзНИИГиМом.

На основании указанных требований в период 1954-1956 гг. были изготовлены для ударного уплотнения каналов опытные экземпляры машин под индексами С-325, ТП-9-505, Д-302А и ВТ-АзНИИГиМ. Межведомственная комиссия, созданная Госстроем СССР, в 1956 г. провела приемочные испытания этих машин и рекомендовала выпустить опытную партию.

ЦК КПСС и Совет Министров постановлением "О мерах по обеспечению комплексной механизации работ в хлопководстве" (1959 г.), исходя из решений межведомственной комиссии, поручило Советам Министров РСФСР, Украинской ССР, Узбекской ССР и Азербайджанской ССР обеспечить на своих предприятиях производство машин для уплотнения грунта в каналах.

В 1959-1960 гг. согласно этому постановлению была изготовлена партия грунтоуплотняющих машин: пневмомолот С-325, на базе полукубового экскаватора; трамбующая плита ТП-9-652; каток с падающими грузами Д-390 (модернизированный каток Д-302) и вальцовая трамбовка ВТ-АзНИИГиМ. Эти машины прошли государственные испытания на различных объектах орошаемых районов страны - УзССР, АзербССР, УССР и РСФСР.

Испытания выявили ряд конструктивных и технологических недостатков и упущений в компоновке грунтоуплотняющих машин, и ни одна из них не была признана вполне работоспособной, так как не удовлетворяла всем требованиям качественного уплотнения грунта ненарушенной структуры, слагающего ложе канала.

Машины С-325 и ТП-9-652 были признаны полностью непригодными; ВТ-АзНИИГиМ допускалась после исправления отмеченных недостатков, как временное средство уплотнения грунта на откосах канала, а каток Д-390 после устра-

нения конструктивных недостатков предполагалось использовать для уплотнения дна крупных каналов и послойного уплотнения насыпных сооружений.

Различное высотное расположение каналов относительно поверхности земли, большой диапазон изменения параметров каналов в поперечном сечении, значительная крутизна их боковых стенок осложняют и затрудняют выполнение работ машинами.

Без глубоких и всесторонне научных проработок вопросов технологии и механизации осуществляемого процесса, а также исследований отдельных рабочих органов, узлов и агрегатов машины нельзя надеяться на возможность создания эффективных и работоспособных средств для производства противофильтрационных работ.

Брянскому заводу дорожных машин предложено в 1967 г. изготовить и испытать, а в 1968 г. приступить к серийному производству машин для уплотнения откосов и дна ирригационных каналов глубиной до 3,0 м, шириной по дну 0,4–2,5 м на базе трубоукладчика Т-35-60.

Из сказанного видно, что ударное уплотнение грунта непарушенной структуры по дну и откосам каналов, несмотря на более чем двадцатилетнее исследование и очевидную эффективность, не вышло все еще из стадии опытной проверки.

Второй способ облицовки каналов – послойное уплотнение грунта нарушенной структуры – широко применяется в ирригационной практике США. Строительство подобных облицовок ничем не отличается от обычного возведения укатанных земляных насыпей. Средством механизации в этом случае служит стандартная техника, применяемая на земляных работах: экскаваторы, скреперы, бульдозеры и катки. Поэтому давно назрела необходимость проверки этого спосо-

ба в районах поливного земледелия нашей страны. Это, наряду с отработкой технологии и подбором соответствующего комплекса машин и механизмов, позволит выявить противофильтрационную эффективность и технико-экономические показатели подобных работ в наших условиях.

Остановимся вкратце на стоимости устройства облицовок и их антифильтрационной эффективности.

Ударное уплотнение ложа каналов находится все еще в стадии экспериментальной проверки, опыт широкой производственной апробации отсутствует, поэтому ниже приводятся данные научно-исследовательских организаций, полученные при изучении трамбования ложа каналов.

По данным САНИИРИ, в голодностепских грунтах фильтрации из каналов после ударного уплотнения вальцовой трамбовкой уменьшается в 2-7 раз при стоимости работ 0,15 руб. за один квадратный метр уплотненной поверхности. Аналогичные показатели получены в ЮжНИИГиМом при уплотнении мелких каналов с помощью штампа формы усеченного конуса [2].

В зависимости от типа грунта, его первоначальной влажности, количества затраченной работы и других показателей режима трамбования, антифильтрационная эффективность экрана и стоимость работ колеблются в больших пределах. Поэтому приведенные данные характеризуют затрагиваемый вопрос лишь приближенно.

Об антифильтрационной эффективности и стоимости работ при применении второго способа облицовки каналов уплотненным грунтом можно судить из конкретных примеров фактических затрат, но только из иностранного опыта.

Указанный тип облицовки обширно исследован в производственных условиях на двух крупных магистральных каналах: Фрайант-Керне и Дельте Мендота (штат Калифорния),

имеющих расходы более 100 м^3/сек каждый.

Из общей протяженности канала Фрайант-Керн в 257 км неармированным бетоном облицованы 196 км и около 40 км - уплотненным грунтом. Канал Дельта Мендота имеет бетонную облицовку на длине 159 км, а земляную - 29 км.

Стоимость одного квадратного метра бетонной облицовки по этим каналам выразилась суммой 2,6-2,9 доллара, а земляной - 0,50-0,55.

Изучение потерь воды из канала Фрайант-Керн в период эксплуатации показало, что на участке с бетонной облицовкой в сутки теряется на одном километре длины канала 576 м^3 воды, а на участке с земляной облицовкой - 753.

По сравнению с пропускной способностью канала потери на фильтрацию - в общем незначительная величина. Фильтрация из земляной облицовки всего в 1,3 раза больше, чем из бетонной, тогда как стоимость первой почти в 5 раз ниже [3].

Из изложенного видно, что несмотря на наличие достаточного количества данных, характеризующих рассмотренные способы с положительной стороны, ни один из них не нашел применения в ирригационном строительстве нашей страны.

Настоящая статья, посвященная рассмотрению общего состояния вопроса уплотнения грунта в каналах, исходит из убежденности большой экономической и технической эффективности противофильтрационных одежд из грунта. Порукой этому - обширнейшие исследования, проведенные различными организациями в направлении использования земляных уплотненных экранов в противофильтрационных целях в Советском Союзе и за рубежом, а также работы САНИИРИ, выполненные на оросительных каналах Голодной степи в 1957-1960 гг.

Отделом организации и механизации водохозяйственных работ САНИИРИ ведутся поиски других, более эффективных, методов и средств уплотнения грунта естественного залегания с целью уменьшения потерь воды из каналов.

Мотивами, побудившими поиски иных способов уплотнения грунта ненарушенной структуры, послужили некоторые особенности, присущие методу поверхностного трамбования, несколько ухудшающие качество создаваемого противофильтрационного экрана и усложняющие процессы производства работ и контроль качества уплотнения.

Известно, что грунт уплотняется за счет уменьшения его объема под воздействием внешних сил, в рассматриваемом случае - энергии свободно падающей массы. При этом деформируется только верхняя часть полупространственного массива[I], в результате плотность грунта максимального значения достигает на поверхности или на близком от нее расстоянии по глубине. Таким образом, наиболее уплотненная часть экрана, будучи расположена вблизи дневной поверхности земли, разрушается под влиянием температурных и атмосферных воздействий, т.е. долговечность противофильтрационного экрана при этом уменьшается, а эффективность со временем падает.

Процесс трамбования состоит в последовательном приложении ударной нагрузки к поверхности уплотняемого грунта, т.е. к той части полупространственного массива, которая не защищена от постоянного прямого воздействия

I. "Если однородная масса ограничена сверху горизонтальной плоскостью, а снизу и по всем горизонтальным направлениям не ограничена, мы называем такой массив полупространством" [7].

переменных температур и атмосферных осадков. Благодаря этому уплотняемый грунт обычно находится в невыгодном или непригодном для трамбования состоянии (верхняя толщина его сильно переувлажнена в период осадков, сухая летом или мерзлая зимой).

Всякое целевое уплотнение грунта связано с доведением необходимой его толщи до определенной плотности. Для этого перед началом работ опытным путем устанавливается режим трамбования, позволяющий получить потребные параметры экрана.

Данные проекта контролируются специальной грунтовой лабораторией по величине объемного веса скелета грунта и толщине уплотненного слоя.

Контроль качества уплотнения при поверхностном трамбовании грунта естественного залегания отличается громоздкостью и большой трудоемкостью по сравнению с подобной работой, выполняемой при возведении послойно укатанных или намытых качественных насыпей. В рассматриваемом случае эта операция связана с необходимостью отрытия полутора-, двухметровых шурфов и отбора проб по глубине с последующей тщательной засыпкой мест вскрытия.

Отделом организации и механизации САНИИРИ предложен и исследован глубинный, скважинный способ уплотнения грунта ненарушенной структуры, свободный от недостатков, присущих поверхностному трамбованию.

Сущность указанного метода уплотнения состоит в том, что плотность полупространственного массива увеличивается пробивкой в нем скважин, заполняемых впоследствии грунтом или другим строительным материалом.

Относительно небольшая глубина пробиваемой скважины (до 1,0 м при диаметре 0,3-0,35 м) позволила совместить в одну деталь сваю и трамбовку; в этом случае

скользящая в вертикальных направляющих трамбовка имеет наконечник для устройства скважин.

Скважинное трамбование - один из видов ударного уплотнения - отличается от поверхностного сравнительно большим проникновением трамбовки в грунт, и в этом случае уплотнение происходит не только за счет вертикальных перемещений частиц грунта, но и за счет боковых горизонтальных смещений последних под воздействием заглубленного рабочего органа.

Благодаря этому зона уплотнения значительно превышает поперечные размеры рабочей части трамбовки, и в результате отпадает необходимость в сплошном покрытии ударом уплотняемой поверхности. Грунт уплотняется через определенный интервал, устанавливаемый в каждом отдельном случае в зависимости от исходной плотности грунта, необходимой степени уплотнения и поперечных размеров пробиваемой скважины.

Предлагаемый способ отличается от поверхностного трамбования тем, что при нем улучшается качество создаваемого экрана, увеличивается срок его службы, облегчается и упрощается технологический процесс производства работ и контроль качества уплотнения.

При скважинном уплотнении грунтовый экран скрыт от дневной поверхности на некоторой глубине, и максимального значения плотность грунта достигает на сравнительно отдаленных от поверхности расстояниях. Благодаря этому появляется возможность сохранить экран от разрушительных воздействий различных факторов, чем обеспечивается сравнительно длительный срок его службы. Нужная толщина экрана и его противофильтрационная эффективность достигаются простым увеличением глубины и густоты пробиваемых скважин.

Скважинный способ в значительной степени устраняет сезонность в производстве работ и во многих случаях исключает или облегчает трудоемкую операцию, связанную с доувлажнением или подсушкой грунта перед уплотнением. Дело в том, что трамбующий орган в этом случае, проникая в толщу грунта, производит глубинное уплотнение материка; влажность грунта здесь близка к оптимальной и состояние поверхностного слоя, восприимчивого к температурным и погодным изменениям, не оказывает существенного влияния на уплотнение.

Такая сложная, длительная и трудоемкая операция, как контроль качества уплотнения, связанная обычно с открытием шурфов и отбором проб грунта на объемный вес, сводится к простому измерению глубины и расстояния между скважинами, что значительно облегчает работу, не требует специального оборудования, квалифицированных кадров и, главное, делает контроль оперативным. Средства механизации для скважинного уплотнения и сам способ производства работ также просты и несложны.

Рекомендуемый способ уплотнения грунта позволяет одновременно с уменьшением фильтрации воды из каналов вести борьбу с растительностью и землеройки, которые разрушают экран. Для этого перед заполнением пробитых скважин грунтом на их дно необходимо ввести определенные дозы соответствующих ядохимикатов.

Рассмотренные в данной статье способы уплотнения грунта оросительных каналов благодаря ряду положительных качеств могут и должны найти широкое применение на ирригационном строительстве страны, как средство борьбы с потерями воды на фильтрацию.

Но для этого недостаточно простого перечисления достоинств и преимуществ рекомендуемых методов, какими бы

они не были заманчивыми и убедительными, без наличия соответствующих работоспособных производительных машин и механизмов.

Над решением указанной задачи, поставленной майским Пленумом ЦК КПСС, и работают в настоящее время отраслевые научно-исследовательские, конструкторские и проектные организации.

Литература

1. Противофильтрационная одежда ирригационных каналов. Перевод с английского. М., изд-во "Колос", 1965.

2. Уплотнение грунтов оросительных каналов в противофильтрационных целях и грунтоуплотняющие машины (обзор). Гипроводхоз, М., 1963.

3. Пулатов У.Ю. Облицовка ирригационных каналов уплотненным грунтом (из зарубежного опыта). "Сельское хозяйство Узбекистана", № 8, 1958.

4. Хлебников С.Г. Ударное уплотнение грунтов как противофильтрационное мероприятие для постоянных каналов и водоемов. Сб.статей "Способы борьбы с потерями воды на фильтрацию". М., Сельхозгиз, 1956.

5. Пулатов У.Ю., Пак С.Д., Островский Э.М. Опытно-производственные работы по ударному уплотнению на канале М-2. Материалы по производительным силам Узбекистана. Вып.15, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1960.

6. Терцаги К. Теория механики грунтов. М., Госстройиздат, 1960.

Ю.М.КУЗЬМИНОВ, Ю.Г.ИВАНЕНКО

К ВОПРОСУ О СТРУКТУРЕ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА В РУСЛАХ СТАТИЧЕСКОГО И ДИНАМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЙ

Русловые процессы существуют и развиваются в определенном диапазоне изменения транспортирующей способности потока. Как показывают наши исследования [2,3,4], границы этого диапазона характеризуют возможные формы равновесия русла в легкоподвижных грунтах.

При определенном количестве наносов, не влияющих на характер изменения параметров русловых форм, создается русло статического равновесия, частицы ложа которого находятся в стадии начальной подвижки. Такому состоянию водотока отвечают определенные геометрические формы и соответствующие им характеристики внутренней структуры потока.

Динамическому равновесию русла соответствуют также свои внешние параметры водотока и его внутренняя структура.

Водотоки с транспортирующей способностью выше предельной переходят в область неустойчивых русловых процессов, характеризующихся образованиями в виде развития меандр, деления его на рукава и т.д. Основные свойства, присущие устойчивым русловым процессам, можно сформулировать следующим образом:

а) сохранение прямолинейности динамической оси русла;

б) связь симметричной трансформации вертикальных и поперечных деформаций в сечении русла с его транспортирующей способностью;

в) изменение транспортирующей способности водотока в диапазоне, границы которого определяют возможные

формы равновесия русла в легкоподвижных грунтах, в статическую или динамическую.

Таким образом, различные качественные состояния руслового процесса в легкоподвижных грунтах полностью описываются двумя областями развития: устойчивой и неустойчивой. Диапазон устойчивой области, характеризующийся вышеприведенными признаками, определяется следующими критериальными значениями параметра формы русла [4]:

$$\frac{B}{h_{ср}} = \frac{6}{\mu} \div \frac{12}{\mu} \quad или \quad \frac{B}{h_m} = \frac{4}{\mu} \div \frac{10}{\mu},$$

где B – ширина водотока по урезу воды;

h_m – максимальная и $h_{ср}$ – средняя глубины водотока;

μ – tg угла естественного откоса под водой.

Качественные изменения внешних параметров русловых форм должны сопровождаться существенными изменениями в характеристиках внутренней структуры потока, так как эти процессы взаимообусловлены. Поэтому изучение внутренней турбулентной структуры потока для характерных русловых форм представляет значительный интерес. К таким формам мы относим русла статического и динамического равновесий в устойчивой области и русло, характерное для начальной стадии развития руслового процесса в неустойчивой области.

Кинематическую структуру потоков для характерных русловых форм исследовали в бетонном лотке с рабочей частью длиной 12 и шириной 1,5 м.

В лоток был засыпан мелкозернистый песок среднего диаметра – $d_{ср} = 0{,}21$ мм.

Русло статического равновесия формировалось расходом воды $Q = 8$ л/сек и после стабилизации поперечного сечения имело следующие размеры: $B = 75$ см, $\frac{B}{h_{ср}} = 14$.

В намеченном створе установившегося потока были закреплены три микровертушки (в центре и на расстояниях по 25 см от него), которыми фиксировались скорости в точке на I/3 соответствующей глубины от поверхности воды.

Микровертушки диаметром 6 мм через свои усилители с автономным питанием передавали импульсы на три шлейфа осциллографа. Таким образом осуществлялась синхронная запись мгновенных скоростей в трех точках потока. Постоянство характеристик микровертушек проверяли их тарировкой до и после опытов. Специальные подающие и приемные кассеты пленки позволяли вести непрерывную запись значений скоростей в течение I,5–2 час.

В результате статистической обработки осциллограмм построен график (рис.I,а), на котором по оси абсцисс отложено время непрерывной фиксации скоростей в трех точках потока в минутах, а по оси ординат – значения минутных осредненных скоростей.

Как видно из этого графика, характеризующего изменение скоростной структуры потока в русле статического равновесия, помимо небольших колебаний осредненных скоростей в пределах I–5 мин., можно отметить колебания большего порядка – спады и подъемы, исчисляемые десятками минут. Характерно, что подъем, т.е. увеличение скоростей в одной точке потока, вызывает соответствующий спад, т.е. уменьшение скоростей в другой точке, или одновременно в двух. Можно выделить также "узлы", где значения скоростей в трех точках становятся равными одному порядку, а затем расходятся, достигая своих экстремальных значений. Далее наблюдается образование или тенденция к образованию следующего узла.

Намечаемые на этом графике характерные участки хронограмм осредненных скоростей – подъемы, спады, узлы –

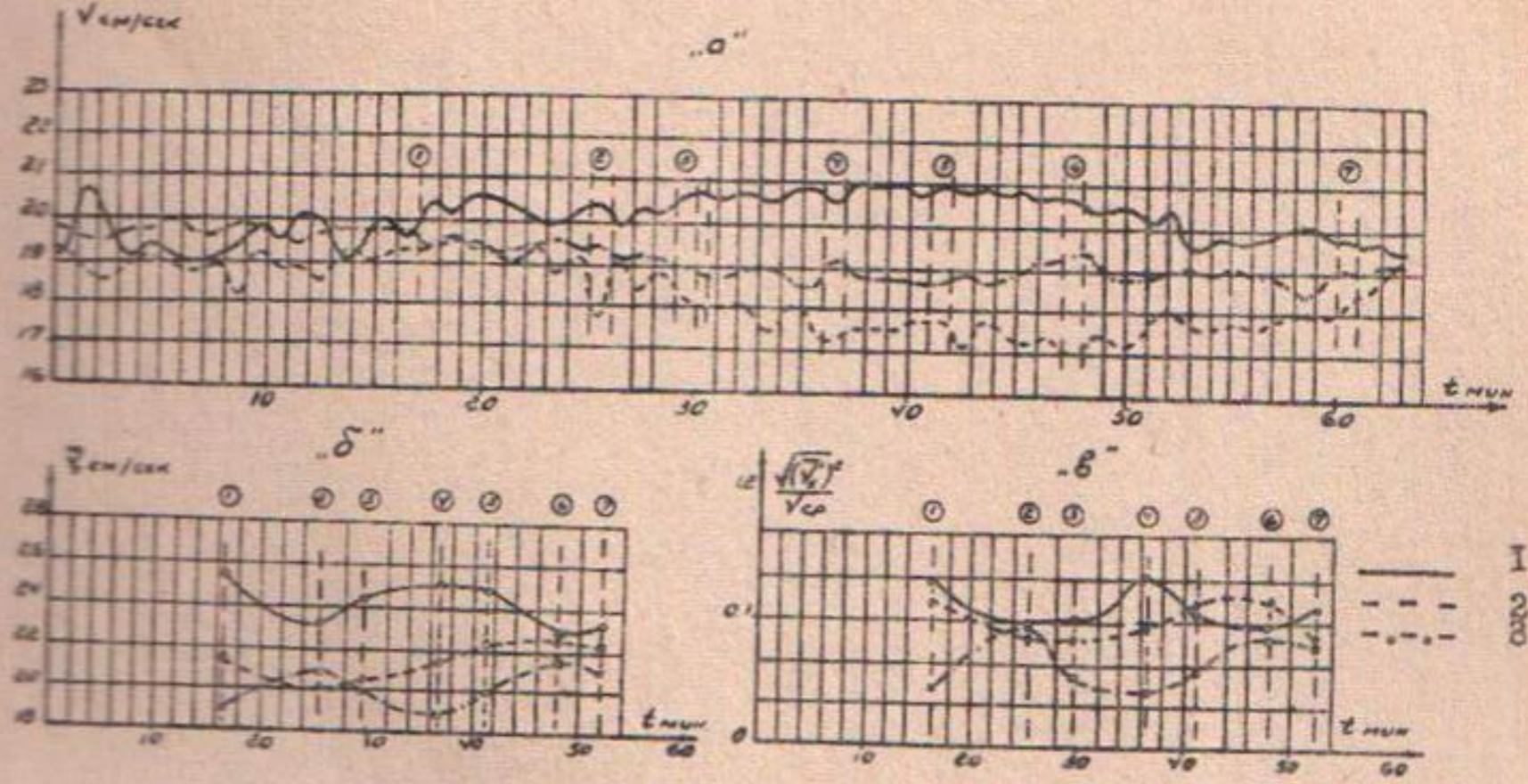


Рис.I "а" – график изменения осредненных скоростей в 3 точках потока в русле статического равновесия B = 75 см, $h_{ср}$ = 5,35 см, $\frac{B}{h_{ср}}$ = I4, Q = 8 л/сек, $V_{ср}$ = 20 см/сек;

"б" – график изменения локальных осредненных скоростей в участках I–7 хронограммы осредненных скоростей "а";

"в" – график изменения интенсивностей турбулентности потока в участках I–7 хронограммы осредненных скоростей "а". I– центр потока; 2– левый и 3–правый

обрабатывали вторично, это позволяло выявить микроструктуру потока внутри каждого такого участка. Для этого на осциллограмме исследуемого участка выбирались и статистически обрабатывались области с наибольшим разбросом мгновенных скоростей как по их абсолютному значению, так и амплитуде ("сгустки" и "разрежения" импульсов),т.е.внутри каждого участка определялись максимальные среднеквадратичные отклонения мгновенных скоростей, отнесенные к средней по сечению скорости потока ($V_{ср}$ = 20 см/сек) - интенсивности его турбулентности.

На графиках (рис.I б, в) показаны динамика изменения осредненных локальных скоростей описанных выше областей каждого участка и соответствующие им интенсивности турбулентности потока.

Анализ этих графиков позволяет установить не только положительную корреляцию во времени осредненных скоростей и интенсивностей турбулентности потока, но и максимальную амплитуду колебаний их значений на характерных участках хронограммы скоростей. Причем, на этих графиках наблюдается еще более закономерная картина, чем на хронограмме осредненных скоростей: увеличение интенсивности турбулентности $\frac{\sqrt{(\bar{V}'_x)^2}}{V_{ср}}$, например в центре потока (рис.I), вызывает соответствующее ее падение на бортах и наоборот, повышение $\frac{\sqrt{(\bar{V}'_z)^2}}{V_{ср}}$ на бортах влечет за собой падение $\frac{\sqrt{(\bar{V}'_z)^2}}{V_{ср}}$ в центре потока.

Далее при определенном насыщении потока наносами (песок, из которого сложено ложе) расходом воды Q = 8 л/сек формировалось русло динамического равновесия, близкое ко второй границе его существования, т.е.

$$\frac{B}{h_{ср}} \approx \frac{12}{\mu}$$

В сформированном русле после сглаживания гряд, что исключало их влияние на структуру потока, проводились опыты, аналогичные вышеописанным по изучению скоростной структуры потока.

Значения скоростей непрерывно фиксировались в том же створе и тех же сечениях, что и в русле статического равновесия, тремя вертушками, расположенными также на I/3 соответствующей глубины потока от поверхности воды.

Как видно из рис.2, динамика изменения во времени осредненных скоростей в трех точках потока в общем напоминает аналогичную в русле статического равновесия, но имеет и свои специфические особенности.

Так, проявление узлов на графике (рис.2) более четкое, и возникают они через меньшие интервалы времени.

Значительно больше амплитуда колебания как значений осредненных скоростей в одной точке потока, так и между ними в один и тот же интервал времени.

Например, осредненная скорость в центре потока колеблется от 29,5 см/сек (участок 5) до I8,5 (участок 9). Амплитуда расхождения данных осредненных скоростей в трех точках потока в один и тот же интервал времени достигает максимума на участке № 9, где значение минутной скорости в центре потока равно I8,5 см/сек, а по берегам - 28,5 и 29,5 см/сек.

На графике (рис.2) наблюдается более четко выраженная и продолжительная по времени тенденция к расслоению кривых скоростей в различных точках потока, что особенно видно на участках 7-9, где устойчивое падение и возрастание скоростей в центре потока влечет за собой соответствующее повышение и падение скоростей на бортах водотока.

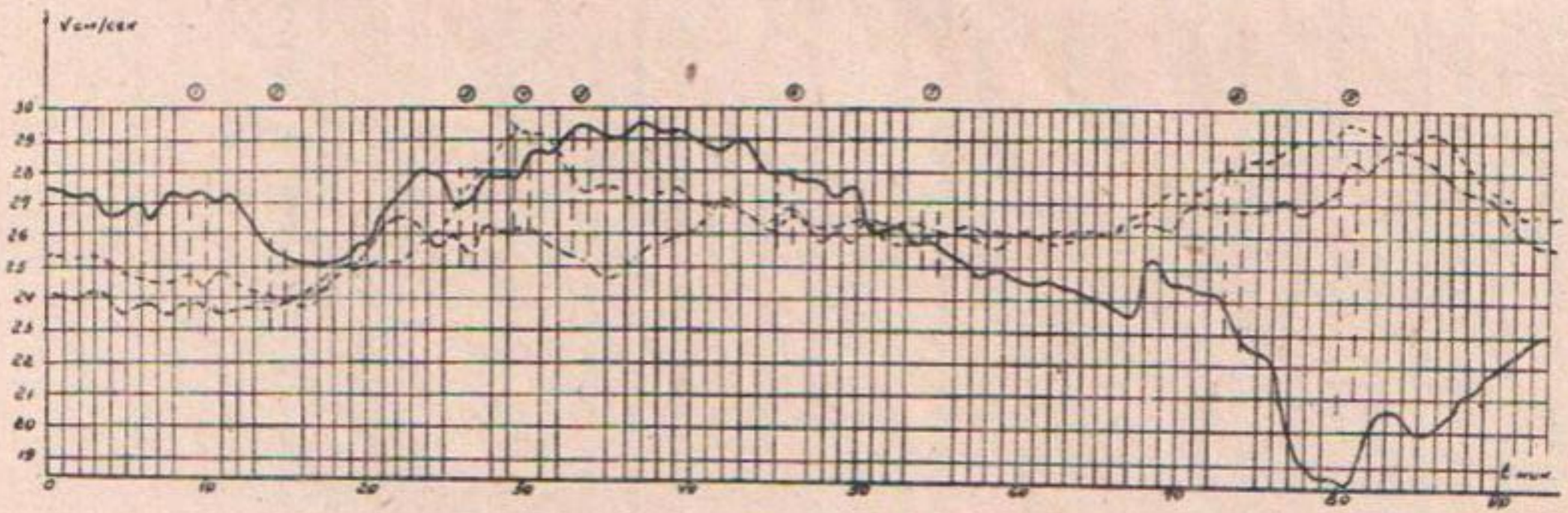


Рис.2 График изменения осредненных скоростей в 3 точках потока в русле динамического равновесия B = 98 см, $h_{ср}$ = 4,I см, $\frac{B}{h_{ср}}$ = 24, Q = 8 л/сек, $V_{ср}$ = 20 см/сек.

Условные обозначения те же, что и в рис.I.

Описанные особенности в осредненной скоростной структуре русла динамического равновесия можно отнести и к графикам, показывающим изменение локальных осредненных скоростей, а также интенсивностей турбулентности потока на участках I-9 (рис. 3, а и б).

Особый интерес представляет анализ графика изменения интенсивностей турбулентности потока. Если предположить, что движение крупных вихревых образований вдоль потока с поперечным масштабом турбулентности больше, чем глубина потока, то их прохождение в какой-то части поперечного сечения русла должно, по-видимому, сопровождаться определенным изменением в скоростной структуре другой части сечения.

Возможно, что такой вихрь, блуждающий по потоку, должен обладать более или менее однородной внутренней структурой, и такие его характеристики, как интенсивность турбулентности, локальные осредненные скорости, должны быть одного порядка и определенным образом отличаться от аналогичных характеристик области сечения потока, свободной от вихря.

Кроме того, обязательным условием существования такого вихря должно быть сохранение одинаковых значений этих характеристик в нескольких точках вихря в определенный интервал времени, после которого он распадается с передачей энергии пульсационному турбулентному движению.

Анализ графиков "а" и "б" (рис.3) подтверждает высказанные предположения о существовании блуждающих по потоку крупных вихрей, поперечный масштаб турбулентности которых может достигать половины ширины изучаемых потоков.

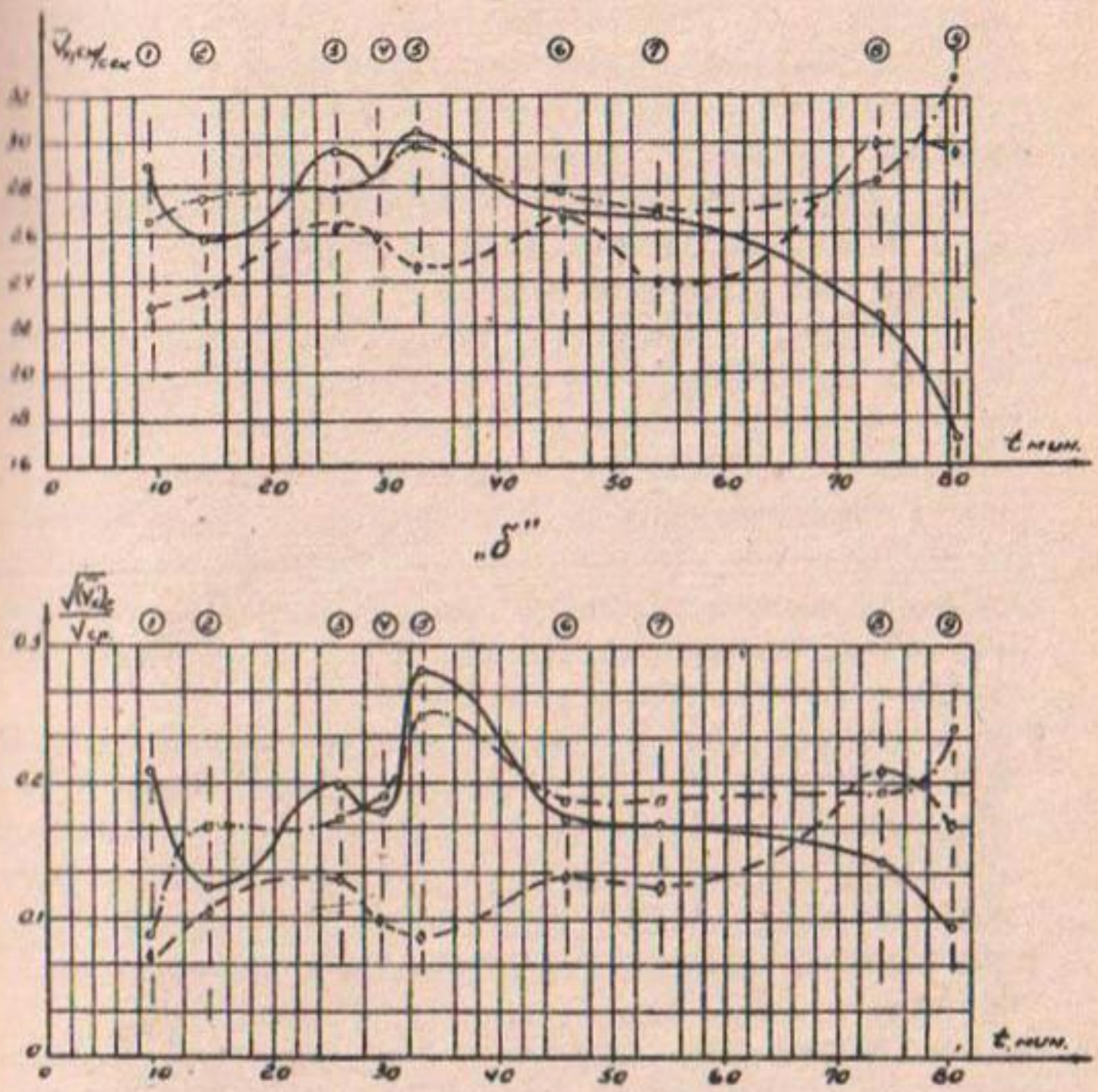


Рис.3 "а" – график изменения локальных осредненных скоростей в участках I–9 хронограммы осредненных скоростей русла динамического равновесия (рис.2); "б" – график изменения интенсивностей турбулентности потока в участках I–9 хронограммы осредненных скоростей русла динамического равновесия (рис.2). Условные обозначения те же, что и в рис.I и 2.

На участках 4–7 указанных графиков не только сохраняются приблизительно одинаковые значения описанных выше характеристик внутренней структуры потока, но и одна закономерность их изменения во времени (центр потока и правый берег) на участках I–3 (левый и правый берег).

Аналогичные участки можно выделить и на графиках "б" и "в" (рис.I): это I–2 (центр потока и левый берег) и 3–7 (левый и правый берег).

Интересно отметить, что ниже I/3 глубин описанных потоков подобные явления не наблюдаются и характер изменения осредненных локальных скоростей и интенсивностей турбулентности носит чисто случайный характер.

Следующий опыт по изучению внутренней структуры потока проводился уже в русле, характерном для начальной стадии неустойчивой области русловых процессов, т.е. ширина потока выходила за границу ($\frac{B}{h_{ср}} = \frac{12}{\mu}$) существования русла динамического равновесия.

В таком сформированном определенным насыщением наносов русле после стирания гряд отмечалось искривление динамической оси водотока, хотя русло сохраняло еще прямолинейную в плане форму. В результате аналогичных измерений скоростей в трех точках потока построен график "а" (рис.4), где приведено изменение осредненных минутных скоростей.

Как видно из графика (рис.4), в исследуемом русле с $\frac{B}{h_{ср}} = 34$ кривые хронограмм осредненных скоростей напоминают аналогичные в руслах статического и динамического равновесий с той лишь разницей, что здесь колебания (спады и подъемы) кривых скоростей носят более плавный и продолжительный по времени характер.

Видимо более установившийся характер прохождения вихревых образований в связи с появлением меандры нало-

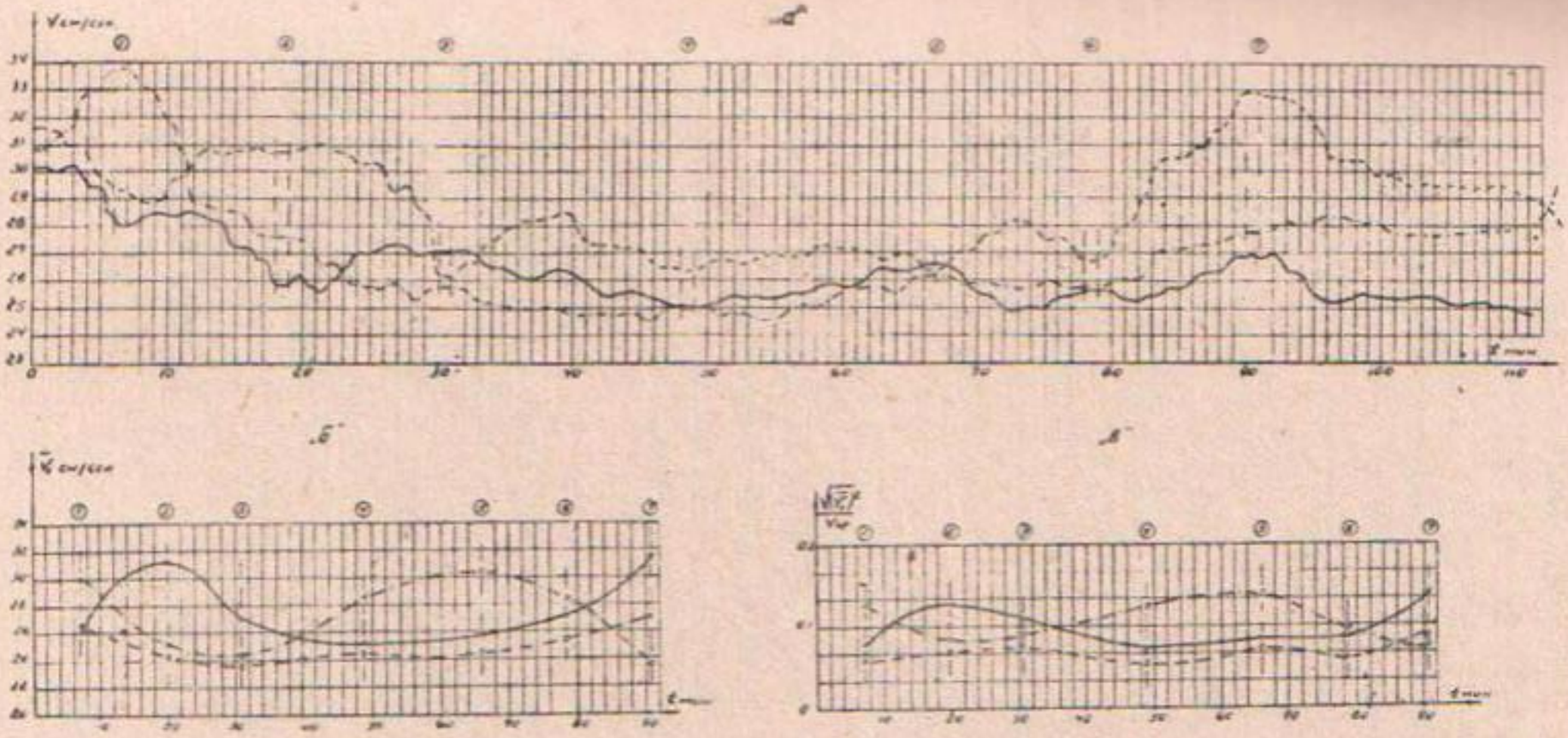


Рис.4 "а" – график изменения осредненных скоростей в 3 точках потока в русле неустойчивой области руслового процесса (начальная стадия), B = 115 см, $h_{ср}$ = 3,4 см, $\frac{B}{h_{ср}}$ = 34, Q = 8 л/сек, $V_{ср}$ = 20 см/сек; "б" – график изменения локальных осредненных скоростей в участках I–7 хронограммы осредненных скоростей "а"; "в" – график изменения интенсивностей турбулентности потока в участках I–7 хронограммы осредненных скоростей "а". Условные обозначения те же, что и в рис.1,2,3.

жил свой отпечаток на внутреннюю структуру потока.

Амплитуда колебания максимальных и минимальных значений скоростей в одной точке, а также между точками в один интервал времени стала меньше, чем в русле динамического равновесия. Это отразилось и в динамике изменения локальных осредненных скоростей и интенсивностей турбулентности на участках I-7 (рис.4, б и в). Как видно из этих графиков, прохождение вихрей стало более продолжительным по времени, а изменение их осредненных локальных скоростей и интенсивностей турбулентности -более плавным по характеру (участки 3-7, рис. 4, б и в).

Для сравнения полученных характеристик изменений во времени осредненных минутных, а также локальных скоростей и интенсивностей турбулентности в трех точках потока в исследуемых руслах были поставлены аналогичные опыты в прямоугольном лотке с B = I0 см, $h_{ср}$= 5 см и $V_{ср}$ = 20 см/сек. Как видно из графиков а, б, в (рис.5), эти характеристики мало меняются во времени; они характерны и обычны для лотков с равномерным движением потока, хотя даже и в этом случае локальные осредненные скорости и интенсивности турбулентности могут незначительно, но меняться.

Анализ данных по изменению во времени осредненных локальных скоростей и интенсивностей турбулентности в трех точках потока в зависимости от формы русла дает возможность сделать выводы о их явной связи.

В качестве первого критерия, характеризующего внутреннюю структуру потока в исследуемом русле, мы приняли максимальные амплитуды колебания значений интенсивностей турбулентности в трех точках потока.

На графике (рис.6) по оси абсцисс отложены отношения $\frac{B}{h_{ср}}$ изучаемых русел, а по оси ординат - максималь-

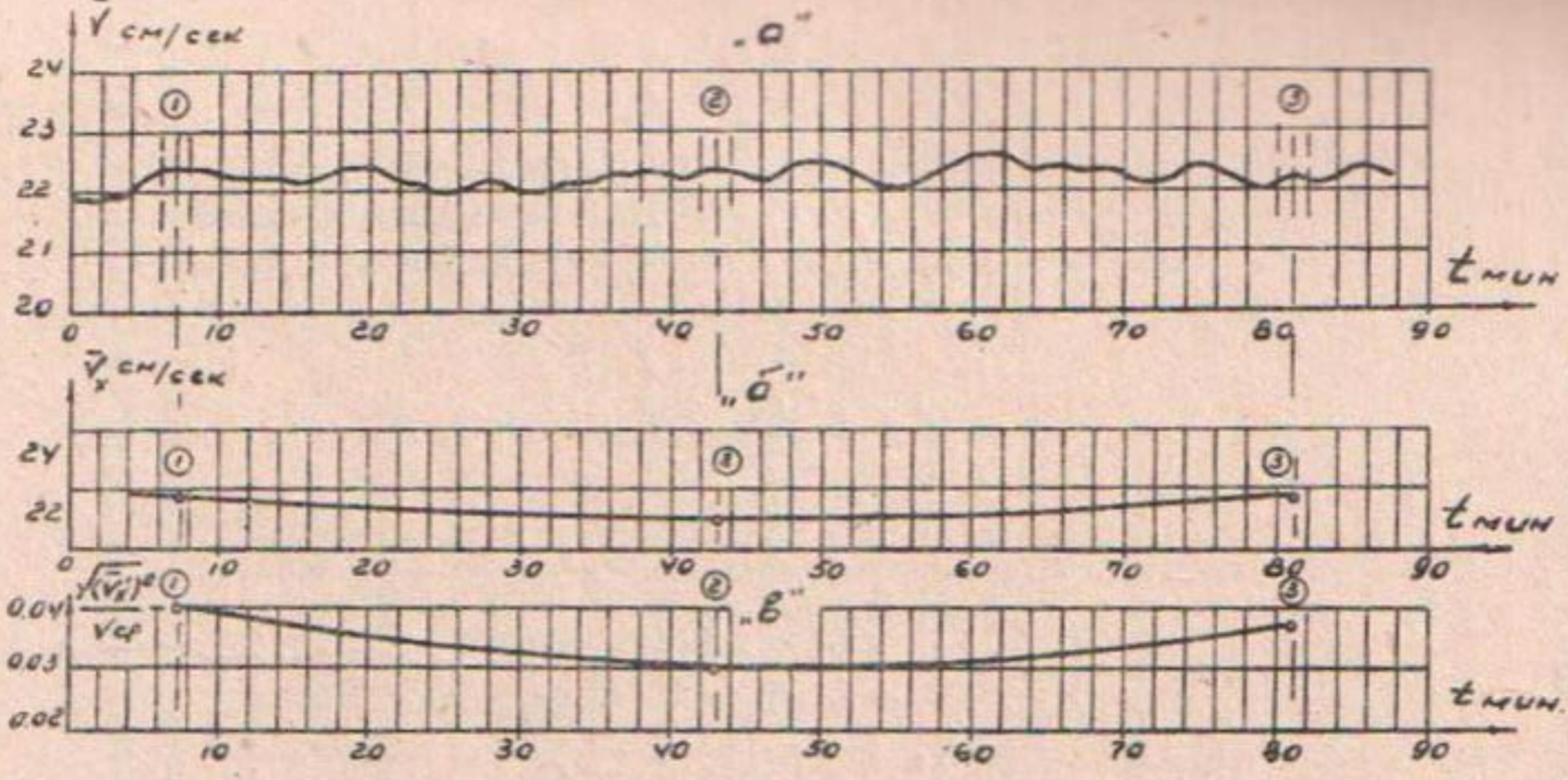


Рис.5. "а" – график изменения осредненных скоростей в прямоугольном лотке

B = 10 см, $h_{ср}$ = 5 см, $\frac{B}{h}$ = 2, $V_{ср}$ = 20 см/сек;

"б" – график изменения локальных осредненных скоростей в участках I–3 хронограммы осредненных скоростей "а"; "в" –график изменения интенсивностей турбулентности потока в участках I–3 хронограммы осредненных скоростей "а".

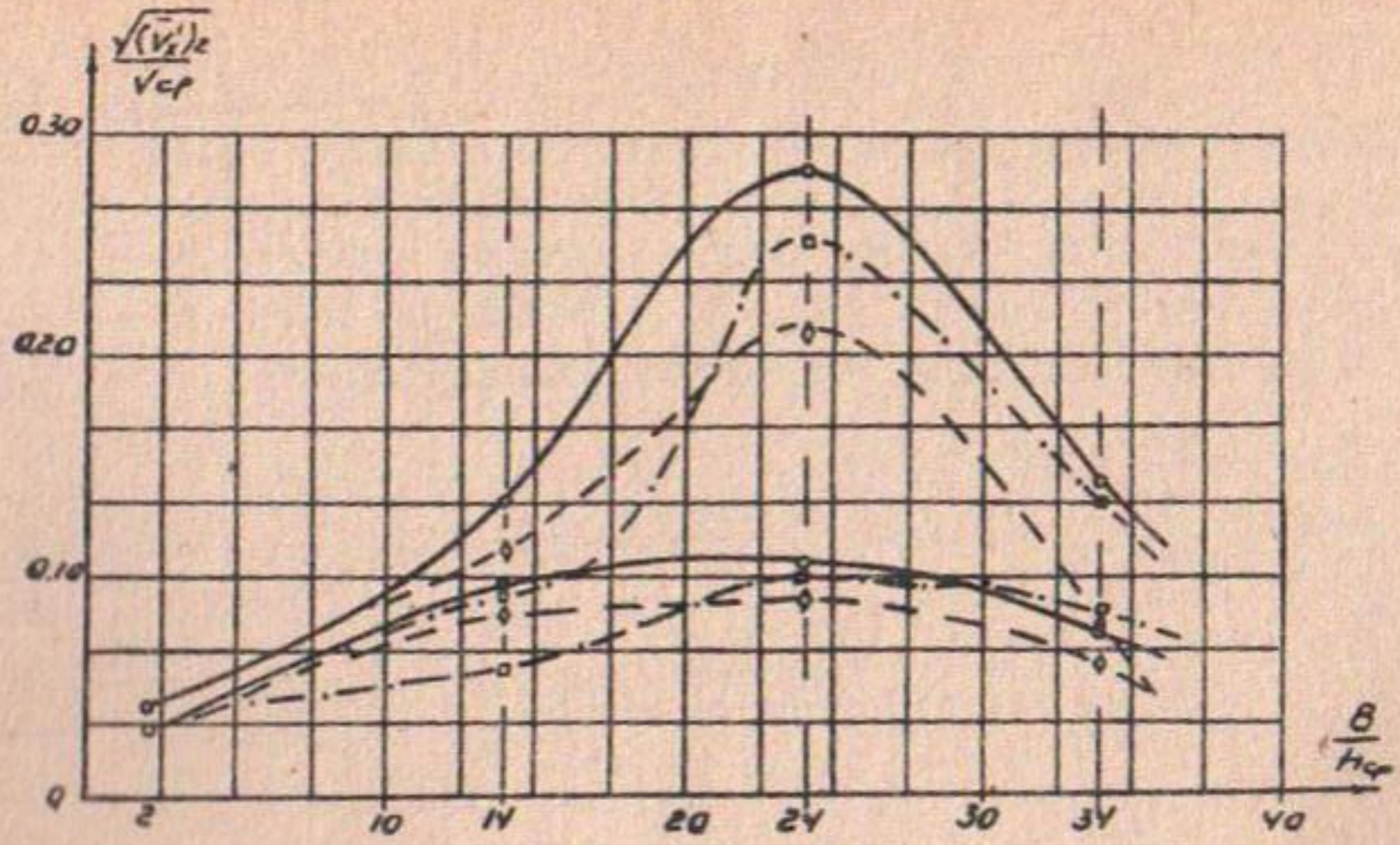


Рис.6. Изменения величины интенсивности турбулентности в 3 точках потока и ее амплитуды (максимум и минимум) в зависимости от относительной ширины русла $\frac{B}{h_{ср}}$
Условные обозначения те же, что и в рис.I.

ные и минимальные значения их интенсивностей турбулентности в трех точках потока.

Аналогичный график, очевидно, может быть построен и для осредненных локальных скоростей.

Из графика (рис.6) видно, что амплитуда колебания интенсивностей турбулентности и их абсолютные значения возрастают в зависимости от увеличения $\frac{B}{h_{ср}}$ русла, достигая максимума в русле динамического равновесия.

Как известно [2,3,4], русло динамического равновесия на своей крайней границе существования переходит в новое качественное состояние - в неустойчивую область в смысле нарушения прямолинейной плановой формы, когда динамическая ось искривляется и наблюдается довольно устойчивая меандра.

На графике видно, что русло с $\frac{B}{h_{ср}} = 34$ характеризуется меньшими абсолютными значениями и колебаниями интенсивностей турбулентности. Полученные, хотя бы качественные, данные указывают на явную связь между внешней формой русла и его внутренней турбулентной структурой и являются только началом изучения этого сложного и наиболее правильного с точки зрения физики явления.

Зафиксированные в процессе экспериментальных исследований крупные вихревые образования, действующие вдоль потока с импульсом, перераспределяющимся в поперечном сечении, и имеющие поперечный масштаб турбулентности, соизмеримый с половиной ширины потока, должны найти свое выражение и в развитии теории турбулентности потоков.

Современная теория турбулентности потоков базируется, как известно, на представлении о каскадном процессе передачи энергии от крупномасштабных компонентов к мелкомасштабным. Это представление существенно допол-

нено теорией локально изотропной турбулентности А.Н.Колмогорова [5], по которой, несмотря на неоднородность среднего течения и достаточно крупномасштабных возмущений реального турбулентного движения, статистический режим мелкомасштабных пульсаций в любой турбулентности с большим числом Рейнольдса можно считать однородным и изотропным. Статистический режим таких пульсаций должен быть квазистационарным и универсальным. Следовательно, эта теория ограничивается тем мелкомасштабным спектром пульсаций, на который еще оказывают существенное влияние силы вязкости.

В описанных русловых потоках особое внимание привлекает исследование генезиса самых больших из возможных вихрей, которые, однако, по представлениям М.А.Великанова и др. [1] могут достигать размера только глубины потока.

Как показывают вышеизложенные исследования, расширение руслового потока при одном и том же расходе в легкоподвижных грунтах связано с существованием легковыделяемых вихрей, размеры которых существенно превосходят глубину потока. По-видимому, по терминологии А.А.Таунсенда [6], можно говорить о двойной структуре турбулентного течения руслового потока.

Основные выводы о двойной структуре турбулентного потока получены Таунсендом для случая свободной турбулентности.

Как указывает Таунсенд, вихревые возмущения, обладающие размерами, большими масштабами турбулентности, могут извлекать энергию из градиента среднего течения и передавать ее основному турбулентному течению. Он рассматривает турбулентное движение, состоящее из составляющих u' и u''. Последние удовлетворяют уравнению

неравномерности: u' представляет собой выделенное крупномасштабное возмущение;

u'' – остальную часть структуры турбулентного движения. В этом случае полное уравнение движения имеет вид

$$\frac{\partial(u_i+u_i')}{\partial t}+(u_e+u_e'+u_e'')\frac{\partial(u_i+u_i'+u_i'')}{\partial x_e}=$$
$$=-\frac{\partial(p+p'+p'')}{\partial x_i}+\nu\frac{\partial^2(u_i+u_i'+u_i'')}{\partial x_e^2}, \qquad (1)$$

а уравнение среднего движения –

$$u_e\frac{\partial u_i}{\partial x_e}-\frac{\overline{\partial u_i'\cdot u_e'}}{\partial x_e}=-\frac{\partial p}{\partial x_i}+\nu\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_e^2} \qquad (2)$$

Если u'' изменяются быстрее, чем u', то интеграл от их произведения обращается в нуль. В этом случае при пренебрежении непосредственным действием вязкости уравнение энергии можно записать в следующей форме:

$$\frac{d}{dt}\int\frac{1}{2}u_i'^2\,dv+\int u_i'\frac{\partial}{\partial x_e}\left[(u_i'+u_i'')(u_e'+u_e'')-\overline{u_i'u_e'}\right]dv+\int u_i'u_e'\frac{\partial u_i}{\partial x_e}\,dv=0. \qquad (3)$$

Второй член уравнения (3) есть приходящаяся на единицу времени работа движения больших вихрей против возникающих из-за наличия этих вихрей избыточных рейнольдсовых напряжений; третий представляет собой скорость извлечения энергии из среднего движения.

Как указывает Таунсенд, если большой вихрь находится в состоянии энергетического равновесия, то скорость извлечения энергии из среднего течения равна потере энергии за счет работы против рейнольдсовых напряжений. Опираясь на предположение, что большие вихри возникают в виде возможных флюктуаций сравнительно мелкомасштабного турбулентного движения, затухающих под

действием градиента среднего течения, Таунсенд считает, что эти большие вихри должны иметь простую структуру, и приближенно представляет их формой

$$\left.\begin{aligned} -u = v' &= A z \exp\left[-\frac{1}{2}\alpha^2 (y-y_0)^2 + z^2\right] \\ w' &= -A(y-y_0)\exp\left[-\frac{1}{2}\alpha^2 (y-y_0)^2 + z^2\right] \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

где u', v', w' должны отвечать уравнению (3).

Качественное решение этой задачи дает возможность Таунсенду получить критерий для условий равновесия больших вихрей:

$$R_T = \frac{U_m l_0}{\nu_T} = 14 \div 21.$$

С нашей точки зрения наиболее ценным в теории Таунсенда является его указание на возможное существование в развитых турбулентных потоках простых по структуре больших вихрей с масштабом, превышающим масштаб определяемого глубиной потока.

Поперечный масштаб простых структурных образований логичнее сравнивать с половиной ширины руслового потока. Гипотеза о равновесии больших вихрей, возможной при равенстве скорости извлечения энергии из среднего течения и потере ее за счет работы против рейнольдсовых напряжений для русловых потоков, не подтверждается, поскольку генезис больших вихрей носит явно неустановившийся характер. Поэтому нам представляется более верным исследование больших вихрей с учетом первого члена уравнения (3), определяющего нестационарность их развития. Несмотря на сложность этой задачи, как показывают наши данные, необходимо совершенствовать анализ именно в этом направлении.

Несмотря на то, что теория Таунсенда носит качественный характер, его предпосылка о существовании

больших вихрей, действующих вдоль потока, по нашему мнению, является плодотворной для создания законченной теории турбулентности русловых потоков.

Литература

1. Великанов М.А. Русловой процесс. М.-Л., 1958.
2. Иваненко Ю.Г., Кузьминов Ю.М. О некоторых вопросах теории устойчивых русловых процессов в легкоподвижных грунтах. "Вопросы гидротехники", вып. 37, Ташкент, изд. "Наука", 1967.
3. Иваненко Ю.Г., Кузьминов Ю.М. К вопросу исследования русла динамического равновесия в легкоподвижных грунтах. Сб.трудов по инженерной гидрогеологии № 10, изд."Наука". Ташкент, 1967.
4. Иваненко Ю.Г., Кузьминов Ю.М. К вопросу о границе устойчивого состояния сечения русла в легкоподвижных грунтах. "Вопросы гидротехники", вып.34, Ташкент, изд."Наука", 1967.
5. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика, часть I, М., изд. "Наука". 1965.
6. Таунсенд А.А. Структура турбулентного потока с поперечным сдвигом. М., Изд.иностр.литературы, 1959

Б.Г.ПОЛЯКОВА

К РАСЧЕТУ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ДВУХЪЯРУСНЫХ ВОДОСБРОСНЫХ ОТВЕРСТИЙ

При совмещении в одной вертикальной плоскости водослива и глубинного водосброса образуется двухъярусный водосброс. Двухъярусные водосбросы могут быть самыми различными: многообразие их количественно определяется числом сочетаний каждого типа водослива с каждым типом глубинного водосброса.

В руководствах и нормативах по гидросооружениям [3, 6, 14] неоднократно указывалось на следующие преимущества двухъярусных водосбросов: сокращение фронта сооружений, компактность гидроузла, уменьшение габаритов водобоя и рисбермы, улучшение гидравлического режима нижнего бьефа (оптимальное использование совместной работы донного и поверхностного отверстий).

Однако указаний к гидравлическим расчетам ДВО нет ни в нормативах ни в справочной литературе [14,10,11].

Цель сообщения - анализ расчетных формул, применяемых для определения пропускной способности таких двухъярусных водосбросных отверстий (ДВО), в которых ярусность создается горизонтальной полкой и нижняя сливная грань донного отверстия также горизонтальна. Водосбросы этого типа находят применение в практике ирригационного строительства в качестве эксплуатационных сооружений, например: головное сооружение Амубухарского машинного канала (рис.1); вододелитель на ПК 137+70 того же канала; головное сооружение канала им.Ахунбабаева на р.Сырдарья; проектный вариант Тешикташского гидроузла на р.Карадарья.

В гидроэнергетических узлах ДВО рассматриваемого типа применяются для пропуска строительных расходов при

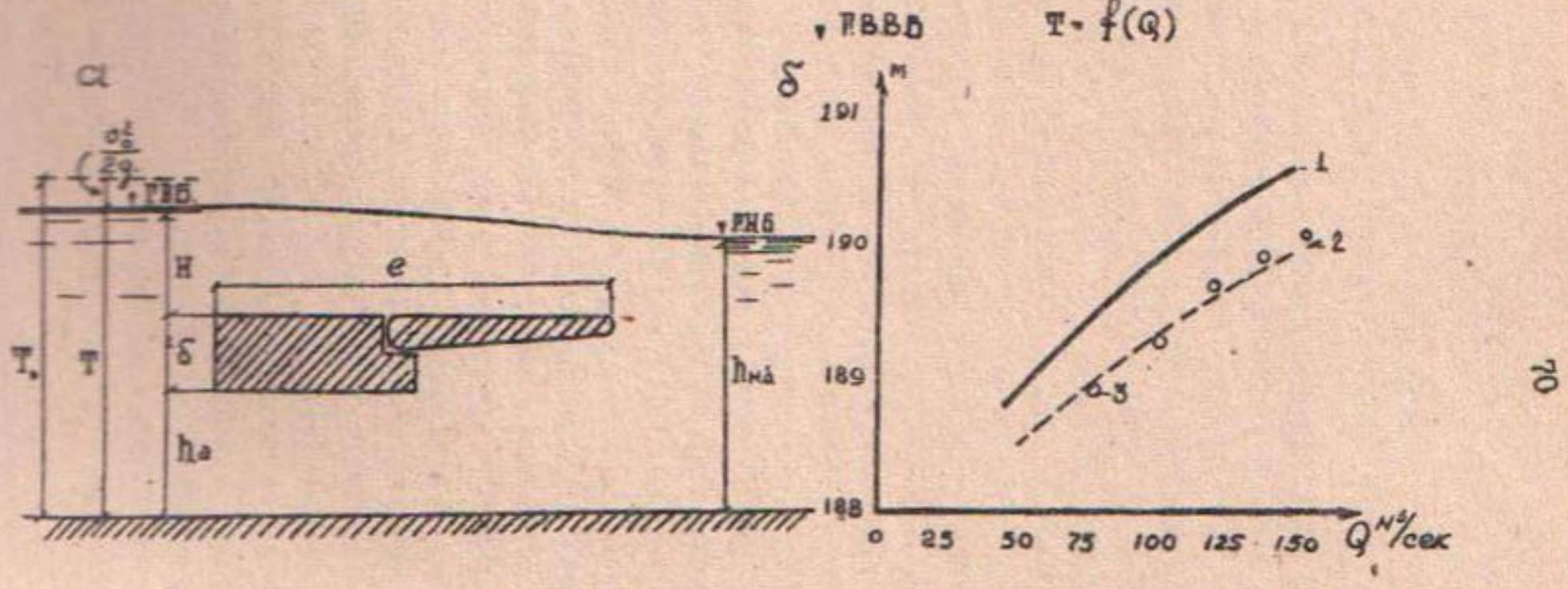


Рис.I. Головное сооружение Амубухарского канала: а – схема сбросных отверстий; б – график зависимости горизонта воды верхнего бьефа от расхода (I– по формуле (I), 2 – по данным модельных исследований, 3– по формуле (5)).

возведении плотин методом гребенки. Эта схема использована, например, на Усть-Каменогорской, Бухтарминской, Братской, Красноярской ГЭС (рис.2). Такая конструкция ДВО применяется также и в постоянных сооружениях гидроэнергетических узлов (рис.3).

Ознакомление с проектной документацией институтов Средазгипроводхлопок, Узгипроводхоз и Гидропроект им.Жука / 9,14,15 / показывает, что при определении пропускной способности ДВО проектировщики, как правило, руководствуются принципом независимости работы поверхностных и донных отверстий. Расчет ведется по формуле

$$Q_{д\,в\,о} = Q_п + Q_д = m b \sqrt{2g}\, H_o^{3/2} + \mu \omega_д \sqrt{2g(H_o - h_{н.б})}, \quad (1)$$

где $Q_{д.в.о}$ – расход двухъярусного отверстия;

$Q_п$ – расход водослива;

$Q_д$ – расход донного отверстия;

m – коэффициент расхода водослива;

b – ширина отверстия;

H_o – напор на пороге водослива с учетом скорости подхода;

μ – коэффициент расхода донного отверстия;

$\omega_д$ – живое сечение донного отверстия;

$h_{н.б}$ – глубина воды в нижнем бьефе.

Как исключение, при небольших размерах полки, создающей ярусность, пропускную способность рассчитывают по формуле обычного водосливного отверстия, не стесненного полкой:

$$Q_{д.в.о} = m b \sqrt{2g}\, H_o'^{(3/2)} \quad (2)$$

С учетом подтопления эта формула приобретает вид

$$Q_{д.в.о} = \sigma_п\, m b \sqrt{2g}\, H_o'^{(3/2)} \quad (2)^{x/}$$

---

x/ Технический проект гидроузла на р.Ангрен в голове каналов Чакмак и Шималек, Узгипроводхоз, 1961.

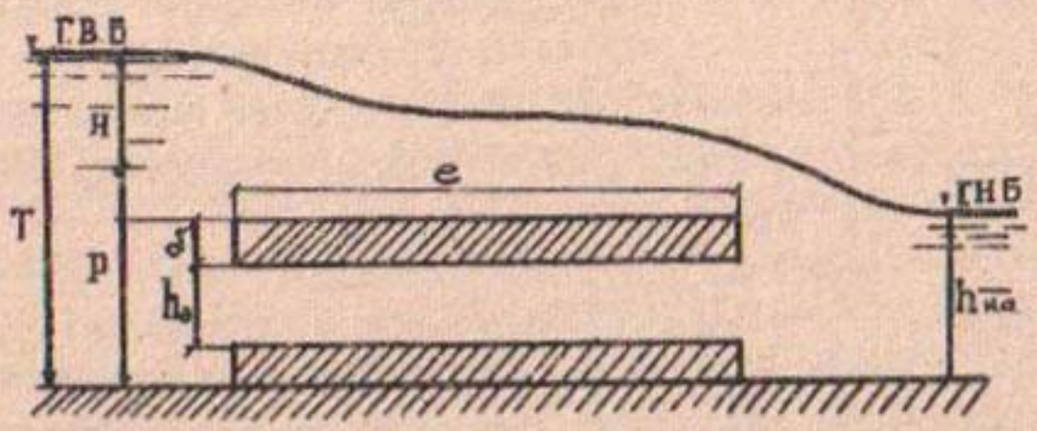


Рис.2 Схема пропуска строительных расходов Бухтарминской, Братской и Красноярской ГЭС.

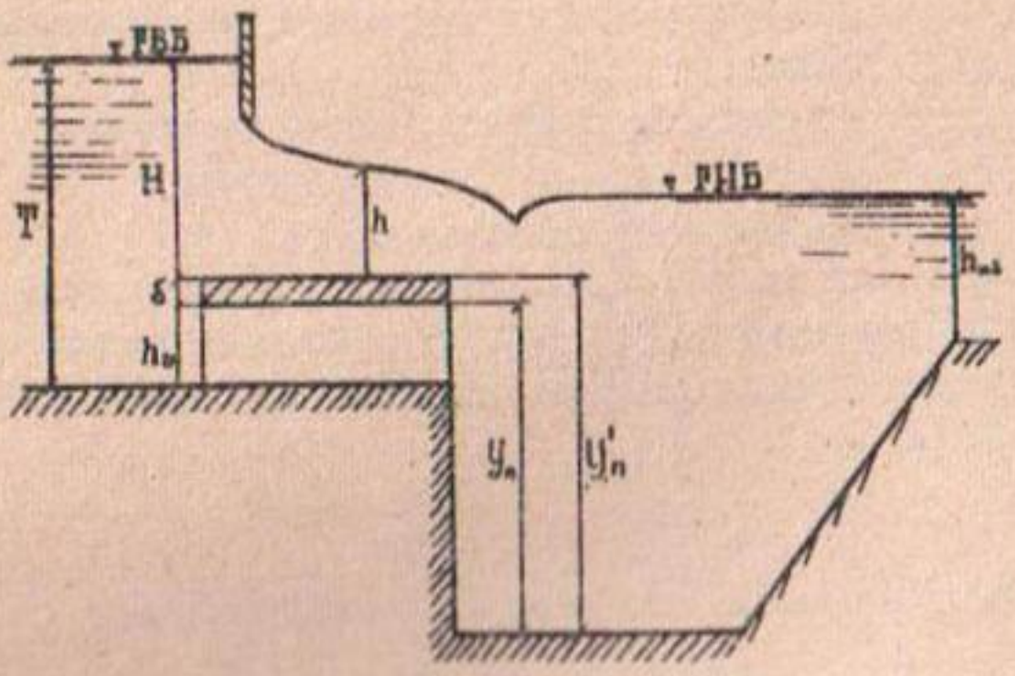


Рис.3 Схема холостого сброса одной из ГЭС.

здесь H_0 – напор на отметке порога нижнего яруса ДВО с учетом скорости подхода;

$\sigma_п$ – коэффициент подтопления.

Исследованиями Н.С.Абелева [I], А.К.Ананяна [2], Вай-Жун-Пэна [4], И.И.Вейца [5], А.А.Кадмрова [7], Б.Д.Качановского [8], А.Ф.Квардакова [9], Н.Н.Синицына [12], И.Я.Татарова [14,15], В.А.Яроцкого [16] установлено, что между значениями $Q_{д.в.о.}$, рассчитанными по [1], и $Q_{д.в.о}$, полученными в натурных или экспериментальных условиях, имеется расхождение, составляющее в среднем 20-25%. Иначе говоря, расход двухъярусных водосбросов при совместной работе обоих ярусов превышает сумму расходов тех же отверстий при раздельной их работе.

Увеличение пропускной способности в этих случаях часто относят [5,2,8,I] за счет эффекта эжекции в нижнем бьефе. Вследствие эжекции уменьшается давление на выходе из донных водоводов, что увеличивает их пропускную способность.

Для коррекции расчета в формулу [I] предлагается вводить поправки, учитывающие уменьшение давления.

Так, А.К.Ананян [2], проводя модельные исследования пропускной способности сооружений одной из ГЭС, определил, что расход двухъярусного водосброса (рис.3) превышает рассчитанное по формуле (I) значение $Q_{д.в.о}$ до 10% (в опытах значение $Q_{д.в.о}$ несколько изменялось при варьировании конструктивного исполнения водобойного колодца в нижнем бьефе). Полученное расхождение объясняется уменьшенным (против расчетного) значением действующего напора в конце донного водовода. А.К.Ананян выводит следующую расчетную формулу:

$$Q_{об.с} = Q_п + Q_д = \mu b h_п \sqrt{2g(H_1 - h)} + \mu_д \omega_д \sqrt{2g(A - h_о)}, \quad (3)$$

где $h_о$ – напор, соответствующий пьезометрическому давлению на выходе из донного водовода;

$$h_о = \frac{2}{\gamma_п B_t}\left\{\left[\frac{\alpha_t (Q_п + Q_д)^2}{g\omega_t} + \frac{h_t^2 B_t}{2}\right] - \left[\frac{\alpha_п Q_п^2}{g\omega_п} + \frac{h^2 B_п}{g\omega_д}\right] - \frac{\alpha_д Q_д^2}{g\omega_д} + \frac{\gamma_п'}{2}\right.;$$

B_t – ширина русла в нижнем бьефе;

$B_п$ – ширина поверхностного отверстия;

$\omega_п$ – живое сечение поверхностного потока;

$\omega_д$ – живое сечение донного потока;

ω_t – живое сечение потока в нижнем бьефе;

$\alpha_п; \alpha_д; \alpha_t$ – корректив скорости в соответствующих сечениях.

Однако работы И.Я.Татарова [14,15], А.Ф.Квардакова [9] и Н.В.Синицына [12] показали, что уменьшение давления на выходе из донного водовода – не единственная причина изменения пропускной способности двухъярусных отверстий.

Эксперименты Н.В.Синицына выявили, что за счет совместной работы ярусов изменяются структура потока в верхнем бьефе, средняя скорость потока на подходе к водосбросу; расход верхнего яруса увеличивается на 5 ÷ 40%, нижнего – на 2 ÷ 12%.

Методическую работу по изучению пропускной способности двухъярусных водосбросов (на основе модельных исследований пропуска строительных расходов Братской, Красноярской ГЭС и др.) выполнили А.Ф.Квардаков и И.Я.Татаров.

В результате И.Я.Татаров пришел к следующим выводам: значительное возрастание пропускной способности водослива происходит за счет уменьшения потерь на вход и роста входных скоростей при совместной работе верхнего

и нижнего потоков; донные трубы при совместной работе с поверхностными водосливами увеличивают свою пропускную способность за счет эжектирующего действия потока водослива. И.Л.Татаров отмечает, что при исследовании получены неожиданные, практически очень интересные результаты. Оказалось, что коэффициент расхода водослива m зависит не только от условий входа или $\frac{P}{H}$, но и от горизонта нижнего бьефа и по своей величине больше 0,385 (достигает 0,43).

Сложная зависимость от большого числа факторов не позволила пока вывести теоретически обоснованную формулу ДВО даже при принятии ряда допущений. Для практических расчетов рекомендуется формула

$$Q_{д.в.о} = Q_в + Q_д = m_1 b \sqrt{2g}\, H_0^{3/2} + \mu_д \omega_д \sqrt{2g(H_1 - h_0)}; \quad (4)$$

причем $$Q_д = \mu_д \omega_д \sqrt{2g(H_1 - h_0)} = \mu'_д \omega_д \sqrt{2g(H_1 - h_т)},$$

где $$H_1 = H + б + h_т;$$

$$m_1 = d_1 + c_1 \sigma; \quad \sigma = \frac{bH}{B_1(H+P)}$$

(B_1 – расстояние между осями бычков;

$a_1, c_1, \mu'_д$ – эмпирические коэффициенты).

Значения коэффициентов колеблются в следующих пределах:

$m = 0{,}405 \div 0{,}430, \quad \mu'_д = 0{,}765 \div 0{,}880.$

С иных позиций подошел к решению вопроса А.А.Кадыров [7]. Исследуя на модели пропускную способность головного сооружения Амубухарского канала (рис.I), он установил, что она превышает величину $Q_{д.в.о}$, рассчитанную по (I), на 20 ÷ 25%. Анализ результатов показал, что для получения расчетных значений пропускной способности, соот-

ветствующих данным опыта, нужно в формулу (I) подставить такие числовые значения m и μ, которые не свойственны принятым в проекте типам отверстий. С другой стороны, если принять условно гидравлическую схему истечения через двухъярусный водосброс, как истечение через подтопленный водослив с широким порогом (высота P = 0), а влияние полки-порога, приблизительно учитываемое уменьшением коэффициента расхода, рассматривать как преграду, обтекаемую потоком, то полученные расчетные точки достаточно удовлетворительно ложатся на экспериментальную кривую [?].

Расчетная формула принята следующая:

$$Q_{зв.о} = m' b_c \sigma_3 \sqrt{2g}\, T_o^{3/2}, \qquad (5)$$

где

$T_o = h_д + \delta + H_o$ – расчетный напор на водосливе.

Числовое значение коэффициента расхода m' принято несколько меньше обычного для учета сопротивления полки. Отсюда А.А.Кадыров делает вывод, что в аналогичных случаях, когда длина полки-порога не очень большая, природе истечения соответствует гидравлическая схема водослива с широким порогом, стесненного преградой (полкой-порогом), а не схема совместного действия короткой трубы и водослива с широким порогом. При сопоставлении видно, что гидравлическая схема истечения через оба отверстия двухъярусного водосброса отличается рядом особенностей по сравнению с раздельной работой тех же отверстий.

При сохранении отметок горизонтов верхнего и нижнего бьефов совместная работа ярусов вызывает: а) изменение средней скорости потока, б) перераспределение скоростей, а также давлений по сечению, в) влияние г.н.б. на пропускную способность верхнего яруса при неподтопленном истечении. Как результат всего этого возрастает пропуск-

ная способность верхнего и нижнего ярусов. Коэффициенты расхода увеличиваются до значений $m = 0{,}430$, $\mu = 0{,}88$.

Общепризнанными и теоретически обоснованными отличительными признаками водослива с широким порогом как гидравлической схемы являются:

I) независимость расхода от г.н.б. при неподтопленном истечении;

2) максимальная (теоретически возможна при полном отсутствии потерь) величина коэффициента расхода составляет 0,385.

Поскольку мы не можем поставить под сомнение всю теорию водослива с широким порогом, необходимо сделать вывод, что истечение через верхний ярус ДВО не является истечением через водослив с широким порогом.

Сказанное выше позволяет предположить, что в данном случае истечение через ДВО - качественно новое явление, отвечающее самостоятельной схеме.

ДВО представляет собой конструктивное решение; характерная особенность его - горизонтальная полка, делящая отверстие на ярусы. Это обусловливает особый характер сопротивлений как по распределению, так и по величине, что и выделяет ДВО как качественно отличное и своеобразное явление со свойственным только ему гидравлическим режимом.

Отсюда более точным было бы говорить не о расхождении между расчетными и фактическими величинами расходов, а о неприменимости к рассматриваемому случаю формулы (I), так как она характеризует соотношения величин в схеме, качественно отличающейся от рассматриваемой.

Мы предлагаем пропускную способность двухъярусных водосбросных отверстий определять по следующей

формуле:

$$Q_{э.в.о} = m_{э.в.о}\, h_{н.б}\, b \sqrt{2g(T - h_{н.б})} \qquad (6)^{x/}$$

Причем, коэффициент расхода $m_{э.в.о}$ и соотношение частей расхода, проходящих через каждый из ярусов $\frac{Q_п}{Q_э}$ функционально зависят от средней скорости подхода потока к сооружению (V_0), горизонта нижнего бьефа (∇ Г.Н.Б.) и геометрических параметров сооружения - длины (ℓ) и толщины (δ) полки, высоты расположения полки $\frac{h_э}{H}$ и порога (Р), параметра формы входных и выходных граней (К):

$$m_{э.в.о} = f_1\left(V_0, \nabla \text{ Г.Н.Б.}, \ell, \delta_1, \frac{h_э}{H}, P, K\right),$$

$$\frac{Q_п}{Q_э} = f_2\left(V_0, \nabla \text{ Г.Н.Б.}, \ell, \delta_2, \frac{h_э}{H}, P, K\right).$$

Среди других вопросов неразрешенными здесь являются:

1) характер распределения скоростей и давлений, свойственных данной схеме при различных конструктивных исполнениях ДВО;

2) величина потерь энергии и определяемый ею коэффициент расхода ДВО как функция от V_0, ∇ Г.Н.Б. и геометрических параметров;

3) оптимальные соотношения геометрических параметров для достижения минимума потерь энергии;

4) границы конструктивного исполнения, внутри которых ДВО работает как единая гидравлическая схема;

5) перспективы применения ДВО в практике водохозяйственного строительства.

В лаборатории гидравлики САНИИРИ проводятся экс-

---

x/ Вывод формулы (6) излагается в статье Б.Г.Поляковой "Способ определения расхода двухъярусных водосбросов", Изв. АН УзССР, № 1, 1968.

периментальные исследования зависимостей

$$m_{зв_0} = f_1\left(\frac{V_0}{gT}, \frac{l}{T}, \frac{\delta}{T}, \frac{h_э}{H}, \frac{h_{н.б}}{T}\right)$$

и

$$\frac{Q_п}{Q_д} = f_2\left(\frac{V_0}{gT}, \frac{l}{T}, \frac{\delta}{T}, \frac{h_э}{H}, \frac{h_{н.б}}{T}\right)$$

Результаты этих исследований будут изложены в отдельной статье.

Литература

I. Абелев Н.С..Преображенский Н.А..Чистяков А.М. Эксплуатационные исследования гидротурбинных блоков ГЭС совмещенного типа, Изв.ВНИИГ, т.48, Л., 1952.

2. Ананян А.К. О пропускной способности двухъярусных водосбросов. Изв.АН АрмССР, сер.физ.-мат.,т.Ш, № 3, 1952.

3. Березинский А.Р. Гидротехнические сооружения. "Энергия", М.-Л., 1965.

4. Вай-Хун-Пэн. Двухъярусные плотины и их гидравлический расчет. Автореферат дисс.. М., 1956.

5. Вейц И.И. Основные задачи соединения двух потоков. Изв.ВНИИГ, т.32, Л., 1947.

6. Гришин М.М. "Гидротехнические сооружения", часть I. М., Госиздат по строительству и архитектуре, 1954.

7. Кадыров А.А. К расчету пропускной способности составных водосливных отверстий. "Вопросы гидротехники", вып.23. Ташкент, Изд."Наука", 1965.

8. Качановский Б.Д. Определение эффекта эжекции при пропуске паводков через донные отверстия ГЭС. Изв. ВНИИГ, т.34, 1944.

9. Квардаков А.Ф. Об одновременной и совместной пропускной способности донных труб и водосливных пролетов. Изв. ВУЗов, "Строительство и архитектура" № 9, Новосибирск, 1963.

10. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. Госэнергоиздат, М.-Л., 1961.

11. Мостков М.А. Гидравлический справочник. М., Госстройиздат, 1954.

12. Синицын Н.В. О совместной работе водослива с широким порогом и донного водосброса. Тезисы доклада, Ровно, 1965.

13. СНиП II-И, М., Госстройиздат, 1962.

14. Татаров И.Я. О пропускной способности водослива с широким порогом, работающим совместно с донными трубами. Изв.ВУЗов "Строительство и архитектура" № 2, 1964.

15. Татаров И.Я. Пропускная способность донных труб и водосливных пролетов при совместной и одновременной их работе. Автореферат дисс., Новосибирск, 1964.

16. Яроцкий В.А. Пропуск паводка через пролеты водосливной плотины ГЭС в период строительства. Тр.гидр. ВОДГЕО, М., Госстройиздат, 1957.

Ш.А.БАБАДЖАНОВА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ МЕСТНОГО РАЗМЫВА ЗА ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ КРЕПЛЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ СВЯЗНЫХ ГРУНТОВ

Известные из литературных источников работы по вопросам местного размыва русел относятся в основном к несвязным грунтам.

Явления размыва связных грунтов в условиях открытых равномерных потоков, а также процесс местного размыва связных грунтов падающей струей подробно описаны в работах Ц.Е.Мирцхулава [5,6], имеются некоторые сведения и соображения по размыву связных (нескальных) грунтов и в работах М.С.Вызго [2], В.И.Студеничникова [8], А.Н.Набиева [10], С.Эсеналиева [9] и др.

Однако в литературе отсутствуют сведения о местных размывах за горизонтальными креплениями в условиях связных грунтов.

Это обстоятельство побудило нас к исследованию местного размыва. Опыты проводились в лабораторных условиях[1].

Экспериментальная установка представляет собой гидравлический лоток прямоугольного сечения 60х85 см; рабочая длина равна 8,0 м (рис.I).

Водоприемная часть установки (3,0хI,8 м; высота I,8 м) снабжена гасителями в три ряда. Гасители обеспечивают полное гашение энергии воды и спокойный подход ее к мерному водосливу. Вода через мерный трапецеидальный водослив попадает в верхний бьеф. Здесь также имеются гасители, обеспечивающие стабильный напор перед щитом. Длина рабочей части лотка, как отмечено, 8,0 м.

I Исследования ведутся под руководством кандидата технических наук А.А.Кадырова.

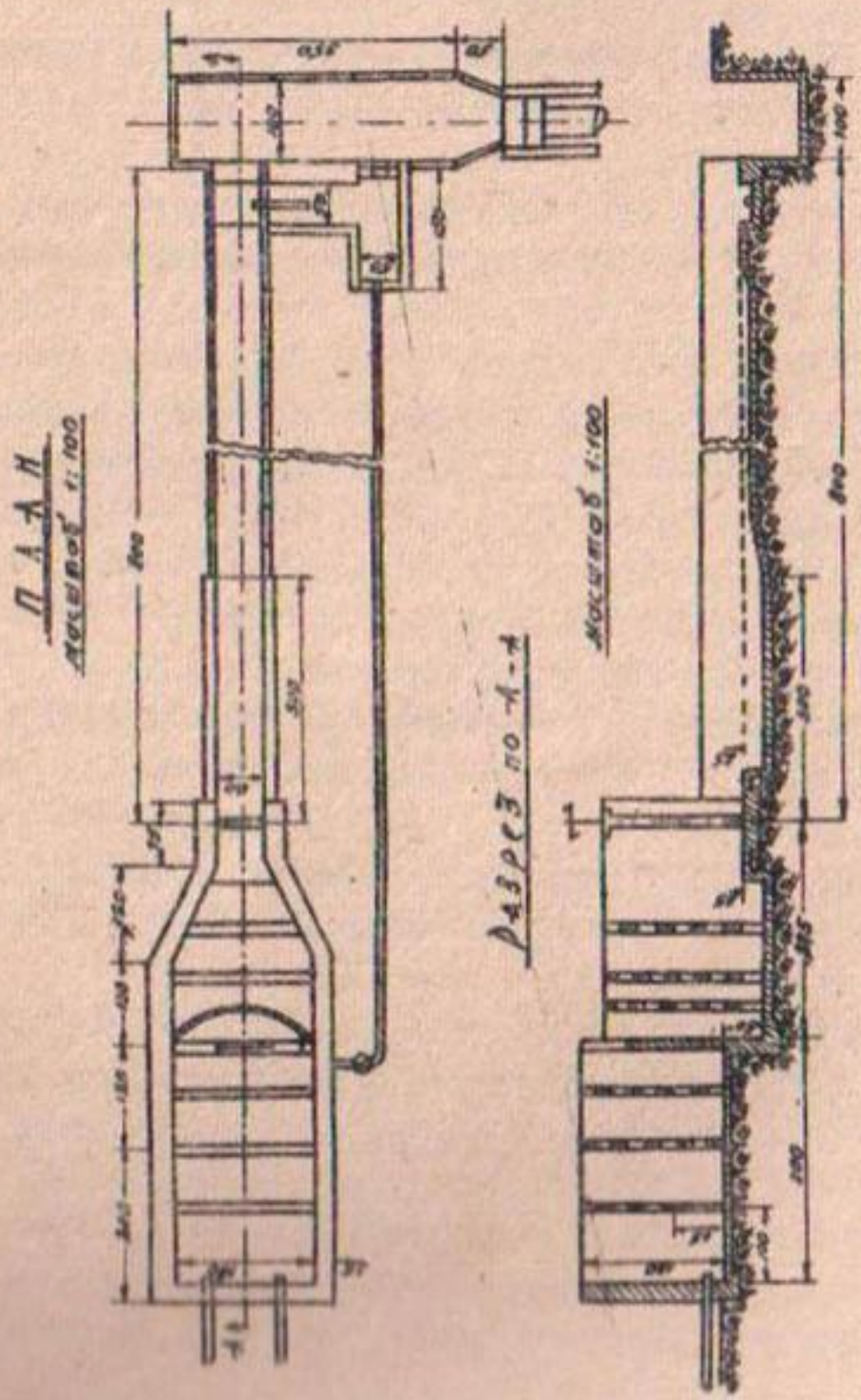


Рис. I

Начальный участок выложен из кирпичной кладки с облицовкой цементным раствором на длину 3,0 м, дно выложено из железобетонных плит. Остальная часть лотка состоит из железобетонных плит, дно забетонировано.

Водосбросная часть представляет собой колодец шириной 1,0 м, длиной 3,5 м, а непосредственный сброс в оросительь осуществляется железным трубопроводом.

Модельная установка имеет приспособление для заполнения лотка перед началом опыта с нижнего бьефа: трубопровод d = 18 см с задвижкой типа "Лудло", соединяющей конец лотка с водоприемным бассейном.

Водоснабжение экспериментальной установки осуществляется двумя насосами производительностью 220÷360 $м^3$/час. От каждого насоса протянут трубопровод к водоприемному бассейну. Трубопроводы снабжены задвижками, при помощи которых регулируется подача воды на установку. Забор воды осуществляется из оросителя. Поскольку опыты проводились в осеннее время, вода в оросителе была достаточно прозрачная, без наносов, чем устранялось возможное влияние мутности воды на процесс размыва.

Грунты на размыв исследовались в виде монолитов ненарушенной структуры. Карьер грунта находится на территории НИСТО (научно-исследовательская станция по технике орошения), в 20 км к юго-западу от Ташкента. Карьер условно назван "Метеостанцией"[I].

Грунты из этого карьера относятся к малозасоленным лессовидным суглинкам.

I Нами выбраны несколько карьеров под условными названиями. В статье приводятся данные, относящиеся к грунтам одного карьера "Метеостанция". Результаты опытов с грунтами других карьеров будут опубликованы в другой работе.

Характеристики грунта представлены в табл.I,2. Соляно-кислая и водная вытяжки характеризуются следующим образом: содержание SO_4 равно 2,46%; Ca - 7,60%; Mg - I,56; плотный остаток составляет 0,I30%.

Гранулометрический состав анализировали по методу "Сита-Рабинзон-Сабанин"[I].

Монолиты брались в специально изготовленные для этой цели железные ящики размером 600x200xI000 мм. Транспортировка монолита осуществлялась трактором с прицепной тележкой. Погрузку на тележку, выгрузку и монтаж монолита в гидравлический лоток производили при помощи треножки с подъемным механизмом (вес монолита достигает 400 кг

Монтаж монолита в лоток - один из самых трудоемких процессов при подготовке к опытам. При малейшей неосторожности (перекос, сильный толчок и т.д.) в теле монолитного грунта могут появляться трещины, тем самым нарушается монолитность - одно из обязательных условий опыта.

После установки монолита на место при помощи специального устройства, лоток заполняли водой с нижнего конца и методом отсыпки грунта в воду формировали русло за монолитом. Для этого использовали грунт нарушенной структуры из этого же карьера. Как монолит, так и насыпной грунт заливали слоем воды и доводили до полного влагонасыщения в течение I-2 суток. Затем лишний слой монолита и соответственно всего русла за креплением осторожно снимали до отметки крепления - в лотке формировалось горизонтальное русло.

I Анализы произведены в лаборатории инженерного грунтоведения САНИИРИ им.В.Д.Журина. Физико-технические характеристики грунта изучены в научно-исследовательской лаборатории Средазгидроэнергостроя.

Таблица 1

Гранулометрический состав, %

Место взятия пробы	Размеры фракций, мм							
	> 0,5	0,5–0,25	0,25–0,10	0,10–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001
Карьер Метеостанция	–	0,12	0,44	7,24	68,23	15,46	3,32	5,81

Таблица 2

Физико-технические характеристики

Место взятия пробы	Естественная влажность	Удельный вес	Объемный вес, т/м³		Пористость, %	Коэффициент пористости	Пластичность			Максимальная молекулярная влагоемкости	Угол внутреннего трения	Силы сцепления, кг/см² (среднее по 7 определениям)
			влажного	сухого			верхний предел	нижний предел	число пластичности			
Карьер Метеостанция	2,69	2,70	1,52	1,48	45,18	0,824	26,21	18,52	7,69	13,24	26,40	0,440

Принятая схема опыта - размыв за горизонтальным креплением без гасителей и других устройств. Сопряжение бьефов осуществлялось истечением из-под щита с образованием гидравлического прыжка.

Проведено две серии опытов с различными длинами крепления: $\ell = 60$ см и $\ell = 100$ см.

При постоянной длине крепления изменялись высоты открытия щита, следовательно, и напор перед щитом. При каждом постоянном открытии щита пропускались различные расходы, причем опыты начинались с пуска наименьшего из серии расходов.

На основании контрольных замеров продолжительность каждого опыта была принята равной 10 час. За это время размыв в основном стабилизировался.

В процессе опыта измеряли напоры перед щитом, горизонты воды в лотке; после окончания производили нивелировку воронки размыва за креплением и профиля всего русла в лотке.

Для отдельных исследований измерялись скорости в зоне размыва с помощью гидродинамической трубки.

Прыжок на протяжении опыта поддерживался в надвинутом положении (степень затопления прыжка $\sigma = \frac{h_2}{h''}$ была равна единице).

Результаты обработки опытных данных показали, что зависимость $\frac{t}{h_{кр}} = f(q)$ при постоянной длине крепления $\ell_{кр} = const$ апроксимируется уравнением прямой. Можно заметить тенденцию возрастания углового коэффициента с увеличением напора на сооружении (рис.2 и 3). Повышение напора перед щитом означает, с одной стороны, рост габаритов гидравлического прыжка (его длины и высоты), с другой - возрастание турбулентности в вальцевой зоне прыжка и в непосредственной близости от вальца.

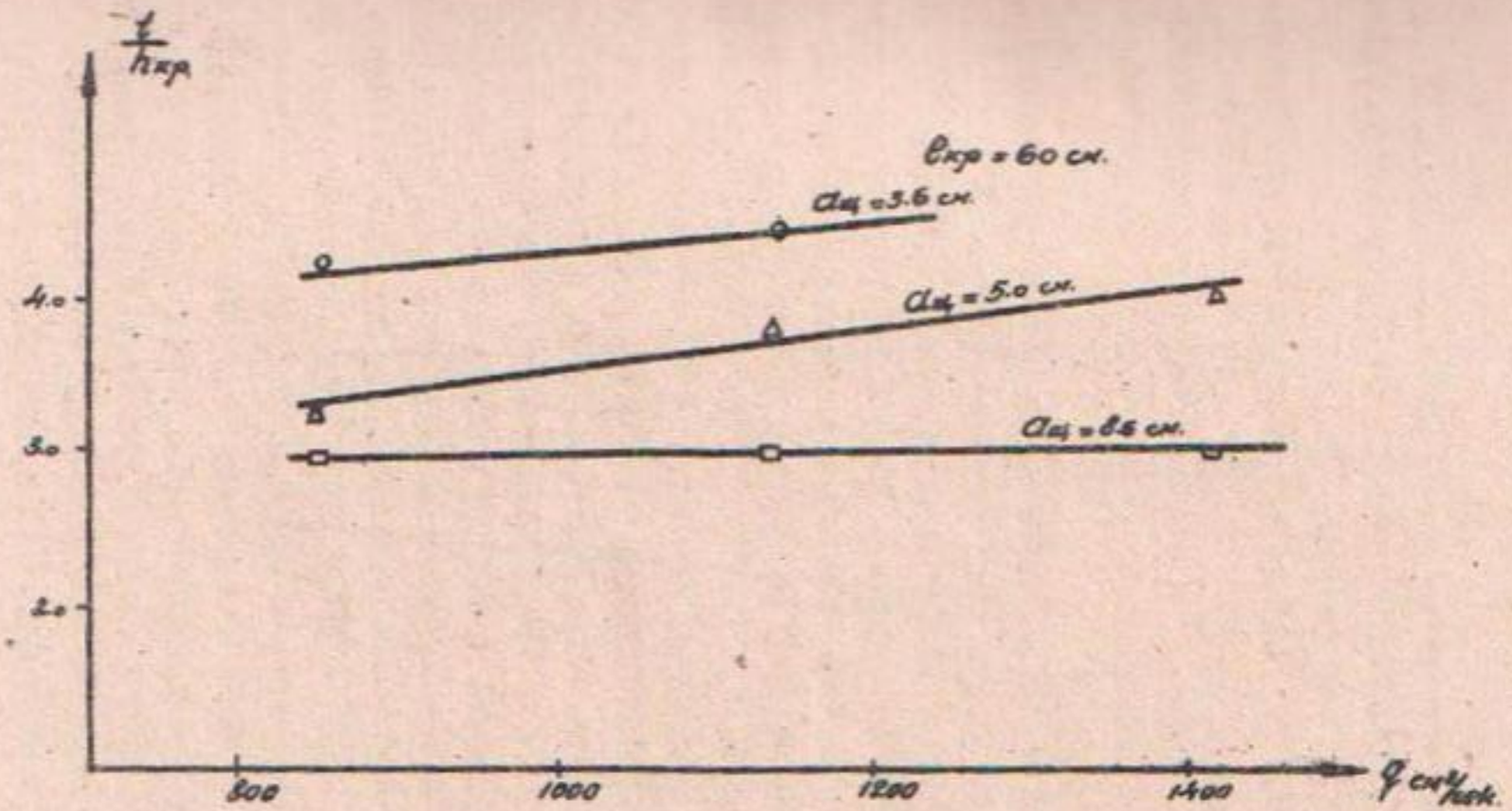

1/hкр
lкр = 60 см.
dц = 3.6 см.
dц = 5.0 см.
dц = 8.5 см.
4.0
3.0
2.0
800
1000
1200
1400
Q см³/сек.

Рис. 2

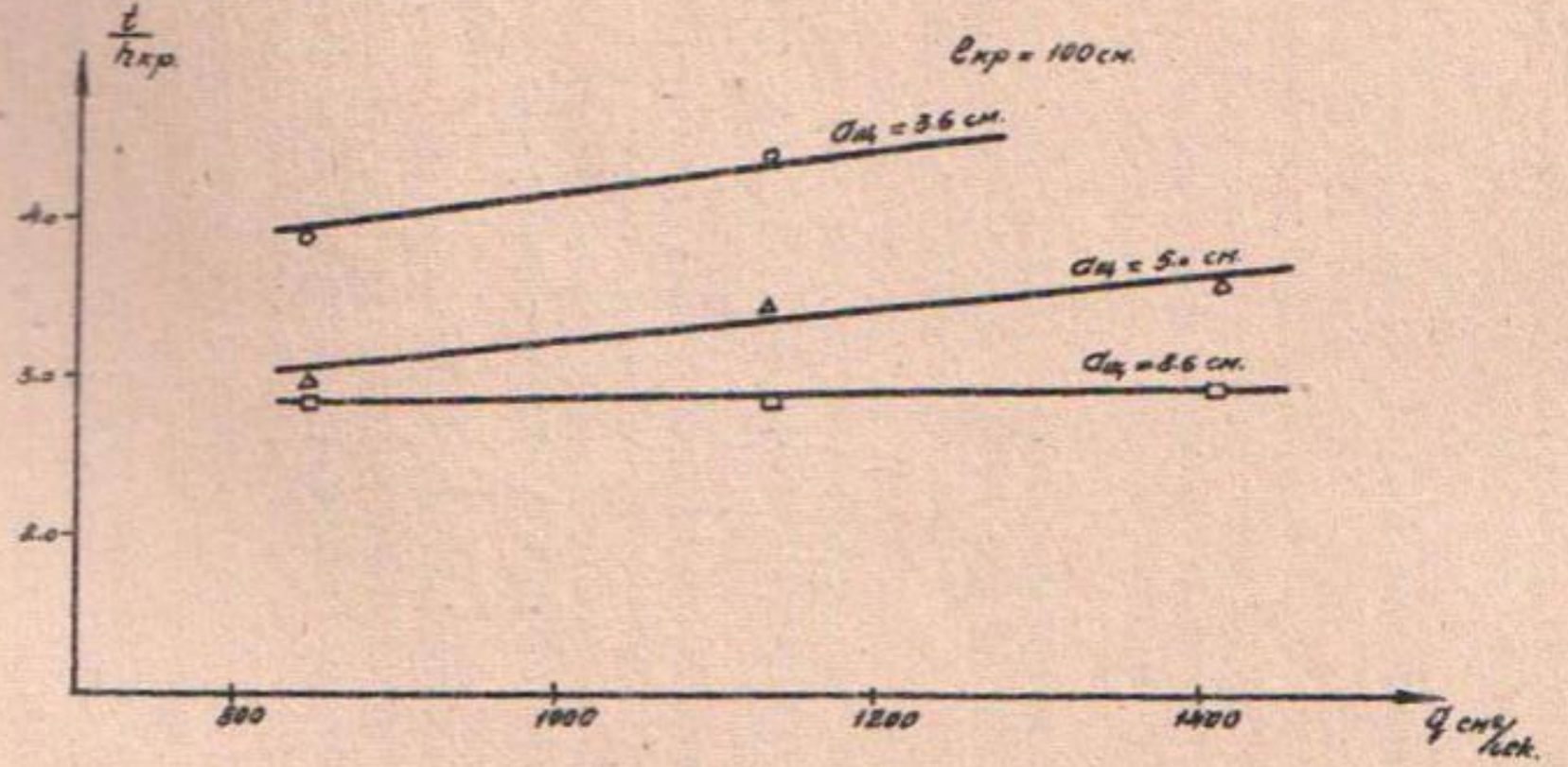

$\frac{t}{h_{кр.}}$
$l_{кр} = 100$ см.
$\sigma_{щ} = 3.6$ см.
$\sigma_{щ} = 5.0$ см.
$\sigma_{щ} = 8.6$ см.
4.0
3.0
2.0
800
1000
1200
1400
Q см³/сек.

Рис. 3

Таким образом, с повышением турбулентности, в связных грунтах в отличие от песков, отношение $\frac{t}{h_{кр}}$ увеличивается с ростом "q".

Из работ А.А.Кадырова [4] известно, что для несвязных грунтов (рис.4) отношение $\frac{t}{h_{кр}}$ остается постоянным с изменением "q" (при постоянстве высоты плотины, длины крепления и размываемого материала - исходных параметров опыта).

Механизм отрыва частиц грунта в процессе размыва качественно сходен с тем, что описано в работе Ц.Е.Мирцхулава [5].

Профиль ямы местного размыва по оси лотка существенно отличается от такового, свойственного несвязным грунтам. В условиях песков профиль воронки имеет плавные очертания без резких выступов и провалов. В наших опытах профили получались ломаного очертания (рис.5).

Как видно из рис.5, в отличие от размыва песков (несвязных грунтов), в случае размыва связных (лёссовидных) грунтов конец крепления оголяется на всю глубину воронки. Следовательно, конструктивно конец крепления должен оформляться в виде сплошного зуба диафрагмы на всю глубину воронки размыва.

После окончания опытов на дне воронки оставались небольшие скопления или отдельные частицы песка, свидетельствующие о возможности образивного истирания монолита в процессе размыва, что отмечалось в [3]. Однако степень интенсивности этого истирания из наших опытов обнаружить не удалось. Для этой цели необходимо поставить специальные методические опыты. Изложенное выше позволяет сделать следующие выводы:

I) процесс размыва и параметры воронки размыва в связных лёссовых грунтах качественно отличаются от таковых в несвязных грунтах;

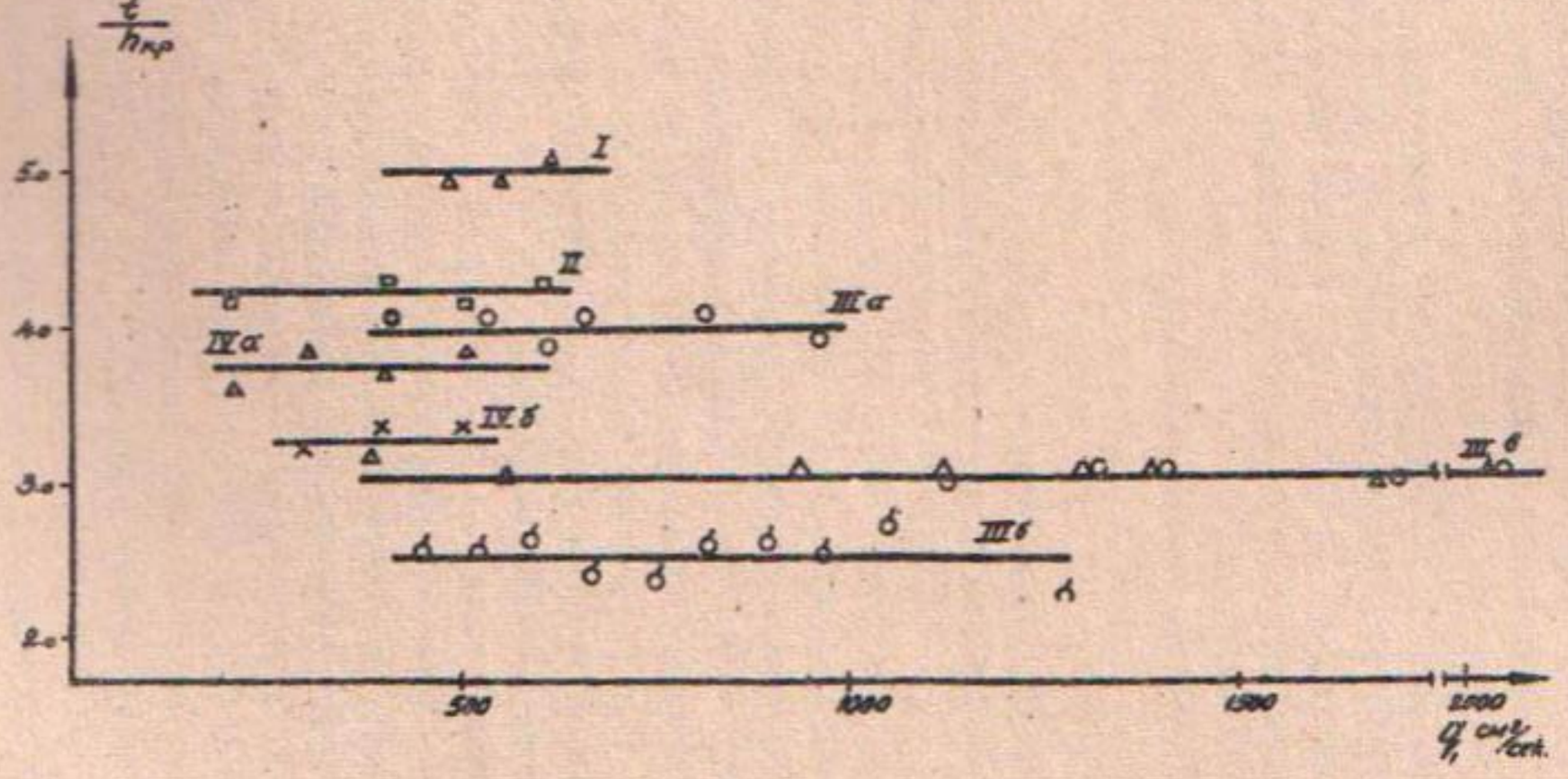


Рис.4 I– Опыты Р.С.Гальперина; II– И.И.Леви; III– Н.Ахмада; IУ– А.А.Кадырова

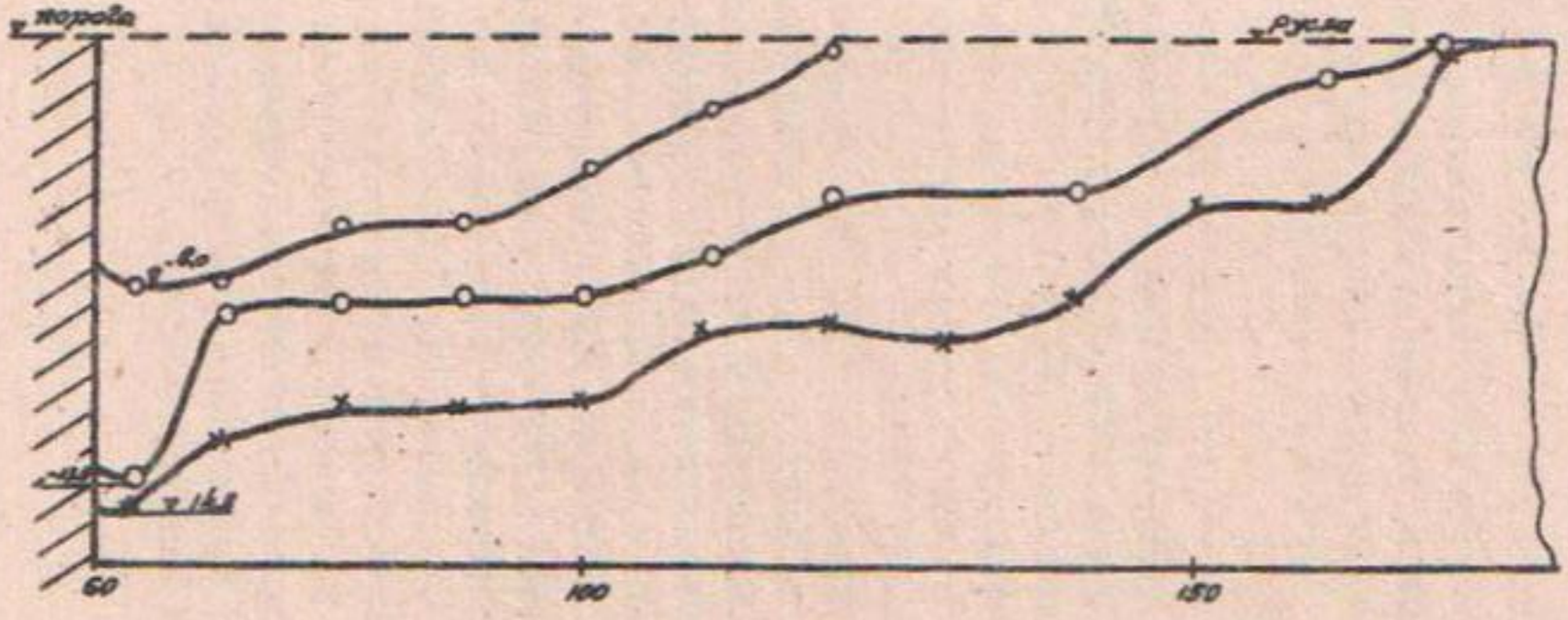


Рис.5 Профиль ямы разрыва по оси лотка

2) методики расчета глубины и других размеров воронок местного размыва, разработанные для условий несвязных грунтов, не могут непосредственно применяться для условий связных грунтов.

Литература

I. Вызго М.С. Эксплуатационные мероприятия, прогнозы и способы уменьшения местных размывов за гидротехническими сооружениями. Ташкент, изд-во "Наука" УзССР, 1966.

2. Вызго М.С. Консольные перепады. Труды САНИИРИ, вып.10, 1933.

3. Вызго М.С., Ахмедов Т.Х., Кадыров А.А. Влияние абразивных явлений на местные размывы за гидротехническими сооружениями и пути защиты сооружений. "Гидротехническое строительство", № 12, 1964.

4. Кадыров А.А. Некоторые особенности местных размывов за горизонтальным креплением. "Вопросы гидротехники", вып.27, 1965.

5. Мирцхулава Ц.Е. К вопросу устойчивости связных грунтов к размыву. Труды ГрузНИИГиМ, вып.18-19, 1957.

6. Мирцхулава Ц.Е. О глубине воронки размыва связных грунтов падающей струей и о методике их исследования. Труды коорд.совещ.по гидротехнике, вып.ХУ, 1964.

7. Россинский К.И. Местный размыв речного дна в нижних бьефах крупных гидротехнических сооружений. "Проблемы регулирования речного стока", вып.6, 1956.

8. Студеничникова Б.И. Размывающая способность потока и методы русловых расчетов. М., 1964.

9. Эсеналиев С. Мероприятия по предотвращению размыва внутрихозяйственной оросительной сети. Фрунзе. 1962.

10. Набиев А.Н. Глубина размыва падающей струей. Доклады АН УзССР, № 4, 1966.

В.Е. ТУЗОВ

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ДОННЫХ НАНОСОВ ПО ОБЪЕМУ РУСЛОВОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Все естественные водотоки своим потоком перемещают твердые частицы - наносы. Особенно в большом количестве перемещают их такие реки, как Амударья, Вахш и Пяндж.

Как известно, единственный вид передвижения потоком твердых частиц всех размеров - скачкообразное движение; разница только в длине и высоте скачков. Более тяжелые частицы, отделившись от дна и пролетев некоторое расстояние, вновь падают на дно в ожидании следующих благоприятных условий для их подъема, а более легкие частицы могут подниматься в самую толщу потока и перемещаться на очень большие расстояния. Поэтому для расчетов, когда в русле потока имеются частицы и достаточно крупные, передвигающиеся короткими скачками вблизи дна, и очень мелкие, переносящиеся во взвешенном состоянии на большие расстояния, целесообразно условное деление наносов на влекомые и взвешенные.

Такое деление наносов необходимо еще и потому, что поток в бытовых условиях не всегда полностью нагружен взвешенными наносами и способен переносить их гораздо больше, поэтому фактический расход взвешенных наносов не зависит от гидравлики его, а донные наносы, являясь руслообразующими, полностью зависят от гидравлики потока, поскольку поток ими всегда нагружен до предела.

Однако некоторое участие взвешенных наносов в

образовании русловых форм отмечается, так как они в небольшом количестве встречаются в донных отложениях.

После строительства гидротехнических сооружений резко нарушается гидрологический режим реки и возникает вопрос о том, как изменится русловой режим. В подобных случаях для решения многих практических задач, в частности для расчетов и прогнозирования русловых процессов и особенно для раскрытия истины такого грозного явления на Амударье, как интенсивный размыв берегов - дейгиш, необходимо знать содержание взвешенных и донных наносов до изменения гидрологического режима реки.

В условиях р.Амударьи содержание взвешенных наносов в потоке можно определить натурными измерениями любым из существующих методов.

Установить расход влекомых наносов непосредственным измерением пока невозможно из-за отсутствия достаточно надежных приборов, а по существующим расчетным формулам различных авторов значение количества донных наносов колеблется от одного до десяти процентов от взвешенных.

Так, по формуле И.И.Леви оно составляет около 2%, Г.И.Шамова - 5, В.Н.Гончарова - I, по измерениям А.Г.Хачатряна в голове канала Тамсака около I0%. При расчетах сток донных наносов часто принимается равным I0-I5 и даже 25% от стока взвешенных / 2 /. Существующие расчетные формулы имеют большой диапазон колебания значений расхода донных наносов для мелкопесчаных наносов с преобладающими фракциями диаметром 0,25-0,I мм.

Учитывая неясность в выявлении расхода донных наносов в условиях Амударьи, САНИИРИ и САОГИДРОПРОЕКТ

в 1960-1961гг. провели полевые исследования приустьевого участка р.Вахш с целью изучения русловых деформаций и определения стока донных наносов по объему русловой деформации.

Руслоформирующие процессы на реках Амударья, Вахш и Пяндж протекают в пространственных условиях или иначе в русле реки отмечаются одновременно горизонтальные и вертикальные деформации, причем они настолько сложны, что пока невозможно облечь их теоретически в достаточно надежную математическую форму. Поэтому мы пошли по пути натурных исследований, чтобы получить эмпирическую зависимость интенсивности русловой деформации от гидравлики потока.

Излагаемые ниже некоторые теоретические представления о русловых деформациях, описанные в работах / I, 3 /, явились основанием практического осуществления метода определения количества донных наносов по объему русловой деформации.

Русловые деформации бывают обратимые и необратимые. Основными элементами необратимых русловых деформаций являются эрозия и аккумуляция, меняющие рельеф земной поверхности. Эти два вида необратимой деформации связаны между собой транспортом наносов, поскольку размытый материал должен быть перенесен на место отложения.

Однако ввиду гидрологической изменчивости потока транспорт наносов сопровождается и сильно выраженными местными размывами и отложениями, не связанными с изменениями форм земной поверхности и являющимися обратимыми русловыми деформациями, в которых каждый размыв со временем компенсируется поступлением наносов сверху, а каждое вновь образовавшееся от-

ложение будет смыто, и его материал унесен по течению. Поэтому обратимые деформации и транспорт наносов должны рассматриваться как единый физический процесс.

Если в одном поперечном створе через небольшой интервал времени снять два профиля, то в русле будут отмечены некоторые изменения, в результате которых в одних местах появятся размывы, а в других отложения, и профиль русла изменится (рис.I). На рис.Iа эти деформации имеют непосредственное выражение, а на рис.Iб, который может быть назван графиком деформаций, все вертикальные изменения профиля отложены от одной горизонтальной оси. В межень эти деформации происходят в русле, а в паводок распространяются и на пойму.

Из рис.I можно определить площади отложений ΔF_o и размывов ΔF_p, соответствующие времени . Следя за русловыми деформациями путем последовательных промеров поперечников через короткие промежутки времени, можно построить интегральные кривые $F_o = f(t)$ и $F_p = f(t)$, где $F_o = \Sigma \Delta F_o$, а $F_p = \Sigma \Delta F_p$

Как правило, в рассматриваемом поперечнике одновременно происходят местные отложения и размывы, но маловероятно чтобы когда-нибудь площади этих деформаций были бы одинаковы. Поэтому кривая результирующих деформаций, ординаты которой дают разность интегрального отложения и размыва, будет представляться волнистой.

На рис.Iв изображен такой процесс, в котором в результирующих деформациях относительно малые отложения чередуются с небольшими размывами, и кривая извивается около горизонтальной оси, не проявляя тенденции к систематическому отклонению в ту или иную сторону. Эти графики могут иметь совершенно различный вид даже для двух створов, близко расположенных друг к другу.

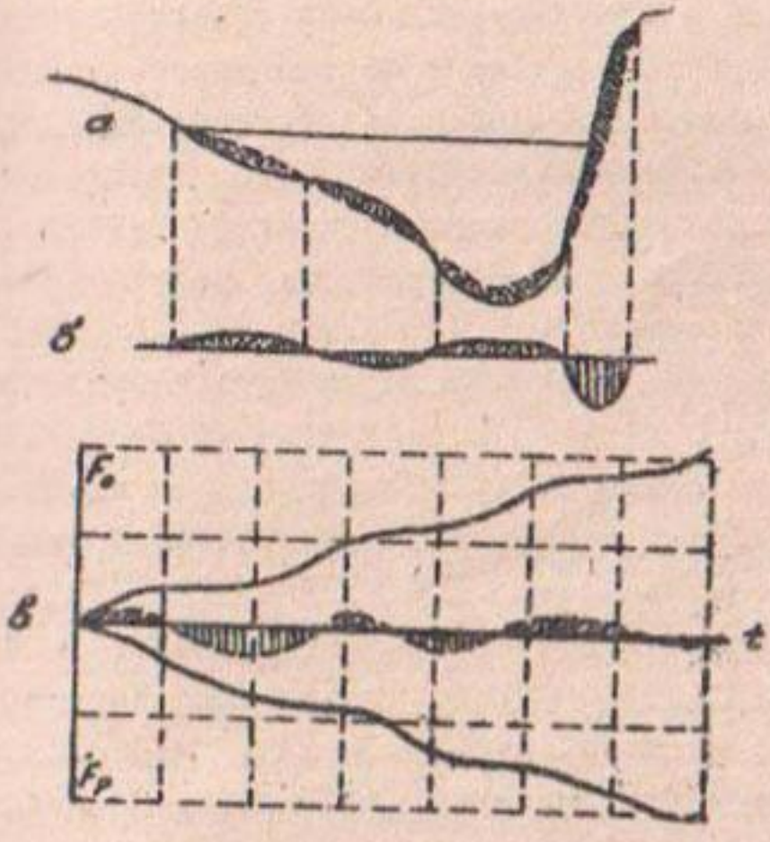


Рис.I Схема деформации русла в поперечном профиле: а-поперечный профиль; б-график деформации; в-интегральные кривые деформаций и их результирующая

Интегральные кривые, построенные для смежных плеса и переката, могут оказаться похожими по форме, так как размывы и отложения в обоих створах чередуются с одним и тем же периодом; но эти кривые окажутся сдвинутыми по фазе, поскольку знаки деформаций в этих створах будут противоположными.

Интегральная кривая, построенная для створа, расположенного между плесом и перекатом, будет отличаться не только по фазе, но и по форме, так как здесь отсутствуют сезонные накопления наносов и русло будет деформироваться в период переползания наносов через створ в виде песчаных гряд, отображаясь на кривой одновременным и почти одинаковым увеличением и размывов, и отложений.

Интегральная кривая деформаций, полученная осреднением кривых, построенных по нескольким створам, охватывающим значительный участок русла, будет более устойчивым показателем русловых деформаций. Протяженность такого участка должна быть не менее длины одной русловой единицы, т.е. равна длине одного плеса плюс переката.

Смена межени и половодья вызывает существенные изменения в формировании продольного профиля реки. В межень скорости на перекатах значительно превышают скорости на плесах, поэтому перекаты в этот период усиленно размываются, продукты размыва сносятся в ближайшие плесы. В результате дно на перекатах понижается, а на плесах наращивается. Во время паводка уклоны на плесах и перекатах относительно выравниваются; скорости на плесах увеличиваются, вместе с тем усиливается вымыв наносов на плесах и вынос их на перекаты, вследствие чего дно на перекатах снова наращивается (рис.2).

Таким образом, в паводок по всей длине реки все плесовые участки размываются, а перекаты наращиваются, в межень - наоборот. Продукты размыва дна реки за период паводка и межени (I год) влекомыми наносами перемещаются вниз по реке на длину одного плеса и переката, или на половину шага меандры. Тогда, чтобы определить количество донных наносов по русловой деформации, необходимо знать величину объема русловой деформации на длине плеса и переката. Отметки дна реки на плесах и перекатах даже на малых реках в течение одного паводка изменяются на несколько метров. Поэтому у подавляющего большинства рек, находящихся в условиях ненарушенного гидрологического режима, интенсивность необратимых деформаций чрезвычайно мала. Например, для понижения или повышения средней линии профиля равнинной реки в створе на I м потребуются многие десятки и сотни лет. В связи с этим будет допущена ошибка, если все деформации в русле считать обратимыми, выражающими расход донных наносов.

В случае, когда необратимыми деформациями можно пренебречь, в пределах рассматриваемого участка окажется режим динамического равновесия, т.е. количество донных наносов, переносимое рекой, не увеличивается и не уменьшается. Наносы через этот участок проходят транзитом, но осуществляется этот транзит путем равновеликих размывов и отложений.

Таким образом, если при режиме динамического равновесия руслового процесса на участке реки протяженностью один плес плюс перекат учесть все объемы размывов или отложений за время t, то этот объем будет стоком влекомых наносов за это время.

Подобная работа по определению стока донных на-

косов по объему русловой деформации выполнена на р.Вахш. Исследования проводились на участке реки, протяженностью 13,2 км по 16 промерным поперечникам. Русло реки начальной части участка - от створа I до 6 - сложено из гравелистых отложений, где процесс деформаций ограничивается самоотмосткой дна русла крупными фракциями наносов. Расстояние между створами 6 и 10 - участок перехода гравелистого русла в песчаное. Русловые деформации здесь также частично ограничены присутствием гравелистых отложений.

Концевая часть участка исследований - от поперечника 10 до 16, протяженность 6235 м - сложена только из мелкопесчаных отложений. Поэтому в дальнейшем для получения количественных характеристик русловой деформации нами использованы данные измерений только этой части участка с ярко выраженными и не ограниченными местными русловыми деформациями размывов и отложений (рис.3).

За период исследований с 7/IУ-1960 по 8/УI-1961гг. (428 суток) сделано 20 промеров поперечников, выполненных с периодами между промерами от 6 до 67 суток; расходы воды при этом изменялись от 120 до 2400 $м^3$/сек., т.е. в 20 раз.

По результатам промеров вычерчивали поперечные профили, по которым путем последовательного совмещения предыдущего промера с последующим на каждом поперечнике определяли площади, а по ним - объемы отложений и размывов на всем участке. Таким образом, за каждый период были установлены объемы русловой деформации - отложений и размывов. Объем русловой деформации на длине русловой единицы (плес плюс перекат) за каждый период вычисляли путем арифметического деления значений объема

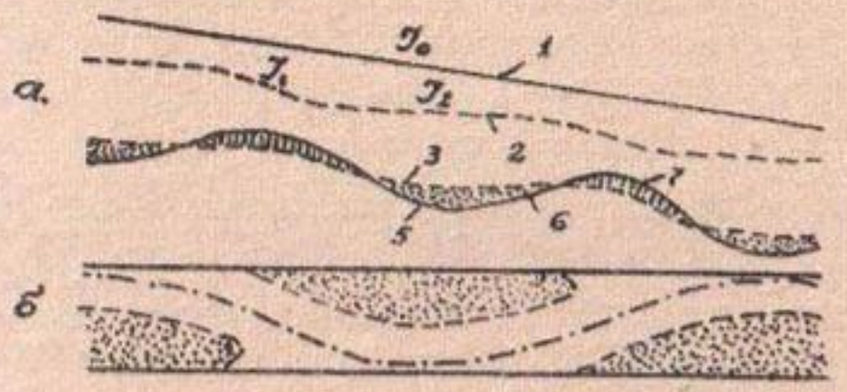


Рис.2 Схема деформации русла на плесе и перекате: а-продольный профиль. I-горизонт воды в паводок; 2-горизонт воды в межень; 3 - дно в межень; 4-размыв переката; 5-намыв плеса; 6-дно в паводок; б-план

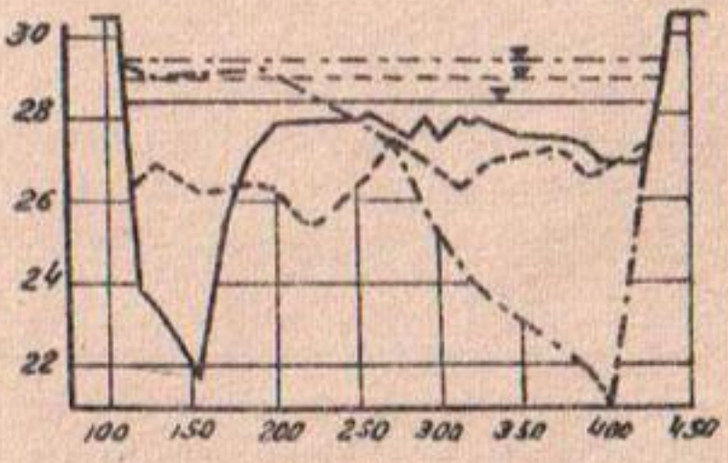


Рис.3 Совмещенные поперечные профили русла р.Вахш на поперечнике I3

русловой деформации всего участка исследований на количество русловых единиц, входящих в участок исследований за тот же период. Количество русловых единиц, входящих в длину участка для каждого периода, выявляли по продольному профилю средних отметок дна реки и принимали среднеарифметическое значение предыдущего и последующего промеров. Продольные профили средних отметок дна, план русла и местоположение створов на опытном участке показаны на рис.4. Результаты подсчетов объемов русловой деформации по периодам, на всем участке и на длине русловой единицы сведены в табл.I.

За величину стока донных или руслоформирующих наносов можно принять величину объема размывов или отложений. В данном случае суммарный объем размывов превышает объем отложений на I48,5 тыс.м^3, что соответствует I,5%, поэтому будет более правильным, если за величину стока наносов принять среднеарифметическое значение объемов отложений и размывов.

Итак, на участке исследований сток донных наносов по объему русловой деформации за 428 суток составляет 9550 тыс.м^3, или I5280 тыс.т при объемном весе донных отложений I,6 т/м^3 (табл.I).

На рис.5 показаны интегральные кривые объемов размыва и отложений на русловой единице, построенные по данным табл.I; они почти одинаковой формы и симметрично расположены.

Кривая результирующих деформаций, ординаты которой дают разность интегрального отложения и размыва, представляет волнистую кривую, извивающуюся около горизонтальной оси, где относительно небольшие размывы чередуются с малыми отложениями.

Таким образом, интегральные кривые объема русло-

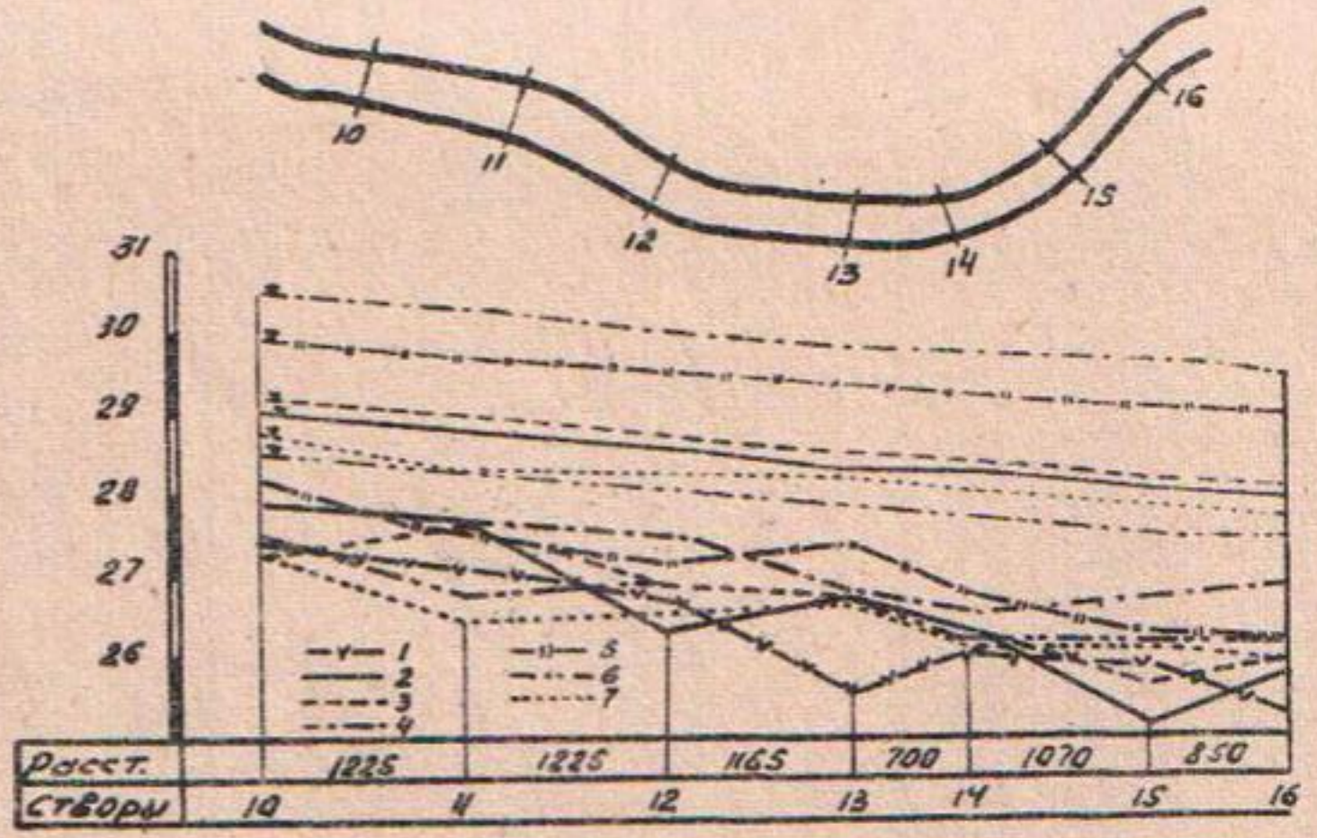


Рис.4 План и совмещенный продольный профиль горизонта воды и средних отметок дна р.Вахш на участке исследований I-промер I; 2-промер 2; 3-промер 4; 4-промер 8; 5-промер I0; 6-промер I5; 7-промер I9.

Таблица I

Объемы русловой деформации по периодам на участке исследований и на участке русловой единицы

номер промера	Дата промера поперечников	период между промерами, сутки	Объем русловой деформации между промерами на всем участке: размыв, м³	Объем русловой деформации между промерами на всем участке: отложение, м³	количество русловых единиц	Объем русловой деформации между промерами на русловой единице: размыв, м³	Объем русловой деформации между промерами на русловой единице: отложение, м³
I	7/IУ-60	2I	853700	585900	2,0	426850	292950
2	28/IУ-60	I9	I353700	I085700	2,0	676850	542850
3	I7/У -60	I4	770200	II67700	2,0	385I00	583850
4	3I/У-60	I0	935300	895900	2,0	4I7650	447950
5	I0/УI-60	I0	777000	8III00	2,0	388500	405550
6	20/УI-60	9	58I400	9I9200	I,5	387600	6I2800
7	29/УI-60	9	604400	777400	I,0	604400	777400
8	8/УП-60	2I	I799500	I83900	I,25	I439600	I47I920
9	29/УП-60	II	724400	47I000	I,5	482930	3I4000
I0	9/УШ-60	6	547800	485600	I,5	365200	323730
II	I5/УШ-60	7	5I2500	932800	2,0	256250	466400
I2	22/УШ-60	I8	846800	II53400	2,0	423400	576500
I3	9/IX-60	39	55I800	453900	I,75	3I53I0	259370
I4	I8/X-60	67	944000	558400	I,5	629330	372270
I5	24/XП-60	60	643700	662800	I,5	429I30	44I870
I6	22/П-6I	36	650500	445400	I,75	37I7I0	2545I0
I7	29/Ш-6I	I6	530200	432400	I,75	302970	247090
I8	I4/IУ-6I	33	I079900	II25900	I,5	7I9930	750660
I9	I7/У-6I	22	944700	888500	I,25	755760	7I0800
20	8/УI-6I	428	I575I500	I5692900	I,65	9624030	9475460

Таблица 2

Расчетные значения безразмерных параметров к графику зависимости относительного насыщения потока донными наносами от числа Фруда

номер параметра	Дата промера поперечников	Период между промерами, t_n сутки	Средний расход за период, Q м³/сек	$\frac{V^2}{gH}$	Для размывов: интенс. деформ. $D_p = \frac{W_p}{t_n}$ м/сек	$\frac{D_p}{\omega}$	Для отложений: интенс. деформ. $D_o = \frac{W_o}{t_n}$ м/сек	$\frac{D_o}{\omega}$	относительная шероховатость русла	$\frac{D_p \cdot \sigma}{Q \cdot H} \cdot 10^3$	$\frac{D_o \cdot \sigma}{Q \cdot H} \cdot 10^3$
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2
I	7/УI-60	2I	3I8	0,030	0,236	0,742	I,I62	0,5I0	0,I83	0,I36	0,093
2	28/IУ-60	I9	643	0,050	0,4I7	0,650	0,334	0,520	0,I42	0,092	0,074
3	I7/У-60	I4	836	0,083	0,3I9	0,382	0,482	0,576	0,I43	0,055	0,082
4	3I/У-60	I0	I098	0,I48	0,483	0,440	0,5I8	0,472	0,I50	0,066	0,07I
5	I0/УI-60	I0	III5	0,I28	0,450	0,404	0,470	0,42I	0,I45	0,059	0,06I
6	20/УI-60	9	I347	0,I67	0,497	0,370	0,788	0,585	0,I40	0,052	0,082
7	29/УI-60	9	I82I	0,I95	0,777	0,427	I,000	0,549	0,I20	0,05I	0,066
8	8/УП-60	2I	I623	0,I66	0,794	0,489	0,8I0	0,498	0,I25	0,06I	0,002
9	29/УП-60	II	I426	0,I68	0,507	0,356	0,335	0,235	0,I36	0,048	0,032
I0	9/УШ-60	6	I727	0,I85	0,705	0,408	0,625	0,362	0,I22	0,050	0,044
II	I5/УШ-60	7	I93I	0,236	0,424	0,220	0,77I	0,400	0,I32	0,029	0,053

I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2
I2	22/УШ-60	I8	I394	0,30I	0,272	0,I95	0,37I	0,266	0,I70	0,033	0,045
I3	9/IX-60	39	473	0,I30	0,093	0,I98	0,077	0,I63	0,226	0,045	0,037
I4	I8/X-60	67	254	0,057	0,I07	0,422	0,0632	0,249	0,244	0,I03	0,06I
I5	24/XII-60	60	I79	0,035	0,083	0,464	0,085	0,475	0,252	0,II7	0,I2
I6	22/II-6I	36	I57	0,0I9	0,I20	0,765	0,082	0,522	0,230	0,I76	0,I2
I7	29/III-6I	I6	259	0,024	0,2I9	0,846	0,I79	0,692	0,I94	0,I64	0,I34
I8	I4/IУ-6I	33	429	0,044	0,253	0,590	0,263	0,6I3	0,I74	0,I03	0,I06
I9	I7/У-6I	22	756	0,062	0,398	0,526	0,375	0,492	0,I44	0,076	0,07I
20	8/УI-6I	428									

ПРИМЕЧАНИЕ: Диаметр донных отложений для всех периодов принят 0,3 мм.

вой деформации и их результирующая, построенные по натурным данным, подтверждают правильность изложенных выше теоретических представлений и принятой методики исследований.

Как было сказано выше, в задачу полевых экспериментов входило не только определение донных наносов по объему русловой деформации, но и выявление закономерности зависимости русловой деформации от гидравлики потока. Для этого на график (рис.6) нанесены значения безразмерных параметров $\frac{\mathcal{D}d}{QH}$ и $\frac{V^2}{gH}$, приведенные в табл.2.

$\frac{\mathcal{D}d}{QH}$ - произведение относительного насыщения потока донными наносами $\frac{\mathcal{D}}{Q}$ на относительную шероховатость русла $\frac{d}{H}$; $\frac{V^2}{gH}$ - число Фруда.

Как видно из рис.6, между $\frac{\mathcal{D}d}{QH}$ и $\frac{V^2}{gH}$ существует криволинейная связь, которая согласно общей направленности точек отвечает уравнению степенной функции $y = kx^{\alpha}$

Параметры "k" и "α" уравнения (I) определены методом наименьших квадратов и численно равны $k = 0{,}00002$, $\alpha = -0{,}5$. После подстановки их значений уравнение (I) примет следующий вид:

$$\frac{\mathcal{D}d}{QH} = \frac{0{,}00002}{\left(\frac{V^2}{gH}\right)^{0.5}} \qquad (2)$$

На рис.6 приведена кривая, построенная по зависимости (2). Из (2) находим выражение интенсивности русловой деформации или расход донных наносов в объемном измерении ($м^3$/сек):

$$\mathcal{D} = K\frac{HQ}{d\left(\frac{V^2}{gH}\right)^{0.5}} \qquad (3)$$

Уравнение расхода донных наносов по весу будет выглядеть так:

$$G_g = K\cdot\frac{\delta_{гр}\cdot H\cdot Q}{d\left(\frac{V^2}{gH}\right)^{0.5}} \qquad (4)$$

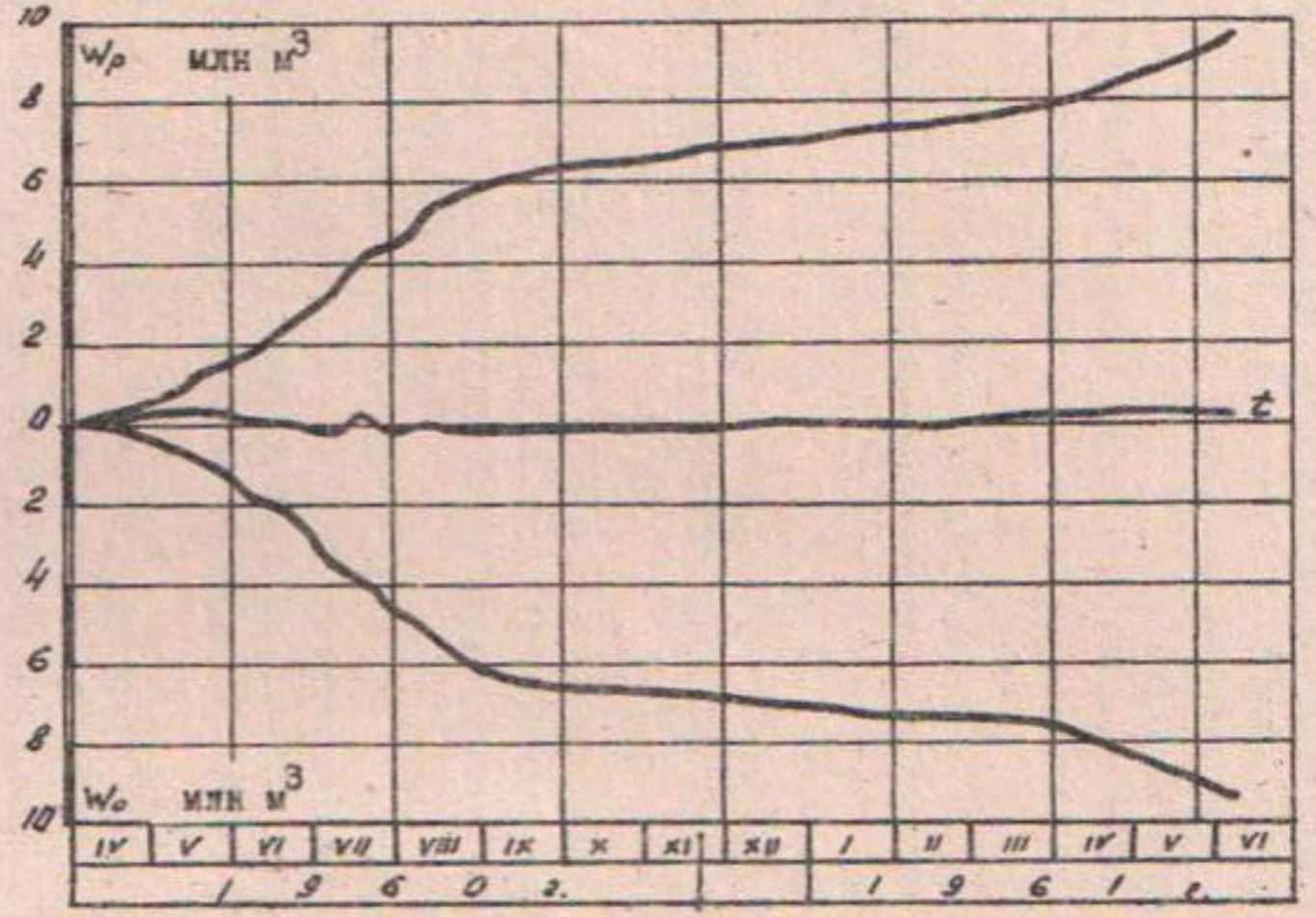


Рис.5 Интегральные кривые объема размыва и отложений р.Вахш во времени на длине плес+перекат

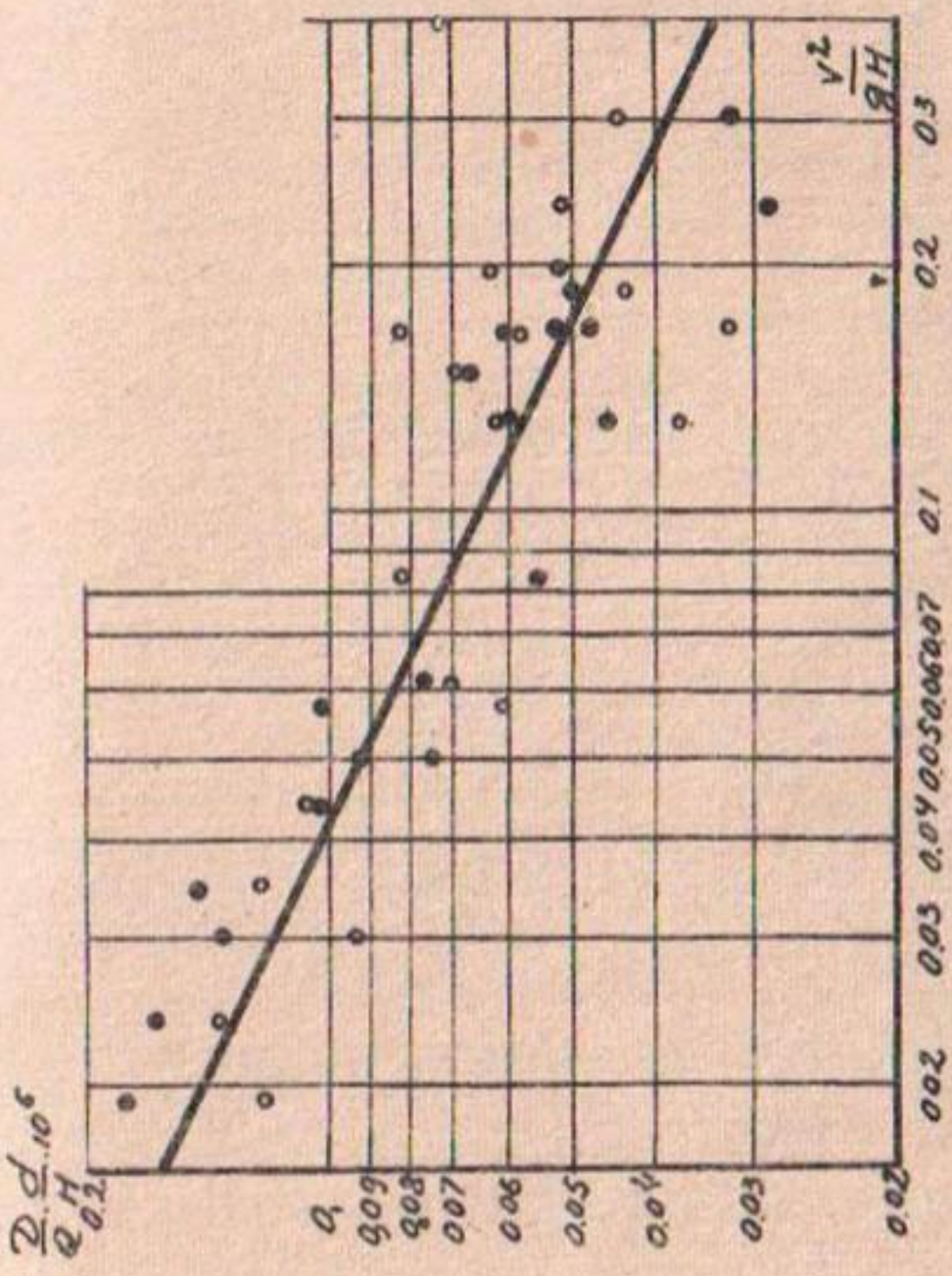


Рис.6 График зависимости относительного насыщения потока донными наносами от числа Фруда: - по объему отложений; - по объемам размывов

Таблица 3

Среднегодовые значения жидкого и твердого стока
р.Амударьи в створе гидрологических станций

Год	Вода: расход $м^3$/сек	Вода: сток $км^3$	Взвешенные наносы (натурные): насыщение потока $кг/м^3$	Взвешенные наносы (натурные): расход кг/сек	Взвешенные наносы (натурные): сток млн. т.	Донные наносы (расчетные): насыщен. потока, $кг/м^3$	Донные наносы (расчетные): расход кг/сек	Донные наносы (расчетные): сток, млн. т.	процент ы донных наносов от взвешенных	насыщение потока: взвеш. и дон. нанос, $кг/м^3$	Сумарный сток наносов, млн.т
				Керки							
I955	I760	55,50	3,744	6590	207,82	I,4I7	2494	78,65	37,9	5,I6I	286,47
				Туямуюн							
I955	I887	59,5I	4,900	9246	292,90	I,377	2598	8I,64	28,0	6,277	374,54
I958	2350	74,42	7,290	I7000	536,II	I,333	3I33	98,49	I8,4	8,623	634,60
I96I	I527	48,I5	3,220	49I7	I50,5I	I,2I4	I854	58,30	38,7	4,434	208,8I
I964	I800	56,92	3,478	6260	I97,96	I,294	2329	73,68	37,2	4,772	27I,63
				Чатлы							
I955	I330	4I,94	2,700	3590	II3,2I	I,46I	I943	6I,29	54,0	4,I6I	I74,50
I958	I660	52,35	3,I33	5200	I63,99	I,533	2545	80,I2	48,8	4,666	244,I2

где: G_g - расход донных наносов, кг/сек;
K - коэффициент, равный 0,00002;
$\gamma_{гр}$ - объемный вес донных отложений, кг/м^3;
H - средняя глубина потока, м;
Q - расход воды, м^3/сек;
V - средняя скорость потока, м/сек;
d - средний диаметр донных отложений, мм;
g - ускорение силы тяжести = 9,81 м/сек^2.

При наличии гидравлических элементов потока, среднего диаметра и объемного веса донных отложений по предлагаемой формуле можно определять расход донных наносов для различных расходов воды и в любом створе.

Формулу (4), полученную эмпирическим путем по материалам исследований приустьевого участка р.Вахш, можно использовать в расчетах для вычисления расхода донных наносов Аму-Дарьи, Пянджа и других рек с мелкопесчаными руслами.

В качестве примера нами выполнены расчеты по выявлению стока донных наносов р.Амударьи по трем гидрологическим створам (табл.3). Гидравлические элементы потока, объемный вес и диаметр донных отложений для расчета взятыпо гидрологическим ежегодникам.

Диаметр и объемный вес донных отложений приняты постоянными для створа Керки d =0,3 мм, $\gamma_{гр}$=1,6 т/м^3; Туямуюн d =0,23 мм, $\gamma_{гр}$=1,56 т/м^3; Чатлы d =0,176 мм, $\gamma_{гр}$= 1,54 т/м^3.

По данным табл.3, величина стока донных наносов (% от взвешенных) изменяется как по длине реки, так и в каждом створе в зависимости от водности года. Например, в створе Туямуюн от 18% в многоводный год до 39 - в маловодный.

На рис.7 изображены точки расчетных значений

расхода донных наносов, вычисленные по формуле (4) при различных расходах воды, откуда видно, что с увеличением расхода воды увеличивается расход донных наносов, а насыщение потока донными наносами (μ) уменьшается. Кроме того, максимальные величины насыщения потока донными наносами не превышали 3 кг на кубометр воды. / 4 /.

Часто применяющийся способ определения донных наносов Амударьи, как 10% от взвешенных, дает заниженные результаты и малопригоден даже для приблизительных расчетов.

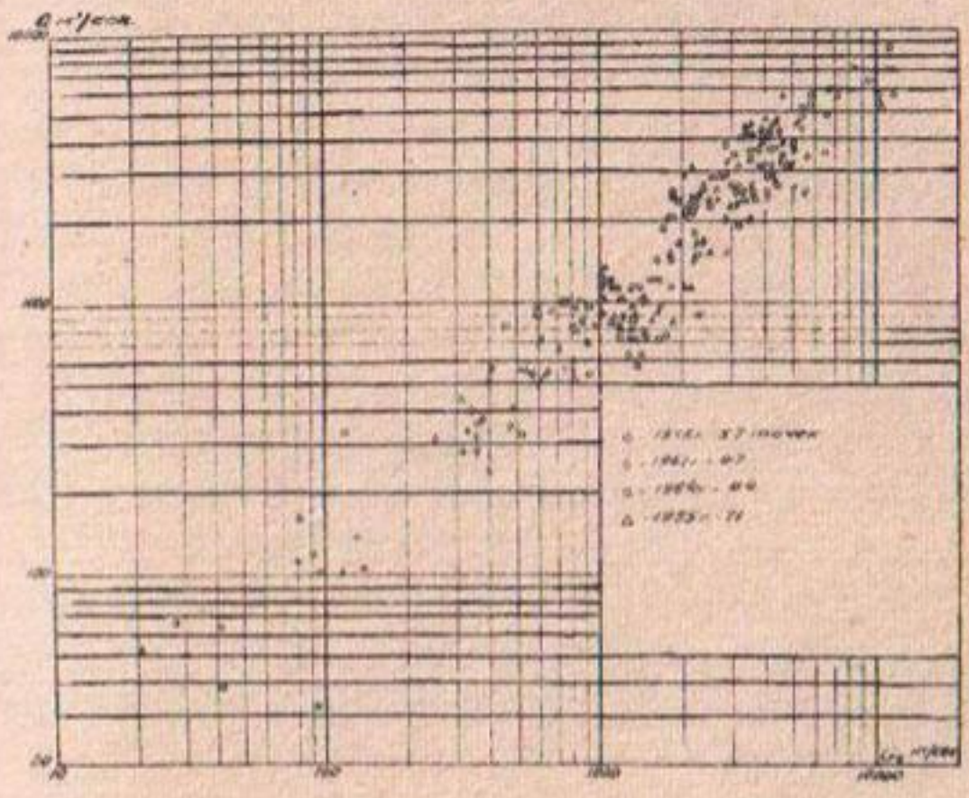


Рис.7 Расчетный график зависимости расхода донных наносов от расхода воды на р.Амударье в створе Тюя-Мукна

Литература

I. Алтунин С.Т. - Регулирование русел. М., Сельхозгиз, 1962.

2. Абдураупов Р.Р. - расчет заиления нижнего бьефа низконапорных гидроузлов наносами. Сб."Вопросы гидротехники", вып.27, Ташкент, Изд-во "Наука" УзССР, 1965.

3. Кондратьев Н.Е., Пиньковский С.И., Ляпин А.Н. Попов П.В., Федоров Н.И., Якунин И.И. - Русловой процесс. Л., Гидрометеорологическое изд-во, 1959.

4. Орлов И.Я. - О движении донных наносов и о предельных значениях влекущей силы и скорости. "Гидротехника и мелиорация", М., № II, 1950.

5. Тузов В.Е. - Некоторые результаты полевых исследований деформации русла приустьевого участка реки Вахш. "Вопросы гидротехники", вып.6, Ташкент, изд-во АН УзССР, 1962.

Э.А. ТУРКС

МЕТОД ПОДБОРА РАЗМЕРОВ ОДНОКАМЕРНЫХ ИРРИГАЦИОННЫХ ОТСТОЙНИКОВ С МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ОЧИСТКОЙ И ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ЗЕМЛЕСОСАМИ В УСЛОВИЯХ ВОДОЗАБОРА из р.АМУДАРЬИ

В Районах орошаемого земледелия ежегодно производятся огромные работы по очистке каналов от наносов. Только в республиках Средней Азии и Закавказья объем их достигает 150 млн.м^3 со стоимостью затрат на очистку 30-35 млн.рублей. Основной объем работ - до 100 млн.м^3 приходится на долю УзССР и ТССР, значительная часть которых выполняется на ирригационных системах с водозабором из р.Амударьи.

Для борьбы с наносами в ирригационной практике все шире получает развитие, как наиболее рациональное средство, гидромеханизация. На ее долю падает большая часть очистных работ в основном на магистральных каналах и отстойниках, которые осуществляются землесосами типа ТМПР, ВНИИГиМ, ПОТИ, "Ирригатор", "Сормовец", ДЭР-250 и др.

Для более рационального использования землеройной техники и снижения расходов на поддержание и очистку ирригационных каналов крайне назрела необходимость дальнейшего совершенствования технологии механизированной очистки и, в частности, разработки методики расстановки в забой землесосов при очистке действующих каналов, подверженных непрерывному отложению наносов.

При бесплотинном водозаборе основными мерами, до последнего времени, в проектах рекомендуется очистка землесосами однокамерного отстойника определенны

размеров, расположенного в голове магистрального канала.

Если разработанные учеными теории осветления воды не вызывают сомнений, то методы расчета и эксплуатации однокамерных отстойников, однобоко опирающиеся на эти теории, без учета условий работы действующего парка землесосов, их конструктивных особенностей, создания оптимальных условий забоя, равномерной и постоянной загрузки - явно дефектны, т.е. не отвечают основным современным требованиям нормальной эксплуатации землеройных механизмов.

В условиях бесплотинного водозабора из р.Амударьи особенно неудовлетворительно решается вопрос о применении определенных размеров однокамерного отстойника на ирригационной системе, сильно заиленной в периоды прохода паводков реки, когда для удаления наносов, по принятым расчетам, требуется двух, трехкратное увеличение мощности парка землесосов против средних условий. При этом не учитывается, что паводковые горизонты воды в реке позволяют допустить отложение некоторого количества наносов в головной части магистрального канала без нарушения плановой водоподачи в систему. В связи с этим в паводковый период необходимо рассмотреть вопрос не об увеличении парка землесосов, а обеспечении предельно минимальным парком, максимально увеличить возможную пропускную способность головного участка канала, доведя ее к критическому (осенне-весеннему) периоду водозабора до проектной.

Как показала многолетняя практика эксплуатации головного участка Таисакинского канала, в основу расчета однокамерного отстойника необходимо принимать мощность действующего (проектного) парка землесосов, обеспеченного ежемесячно определенными объемами работ, т.е. сне-

дует коренным образом изменить методику расчета размеров отстойника. При интенсивном отложении наносов в головной части канала размеры однокамерного отстойника целесообразно устанавливать методом подбора, соблюдая следующие правила расстановки в забой землесосов:

I. Учитывая, что наносы откладываются на первых километрах больше, чем на последующих, в продольном направлении канала-отстойника необходимо поддерживать равновеликие площади живого сечения (точнее расходные характеристики) на длине, определяемой подпором, исходя из производительности действующего парка землесосов и интенсивности отложения наносов, за некоторый расчетный период времени (практически месячный).

При расположении участка очистки выше головного сооружения, в зоне подпора, длина его ограничивается рекой и головным сооружением, и только в некоторых случаях спускается ниже последнего.

2. В поперечном сечении необходимо работать по оси канала отстойника по возможности на полную глубину опускания сосуна землесоса, что весьма эффективно увеличивает производительность земснаряда и в то же время создает в аллювиальном грунте относительно устойчивый, гидравлически наивыгоднейший профиль с высокой транспортирующей способностью как расходов воды, так и наносов.

При таком способе производства работ появляется возможность регулировать объем отложения наносов действующим парком землесосов.

По мере роста мощности парка длина очистки будет соответственно укорачиваться, а поперечное сечение увеличиваться за счет ширины или одновременно глубины, т.е. участок очистки наносов землесосами будет

подобен отстойнику с переменными (во времени) размерами.

Порядок подбора длины участка работ и расстановки в забой землесосов в первом приближении следующий: из общего объема (W) заиления головного участка канала, определяемого путем съемки в конце каждого месяца, вычитается объем (P) возможной месячной производительности действующего парка землесосов, избыточный объем ($W - P$) делится на общую длину заиленного участка, что дает средний объем $\rho_{ср}$ избыточного заиления на I пог.м канала. Из продольного профиля по графе объемов заиления находим пикет, начиная с конца, где объем равен избыточному заилению ($\rho_{ср}$) на погонный метр канала. Этот пикет и определяет длину выверасположенного участка, подлежащего очистке, уточнять которую практически не приходится, если не ставятся другие специальные задачи. Вычислив затем объем работы на каждом пикете, как разность между объемом заиления, указанным в графе продольного профиля и избыточным объемом ($\rho_{ср}$) выделяют участки работы каждому землесосу. При этом необходимо исходить из месячной производительности землесоса и его конструктивной характеристики.

Такой способ расчета разработан нами на основе многолетнего опыта борьбы с наносами в голове Ташсакинского магистрального канала в Южном Хорезме и принят Управлением Амударьинских межреспубликанских каналов (Упрадик) с 1949 года.

Из 8,5 млн.м^3 взвешенных наносов, поступающих в среднем ежегодно в канал, до 3,0 млн.м^3 выносится на поля, 800 тыс.м^3 по проекту должно осаждаться в отстойнике, а остальные - в распределительной и оросительной сети. Фактически объем очистки отстойника за период с 1941 по 1949 год составлял ежегодно в среднем I млн.м^3,

при этом на головном участке канала и в отстойнике оставалось к концу года 600-700 тыс.м^3 наносов, которые почти на 50% снижали пропускную способность канала и создавали весьма критическое положение с водозабором в предпосевно-промывной период следующего года. Для очистки вручную оставшихся наносов приходилось привлекать десятки тысяч колхозников.

Применение нового способа производства работ позволило Упрадику уже в 1949г. полностью механизировать очистку головного участка. К весне 1950г. пропускная способность Ташсакинского магистрального канала была доведена до проектной, а с пуском в эксплуатацию струенаправляющей системы по недопущению донных наносов в последующие годы значительно превзошла ее (табл.I).

Если учесть, что при этом часть наносов прошла ниже и отложилась в межхозяйственной сети I-го порядка (объем их, по данным Хор. ОблУОС, в среднем за год равен 800 тыс.м^3, а цена за I м^3 - 0,I7 руб), то и тогда общая стоимость очистки на I м^3/сек водозабора в критический период составит $\frac{800000 \times 0{,}17}{125{,}0} + 1870 = 1100 + 1870 =$ 2,97 тыс. рублей

Таблица I

Год	Объем очистки тыс.м^3			Не допущено донных наносов струенаправл. системой	Расход в начале года (при рейке 260 -критический период водозабора) м^3/сек	Стоимость в тыс.руб.	
	механизмами	вручную	всего			Общая	на I м^3/сек в критич. период водозабора из реки
I	2	3	4	5	6	7	8
1941					II3,0(проект)		

I	2	3	4	5	6	7	8
I946	787	570	I357	-	50,0	5I0,0	7,70
I947	I030	537	I567	-	66,0	5I9,0	8,20
I949	I370	-	I370	50	63,0	I97,0	I,83
I950	I306	-	I306	43I	I07,0	I86,3	I,44
I95I	I520	-	I520	656	I30,0	220,5	I,70
I952	I560	-	I560	870	I30,0	228,7	I,77
I953	I395	-	I395	844	I30,0	203,4	I;56
I954	I455	-	I455	9I5	I30,0	2I4,I	I,65
I955	I200	-	I200	I054	I30,0	I79,5	I,39
I956	II83	-	II83	II27	I30,0	I79,2	I,49
I960	I398	-	I398	836	I20,0	203,5	I,56
I96I	I627	-	I627	830	I30,0	236,0	I,87
I962					I25.0		

ПРИМЕЧАНИЕ: I. В связи с размывом реки и строительством обводных каналов указанный способ с I963г. в голове Ташсакинского канала не применяется, поэтому в критический период канал снизил достигнутую пропускную способность.

2. Стоимость работ определена по приведенным ценам к I96I году.

3. фактическая цена I м^3 очистки механизмами, по данным Упрадика, I4 коп., а затраты на I м^3 недопущенных наносов струенаправляющей системой - I,0 коп

В связи с применением нового способа производства работ Упрадик с I949г. заменил проектное поперечное сечение канала на участке механизированной очистки равновеликим полигональным сечением с заглубленным дном по оси канала на ширине нормального забоя.

Были изменены также технические условия производства договорных работ Упрадика с Ташсакинской машинно-экскаваторной станцией по очистке канала; взамен проекта производства работ от заказчика требуется ежемесячное техническое задание на расстановку землесосов.

Техническое задание с продольным профилем выдается подрядчику (строительно-ремонтное управление) в двух экземплярах не позднее первого числа каждого месяца. Один экземпляр чертежа подрядчик, разрезав по участкам работ землесосов, выдает для исполнения каждому бригадиру; два других остаются у заказчика (Управление оросительной системы), причем, по одному из них представитель заказчика ежедневно принимает и контролирует работу каждого землесоса.

Предложенный способ расчета и производства механизированной очистки имеет следующие достоинства:

1. Оптимально используется мощность действующего парка землесосов в течение всего года.

2. Этот метод производства работ, по сравнению с очисткой землесосами постоянных размеров отстойника, допускающего в некоторые периоды выпадение мельчайших фракций наносов, которые могут быть вынесены на поля (и частично отложены во временной оросительной сети, что также не подлежит удалению), сокращает общий годовой объем отложений, подлежащий очистке в целом по ирригационной системе, т.е. повышает процент механизации очистки действующим парком землесосов и резко снижает как общие затраты на очистку, так и на I $м^3$/сек воды, поступающей в ирригационную систему в критический период водозабора (табл.I).

3. Достигаемое уменьшение отложений наносов в головной части магистрального канала за вегетационный пе-

риод позволяет после закрытия системы в оставшийся доморозный период очистить канал землесосами до проектных и даже сверхпроектных размеров. Таким образом, обеспечивается подготовка канала к критическому (из рек ледникового питания) предпосевко-промывному периоду водозабора следующего года.

Весьма показательно, что на других ирригационных системах, действующих, в бассейне р.Амударьи, где пока еще не получил внедрения такой способ производства механизированной очистки и струенаправляющие системы по борьбе с донными наносами не установлены, затраты на I м^3/сек водозабора в критический период обходятся в несколько раз дороже.

Для сравнения приведены данные объемов ежегодной очистки и стоимости в голове на других ирригационных системах с водозабором из р.Амударьи:

I. Ургенч-арна и Октябрь-арна в Хорезмской области, по данным Хор.ОблУОС за 1965г., объем очистки составил 1950 тыс.кубометров стоимостью 325,5 тыс.руб. При суммарном водозаборе в критический период (рейка, пост Тамсака-260) $Q_{крит}$= 30 м^3/сек; затраты на I м^3/сек составили 11,0 тыс.рублей.

2. Амубухарский канал. Объем очистки в головной части, по данным Бухарского ОблУОС за 1965г. составил 3425 тыс.кубометров, стоимостью 1085,0 тыс.руб. При $Q_{кр}$= 71 м^3/сек (75% обеспечения по проекту) затраты на I м^3/сек составили 15,3 тыс.рублей.

3. По данным отчетов б.Чарджоуского ОблУОС ТССР, указанные удельные затраты по очистке в голове каналов Кульарык, Берзен, Саят и др. также в 3-4 раза выше, чем в головной части Тамсакинской системы.

Попытки теоретически рассчитать сложный процесс

отложения наносов в однокамерном отстойнике в конечном итоге уводят авторов в сферу условных расчетных схем, и только опыт практики позволит определить необходимый предельно минимальный парк механизмов, который должен гарантировать плановый водозабор ирригационной системы без ручной очистки наносов.

Для дальнейшего снижения расходов на поддержание и очистку ирригационных систем также необходимо:

I. при подборе парка механизмов для очистки системы от наносов в голове магистрального канала принимать более мощные землесосы типа "Сормовец", ДЭР-250, землесосы с дизель-мотором 3Д-6 и помпой I2-НЗ, а при наличии дешевой электроэнергии - землесосы с электроприводом типа 300-40 и I00-35 с транспортированием пульпы по трубопроводам (лоткам) в реку;

2. при переустройстве головного водозабора систем стремиться к объединению и сосредоточению его в одном месте на устойчивом вогнутом берегу с применением в голове магистрального канала установки струенаправляющей системы проф. М.В.Потапова по созданию активной местной искусственной поперечной циркуляции потока, отвлекающей донные наносы в реку; и только при неустойчивом береге реки применять многоголовной водозабор;

3. обратить внимание научно-исследовательских институтов и органов эксплуатации на весьма назревшую необходимость проведения исследований в производственных условиях всего процесса выпадения наносов и очистки в голове магистральных каналов. В результате должна быть разработана рациональная технология механизированной очистки в разных условиях водозабора для каждой системы, что несомненно выявит колоссальные резервы мощности действующего парка землесосов и сократит эксплуатаци-

ошные расходы.

Учитывая, что снижение затрат на единицу продукции - итоговый показатель эффективности мероприятия, нами рекомендуется широко применять указанный производственный опыт очистки Ташсакинского канала, позволяющий оптимально использовать имеющуюся землеройную технику и выявить, таким образом, колоссальные внутренние резервы тысячного парка землесосов, занятых очисткой ирригационных каналов в республиках Средней Азии и Закавказья.

И.УСМАНОВ

ИССЛЕДОВАНИЯ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ДРЕНАЖА В УСЛОВИЯХ ГОЛОДНОЙ СТЕПИ

В мелиоративной практике все более широкое распространение находит закрытый дренаж, являющийся эффективным способом оздоровления земель. Несмотря на то, что сооружение такого дренажа обходится дороже, чем открытой сети, он надежнее и дешевле в эксплуатации и, кроме того, отвечает требованиям механизации полевых работ.

Однако закрытый дренаж в условиях Средней Азии не нашел должного распространения. Причина этому - высокие капиталовложения, необходимые для его устройства. Поэтому в связи с развитием мелиорации актуальной проблемой является снижение стоимости дренажа. Это может быть достигнуто за счет использования дешевых и эффективных материалов.

Еще нет таких материалов, употребление которых позволило бы получить большой технико-экономический эффект. Применяемые в Средней Азии, в частности в Голодной степи, гончарные, асбестоцементные и полиэтиленовые трубы не удовлетворяют мелиоративным требованиям и не экономичны.

Требования, предъявляемые к материалам дренажных труб, зависят от климатических, гидрогеологических и эксплуатационных условий. Орошаемая территория Голодной степи отличается от других районов высокой минерализацией почво-грунтов и грунтовых вод (в зависимости от геоморфологии района она составляет

0,4-53 г/л и более), преобладанием сульфатных солей, которые по количеству ионов SO_4 изменяются от 250 до 25000 мг/л, разнообразием грунтов. В этих условиях к материалам дренажных труб предъявляются особо высокие требования: они должны обладать прочностью, коррозиоустойчивостью, стойкостью при действии высоких летних температур.

С целью получения экономичных материалов, обладающих указанными качествами, мы исследовали растворы на полимерах, вырабатываемых местной химической промышленностью. При этом необходимо было изыскать такой полимерный вяжущий, который позволял бы изготавливать на его основе дешевые пористые гидрофобные трубы высокого качества, не требующие устройства гравийного или песчаного фильтра.

Эффективный материал для изготовления дренажных труб - пластораствор, на основе синтетической смолы - маномера ФА. Последний по химическому составу представляет соединение монофурилденацетона (80%) с дифурилиденацетоном (20%), обладающее большим количеством сопряженных связей, что позволяет получать из него раствор, стойкий к действию различных химических веществ.

Пористые трубы из такого раствора экономичны, так как вяжущее этого материала (маномер) получается из сельскохозяйственных отходов и вырабатывается местной химической промышленностью в достаточном количестве; расход смолы для формовки труб небольшой, так как она идет лишь для создания контактирующего слоя между зернами заполнителя, но не для заполнения пустот.

При применении этой смолы изделия долговечны в случае использования в качестве заполнителя кислотостойких материалов (андезит, кварц), не реагирующих на действие кислотного отвердителя. Однако такие материалы дороги и дефицитны. Известные способы повышения стойкости пластораствора в воде на обычных заполнителях (введение в раствор завышенного количества отвердителя или же предварительная обработка его соляной кислотой) положительных результатов не дали. При условии придания пластораствору надлежащей стойкости в воде из него можно получить коррозиоустойчивые и экономичные дренажные трубы.

Сделать пласторастворводостойким можно за счет введения в состав вяжущего такой добавки, которая, хорошо совмещаясь с мономером, обладала бы свойством гидрофобности и тем самым предотвратила бы взаимодействие отвердителя с карбонатными породами.

Наиболее эффективная добавка - гидрофобные нефтепродукты, сочетание которых с мономером может дать вяжущее, обладающее новым свойством. Эти нефтепродукты способствуют увеличению вязкости вяжущего, следовательно уменьшают впитываемость пористых заполнителей, создавая гидрофобную пленку вокруг зерен заполнителя, т.е. раствор становится водостойким.

Дренажные трубы, изготовленные на вяжущем, - смеси мономера с добавками гидрофобных нефтепродуктов - прочны, водостойки, не размягчаются при высоких летних температурах, и так как обладают свойством гидрофобности, то должны быть труднозаиляемы.

В лаборатории строительных материалов исследовались различные нефтепродукты: битум, гудрон, мазут,

дизельное масло, джаркурганская нефть, отходы дифенильной смолы и др. Все продукты, исключая битум, хорошо совмещаются с мономером, и на их основе можно получить пластораствор повышенной водостойкости. Опыты показали, что лучшей добавкой к мономеру, исходя из технико-экономических соображений, являются отходы дифенильной смолы. Это побочные продукты Вановского нефтеперерабатывающего завода (УзССР), получаемые при пиролизе бензола. Они состоят из дифенилбензола (до90%) и высокомолекулярных соединений.

Прочность и фильтрующая способность дренажных труб из пластораствора зависит от структуры раствора, формы и размеров пор. Пористый пластораствор однородной структуры, достаточно высокой прочности и хорошей фильтрующей способности получен при использовании в качестве заполнителя, речного песка или керамзита с крупностью зерен 5-0,15 мм. Оптимальный расход вяжущего для песчаного раствора составит 5-6% (от веса заполнителя), а для керамзитового - 25-30%. Прочность песчаного раствора при сжатии равна 80-85 кг/см2, а при изгибе - 20-25 кг/см2; керамзитового соответственно 110-120 и 35-40 кг/см2 (коэффициент фильтрации их составит 10-30 м/сутки).

Полученные результаты показывают, что дренажные трубы из пластораствора на вяжущем (смеси мономера с отходами дифенильной смолы) и на заполнителе - речном песке и керамзите, при длительном пребывании как в воде, так и агрессивно-водной среде, не снижают прочности (табл. I).

Причина хорошей водостойкости и стойкости в агрессивной водной среде пластораствороных дренажных

труб может быть объяснена тем, что отходы дифенильной смолы, образуя гидрофобную пленку вокруг зерен, предотвращают взаимодействие карбонатных пород, имеющихся в обычном заполнителе, с водным раствором кислотного отвердителя.

Таблица I

номер	Состав пластораствора	Возраст образцов, сутки	Предел прогноза при сжатии, кг/см	
			хранение в воде	агресс. водное хранение
I.	Заполнитель - песок от 5 до 0,6 мм	7	63	62
	Вяжущее -смесь мономера ФА с отходами дифенильной смолы,	28	64,5	65
	6% от веса заполнителя:			
	бензолсульфокислота - 30% от веса вяжущего	60	67	68
		I20	69	70
		540	70	70
II	Заполнитель -керамзит от 5 до 0,I5 мм	7	I08	I07
	Вяжущее - 30% (такое) бензолсульфиткислота 25% от веса вяжущего	28	I09	I08
		60	III	II0
		I20	III	III
		540	II2.5	II2

Для долговечной и надежной работы дренажных труб, кроме устойчивости материалов против действия различных физико-химических факторов, необходима их высокая механическая прочность, хорошая фильтрующая способность и устойчивость против кольматации, т.е. закупорки пор грунтом в процессе эксплуатации. Поэтому в лаборатории определяли прочность, фильтрующую способность и заиляемость.

Прочность пластораствориых труб проверяли по ГОСТу. Она зависит от способа уплотнения, толщины стенок и внутреннего диаметра труб, а также вида используемого заполнителя. Прочность трубы внутренним диаметром 150 мм и толщиной ее стенки 25-30 мм составляет 1700-2200 кг/пог.м.

Фильтрующую способность и заиляемость пористых труб устанавливали на лабораторном стенде.

Данные пропускной способности пористых труб при засыпке их грунтом и без засыпки показывают, что они хорошо фильтруют, и количество воды в них не сокращается. Такие трубы имеют очень маленькие поры с большой суммарной пустотностью и благодаря своей гидрофобности труднозаиляемы. Поэтому их можно укладывать в дрену без устройства гравийного фильтра. Последнее было проверено в одном из совхозов Голодной степи. После десятимесячной эксплуатации опытная дренажа была вскрыта. Результаты показали, что трубы, находясь в натурных условиях, не ухудшили свои физико-механические показатели. Если прочность керамзитовых и песчаных пластораствориых труб в период укладки в дрену была 2100, 1800 кг/пог.м, то после вскрытия она составила соответственно 2000, 1790 кг/пог.м. При осмотре разрушенных

пластораствориых труб при их испытании установлено, что в порах материала отсутствуют отложения каких-либо частиц грунта, а фильтрующая способность их осталась без изменения.

Для изготовления пластораствориых труб заполнитель и вяжущее загружаются в растворомешалку и перемешиваются в течение I-I,5 минут с тем,чтобы вся поверхность заполнителя обволакивалась тонким слоем вяжущего.Затем,добавляя в растворомешалку требуемое количество отвердителя - бензолсульфокислоту требуемое количество отвердителя - бензолсульфокислоту,смесь снова перемешивается (до I минуты).После чего пластораствор укладывается в разъемные формы и уплотняется при помощи вибрирования,а по истечении I-2 часов производится расформовка их.

Выводы

I. На основе использования не кислотостойких заполнителей и полимерных продуктов мономера ФА и отходов дифенильной смолы,вырабатываемых местной химической промышленностью,могут быть изготовлены экономичные и долговечные трубы для устройства закрытого дренажа в районах с жарким климатом и высокой минерализацией грунтовых вод.

2. Дренажные трубы из пластораствора имеют достаточно высокую прочность,хорошую фильтрующую способность и самое главное - они труднозаиляемы,так как материал труб обладает свойством гидрофобности,что достигается путем введения в раствор гидрофобных нефтепродуктов.

3. Для изготовления пластораствориых труб не

требуется сложной технология.Она аналогична технологии изготовления бетонных труб.Трубы готовятся способом укладки и уплотнения пласторастворов в формах.При твердении таких труб за ним не требуется специального ухода.

4.Пористые пласторастворные трубы дешевле гончарных.Ориентировочная стоимость I пог.м их составляет 0.90-I,0 руб. для песчаных и I.50 руб.- для керамзитовых.

Устройство дренажа из пористых пласторастворных труб по предварительным подсчетам обходится в I,5 раза дешевле гончарного дренажа.

А.Л.ЗЕМЛИНСКИЙ

К ВОПРОСУ О ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ГИБКИХ АРМОЦЕМЕНТНЫХ ТРУБ, УЛОЖЕННЫХ В ЗЕМЛЕ

В 1966 г. в САНИИРИ проводились испытания армоцементных труб, уложенных в грунте, под действием временной сосредоточенной нагрузки, действующей на поверхности земли.

Армоцементные трубы относятся к категории гибких, и их трещиноустойчивость в значительной мере обусловливается влиянием реактивного бокового давления грунта, уменьшающего деформацию трубы.

В лаборатории изучался комплекс вопросов, связанных с определением наиболее оптимальных условий, обеспечивающих достаточную трещиноустойчивость труб диаметром 0,82 м, уложенных в грунт в зависимости от величины нагрузки, армирования, толщины стенки, степени уплотнения грунта, его влажности и др.

Высота засыпки из лессовидного суглинка над трубой была принята постоянной, равной 0,80 м. Такая высота засыпки минимально допустима для типовых гидросооружений.

Контрольной сосредоточенной временной нагрузкой была принята нагрузка Н-18, при которой давление заднего колеса автомобиля составляет 6,0 т.

Из нескольких серий испытанных труб в соответствии с поставленными условиями, более качественными оказались трубы с внутренним диаметром равным 820 мм, изготовленные из армоцемента марки АРЦ-300 и армированные четырьмя сетками № 6 (ГОСТ 3826-47).

В настоящей статье дается описание разработанной

автором методики испытаний труб сосредоточенной временной нагрузкой, приложенной на поверхности земли, и показатели деформируемости в пределах упругой стадии их работы в грунте.

Опыты проводились в стальной камере размером 1000х1500 мм. Образцы труб имели длину 990 мм. Высота камеры позволяла иметь над трубой и под ней слой грунта по 80 см (рис.I).

Для наблюдения за внутренней поверхностью трубы, против ее торцов, в двух противоположных стенках камеры вырезаны круглые отверстия диаметром по 400 мм. Чтобы следить за наружной поверхностью, в двух других стенках камеры на уровне горизонтального диаметра трубы вырезано по одному прямоугольному окну шириной 80 мм и высотой 200 мм.

Деформации трубы замерялись индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм, по вертикальному и горизонтальному диаметрам в двух сечениях по длине образца (рис.I, узел А).

Индикаторы устанавливались на стальном каркасе, состоящем из двух колец Ø =700 мм, расположенных в средней части образца на расстоянии 35 см друг от друга и жестко соединенных между собой стальными тягами. К каждому кольцу, на уровне его центра горизонтально была приварена стальная труба.

В стенке испытываемого образца, на уровне горизонтального диаметра, просверливались отверстия против торцов трубок, приваренных к кольцам. Два стальных стержня, пропущенные через противоположные отверстия в стенках трубы и через трубки колец, фиксировали каркас в испытываемой трубе.

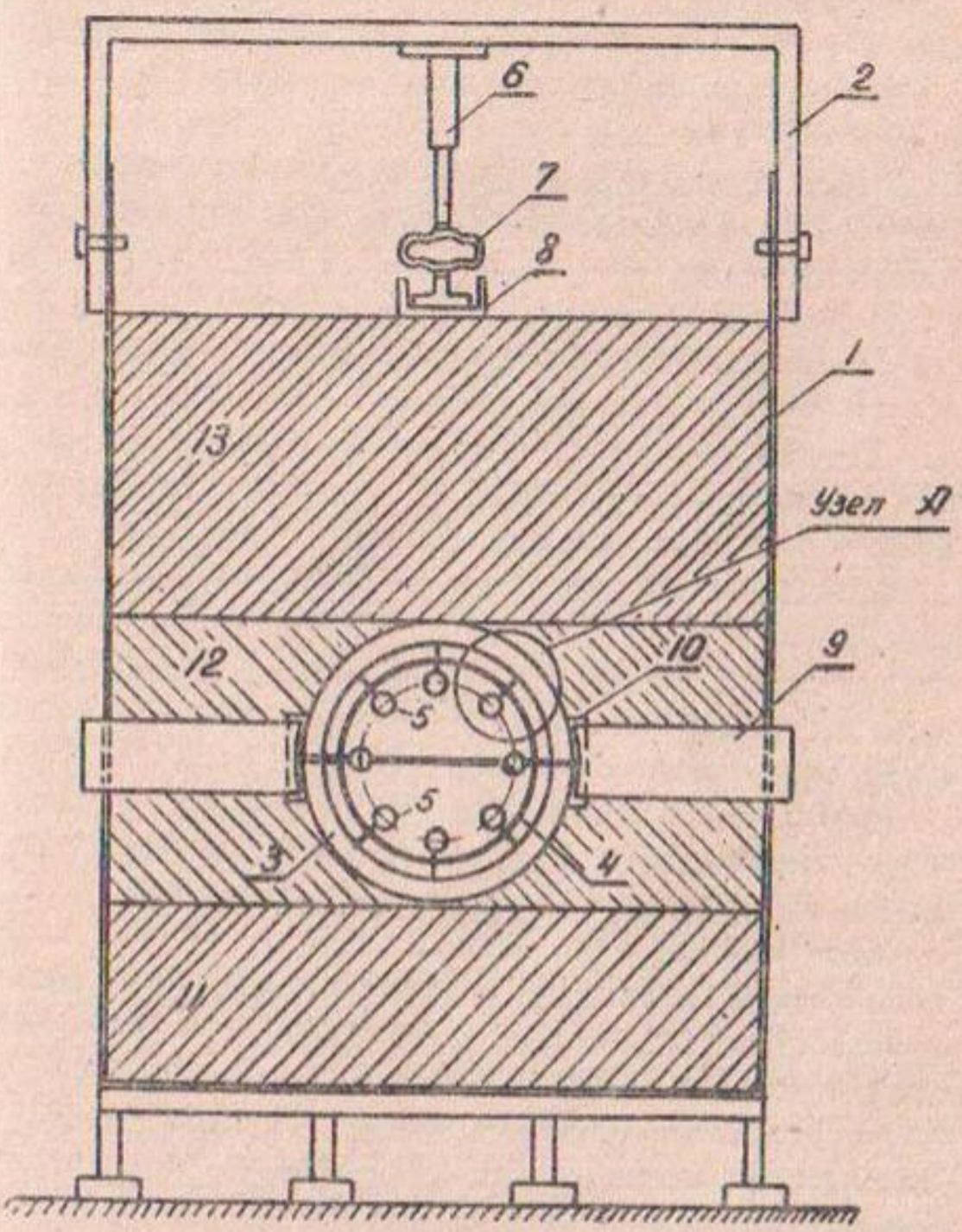


Рис.I Камера для испытания гибких труб: I – корпус; 2– опорная рама; 3 – труба; 4 – каркас для крепления индикаторов; 5 – индикаторы; 6–гидравлический пресс; 7– динамометр; 8– опорный нивелир; 9 – стальной кожух; I0– уплотнительная резина; II– грунтовое основание; I2– грунт засыпки пазух; I3– засыпка над трубой.

При испытании каркас из двух колец фиксировался в трубе вышеописанным способом. Трубу помещали в камеру торцами против круглых отверстий в стенках камеры и засыпали грунтом с соответствующим уплотнением.

В процессе засыпки в прямоугольные окна вставляли смотровые стальные кожухи, так, чтобы они на 15-20 мм не доходили до стенки трубы. Оставшийся зазор перекрывали полосовой резиной толщиной 5 мм. Таким образом, труба, деформируясь под нагрузкой, не упиралась в кожухи.

Над камерой устанавливали опорную раму, к которой подвешивали гидравлический пресс, дающий возможность плавно и в требуемой степени повышать давление.

На поверхность земли над трубой укладывали швеллер, размеры которого соответствовали опорной площади заднего колеса автомобиля той нагрузки, под действием которой испытывалась труба. Между швеллером и прессом помещали сжимающийся динамометр.

Во время исследования давление от пресса через динамометр передавалась опорному швеллеру, а от него через грунт на трубу. Величину давления определяли по показаниям динамометра.

Деформации вертикального и горизонтального диаметров через каждые 500 кг увеличения нагрузки фиксировались по показаниям индикаторов, укрепленных на каркасе. Появление трещин на внутренней поверхности трубы просматривалось через отверстия в стенках камеры против торцов трубы. За появлением трещин на наружной поверхности трубы в зоне уровня горизонтального диаметра наблюдали через кожухи, вставленные в

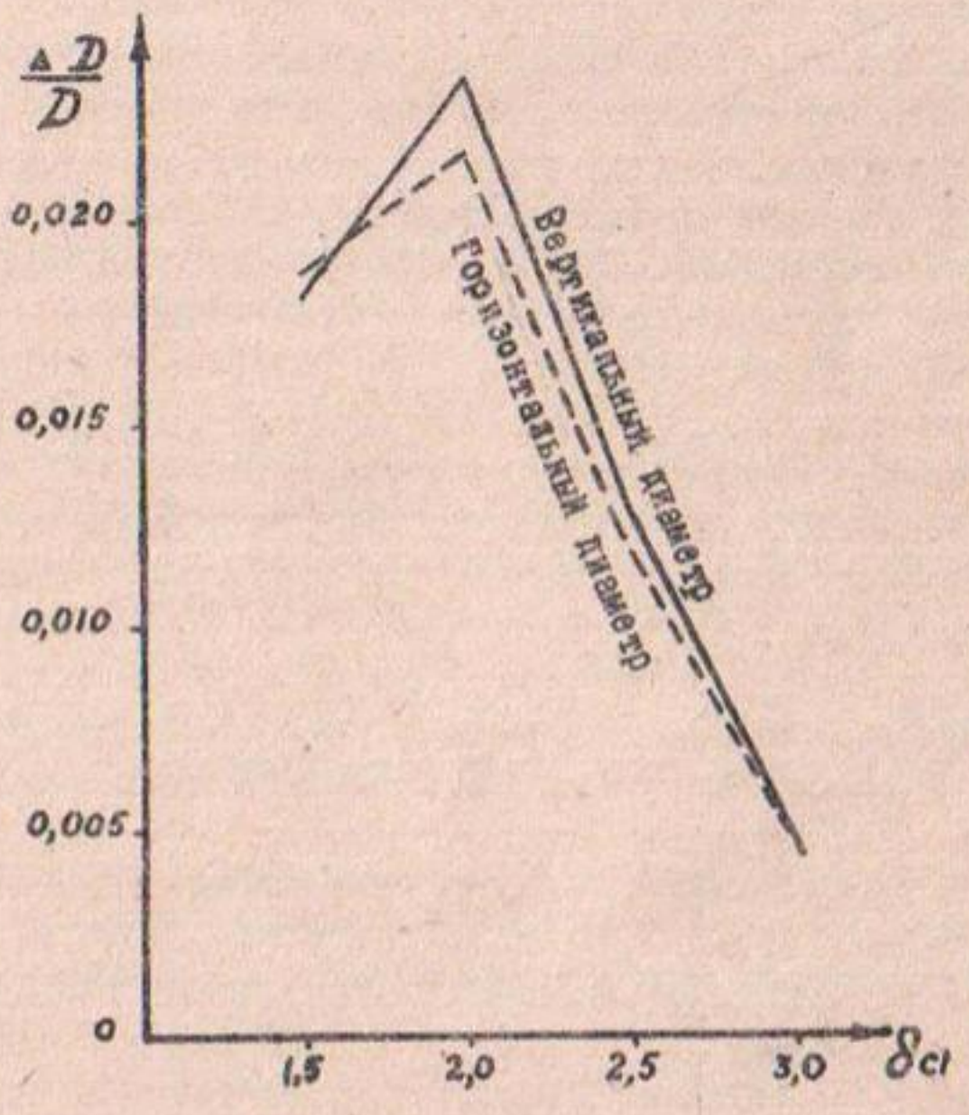


Рис. 2 График зависимости между толщиной стенки трубы и относительной деформацией диаметра при образовании трещин.

прямоугольные окна в стенках камеры.

Во всех случаях первая трещина появлялась в шелыге на внутренней поверхности трубы. Результаты испытаний сведены в таблицу

Таблица

Предельные деформации диаметров армоцементных труб до образования трещин

Толщина стенки трубы, см	Деформации диаметра		вертикального / горизонтального
	абсолютные		относительные
1,5	12,65 / 12.97		0,0154 / 0.0158
1,5	17,04 / 17.20		0,0206 / 0,0216
2.0	20,62 / 20.01		0,0251 / 0.0244
2.0	17,96 / 15.51		0,0219 / 0.0189
2,5	10,53 / 9.77		0,0129 / 0.0119
3.0	4,33 / 3.95		0,0049 / 0.0048

По приведенным в таблице данным построен график зависимости между толщиной стенки и величиной предельной относительной деформации диаметра трубы (рис.2). На графике по оси абсцисс отложены толщины стенки труб, по оси ординат - относительные деформации диаметров труб.

В результате испытаний мы пришли к выводу,что для армоцементных труб диаметром 820 мм,армированных четырьмя сетками, оптимальной толщиной стенки,при которой достигается большая деформативность труб до появления трещин,является толщина 2,0 см (рис.2).

При толщине стенки I,5 см вследствие недостаточной жесткости трубы деформация вертикального диаметра ее состоит преимущественно из деформации в шелыге при весьма незначительной деформации в нижней точке. Это приводит к раннему появлению трещин в шелыге.

При толщине стенки более двух сантиметров деформируемость труб до появления трещин значительно снижается.

Исходя из вышеизложенного и принимая коэффициент запаса трещиностойкости К=I,5,можно считать,что для труб D =820 мм допустимы следующие деформации диаметров: при толщине стенки

2,0 см	- I0 мм
2,5 см	- 7 мм
3,0 см	- 3 мм

В.Я.ЛИПСКИЙ, М.М.СЕЛИМОВ

РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ (α , E) ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ В УСЛОВИЯХ СУХОГО И ЖАРКОГО КЛИМАТА

В последние годы при сооружении бетонных покрытий дорог и аэродромов в гидротехническом и промышленно-гражданском строительстве наметилась тенденция к широкому использованию в бетонных и железобетонных конструкциях высокопрочных бетонов, что позволяет перейти к применению тонкостенных и экономически эффективных конструкций.

К высокопрочным бетонам относятся бетоны марки "400" - "700".

При расчете бетонных и железобетонных конструкций из высокопрочных бетонов, работающих в специфических климатических условиях Средней Азии, используются значения модуля упругости и коэффициента линейного расширения, приводимые в нормативных документах и полученные для среднеевропейских условий.

Однако ввиду резко континентального климата Средней Азии и сильной солнечной радиации перепады температуры на поверхности бетона в течение суток достигают 35-40°С, что вызывает значительные температурные напряжения в бетонных и железобетонных конструкциях, иногда превышающие напряжения от эксплуатационной нагрузки.

В то же время исследования, проведенные американским институтом бетона /1/, показывают, что бетоны, работающие в условиях сухого и жаркого климата, имеют пониженные значения модуля упругости, коэффициента ли-

нейного расширения, повышенную усадку и более низкую прочность, чем бетоны, твердеющие в нормальных условиях.

Знание фактических значений модуля упругости и коэффициента линейного расширения бетона, твердеющего в условиях сухого и жаркого климата Средней Азии, имеет большое значение, так как позволяет более точно определять фактические напряжения, деформацию и обоснованно назначать расстояние между температурными швами в конструкциях.

Исследования по установлению коэффициента линейного расширения бетона весьма слабо отражены в литературных источниках. Для высокопрочных бетонов, находящихся в эксплуатации в течение ряда лет, твердеющих в условиях сухого и жаркого климата и приготовленных на местных заполнителях и цементах местных заводов, подобные эксперименты не производились вообще.

Для выявления фактических значений модуля упругости и коэффициента линейного расширения указанных бетонов был использован дорожный бетон из цементно-бетонного покрытия автодороги. Для этого из покрытия было выбурено около 70 шт кернов $d = 11 \pm 0{,}5$ см и $h = 20 \div 22$ см.

Дорожный бетон наиболее полно подвержен влиянию всех особенностей сухого и жаркого климата Средней Азии как в период строительства покрытий, так и их эксплуатации.

Покрытие дороги выполнено из высокопрочных бетонов марок "400" - "700". Бетон приготовлялся с применением качественных инертных заполнителей при расходе цемента (марки "500" местных заводов) 350 ± 10 кг на кубометр бетона и имел состав 1:5 (цемент:

заполнитель) с $\frac{В}{Ц}$ = 0,46 - 0,50. Дозирование составляющих, приготовление, транспортирование и укладка бетонной смеси осуществлялись современными техническими средствами.

Настоящая работа посвящена определению значений фактического начального модуля упругости и коэффициента линейного расширения высокопрочных бетонов, приготовленных на местных материалах, твердеющих и эксплуатировавшихся в течение 0,5 и 4 лет в условиях сухого и жаркого климата Средней Азии.

Особенность работы, установление этих величин на кернах, выбуренных из бетонного покрытия дороги.

Коэффициент линейного расширения высокопрочного бетона на кернах, взятых из цементно-бетонного покрытия дороги, нами определялся по методике, предложенной К.А.Мальцевым и М.М.Королевым /6/ и примененной ими для подобных испытаний гидротехнических бетонов на кернах, выбуренных из бетонных массивов гидротехнических сооружений.

Методика выполнения экспериментов заключалась в следующем: керны устанавливались в сушильный шкаф № 3 и выдерживались при температуре +60°С (автоматическое регулирование) в течение 7 час., затем керны вынимались и на каждом из них немедленно устанавливались по диаметрально противоположным образующим два рычажных тензометра Гугенбергера с базой 120 мм, ценой деления 0,001 мм (рис.1), и керны остывали до комнатной температуры +20÷21°С в продолжение 16 час.; затем брался отсчет по тензометрам, как средний результат из двух измерений.

Для определения фактической температуры бетона

Таблица I

№№ пп	номер керна	Температура °С			Отсчеты по тензометрам (микрон)			Коэффициент линейного расширения $\alpha \times 10^{-6}$ 1/°С
		начальная	конечная	перепад	№ I	№ 2	среднее	
I	К-I	60	2I	39	37,5	3I,0	34,2	7,30
2	К-2	58	I2	46	49,0	48,0	48,5	6,78
3	К-I0	60	I9	4I	47,0	47,5	47,2	9,60
4	К-I8	58	2I	37	38,0	40,5	39,2	8,84
5	К-32	62	2I	4I	38,0	45,0	4I,5	8,43
6	К-5I	60	2I	39	37,0	39,0	38,0	8,I3
7	К-56	62	2I	4I	35,0	37,0	36,0	7,32
8	К-66	62	20	42	45,5	46,0	45,7	9,07
9	К-68	60	2I	39	37,0	33,0	35,0	7,48

в кернах, вынутых из термостата, проводились проверочные замеры. С этой целью в одном из керноз просверливали отверстие, куда заливали машинное масло. После того, как этот керн вынимали из термостата, в отверстие вставляли термометр. Отсчеты по этому термометру сопоставлялись с показаниями термометров, установленных в термостате и комнате. Максимальные расхождения в показаниях термометров не превышали $1 \div 2^{\circ}C$, в этих случаях в отсчеты вводились поправки.

Коэффициент линейного расширения высчитывали по формуле:

$$\alpha = \frac{\Delta \ell}{\Delta t \cdot \ell}, \qquad (I)$$

где $\Delta \ell$ – изменение длины керна в пределах базы при остывании (отсчет по тензометрам),

Δt – перепад температуры в керне после остывания,

ℓ – базы тензометра, равная 120 мм (для всех измерений).

В качестве примера в табл. I приводятся данные по испытанию некоторых бетонных кернов.

Среднее значение коэффициента линейного расширения (α) после испытания 55 шт. бетонных кернов равно $8{,}51 \cdot 10^{-6}$. Максимальные отклонения достигали $6{,}5 \cdot 10^{-6}$ и $10{,}5 \cdot 10^{-6}$, причем, среднеквадратичное отклонение от среднего значения $\alpha\sigma = 0{,}86 \cdot 10^{-6}$, что составляет 10% от среднего значения коэффициента линейного расширения.

Таким образом, можно считать, что измерения проведены достаточно точно. Полученное значение коэффициента линейного расширения ($\alpha = 8{,}51 \cdot 10^{-6}$) на 15%

ниже обычно принимаемого в расчетах ($\alpha = 10 \times 10^{-6}$).

Начальный модуль упругости определялся по методике, разработанной лабораторией методов испытания бетонов НИИЖБ в 1965 г. /3/.

Керны на осевое сжатие испытывались на прессе ПГ-100, удовлетворяющем требованиям ГОСТа-8905-58.

Деформацию бетона кернов замеряли четырьмя индикаторами часового типа с ценой делений 0,001 мм, удовлетворяющими требованиям ГОСТа-9696-61 и расположенными по диаметрально противоположным образующим керна (рис.2).

Индикаторы устанавливали на верхнем опорном кольце, а упоры для ножек индикаторов - на нижнем. Кольца размещались между крайними четвертями высоты керна и крепились к нему с помощью четырех прижимных винтов каждое. База измерений составляла две четверти от высоты керна и изменялась от 100 до 130 мм в зависимости от высоты кернов.

Подготовка выбуренных кернов к испытанию заключалась в устройстве "подливки" из цементного теста, обеспечивающей создание гладких, плоских и параллельных между собой торцевых поверхностей керна, перпендикулярных его продольной оси.

При установке между опорными плитами пресса производилась центровка керна по геометрической оси. После этого на него давалась нагрузка в 2% (в наших опытах 1 т) от ожидаемой разрушающей нагрузки, которая принималась за условный нуль. При центровке керна нагрузка давалась ступенями, примерно равными 0,1, 0,2, 0,3 и 0,4 от ожидаемой разрушающей; показания приборов снимались на каждой ступени.

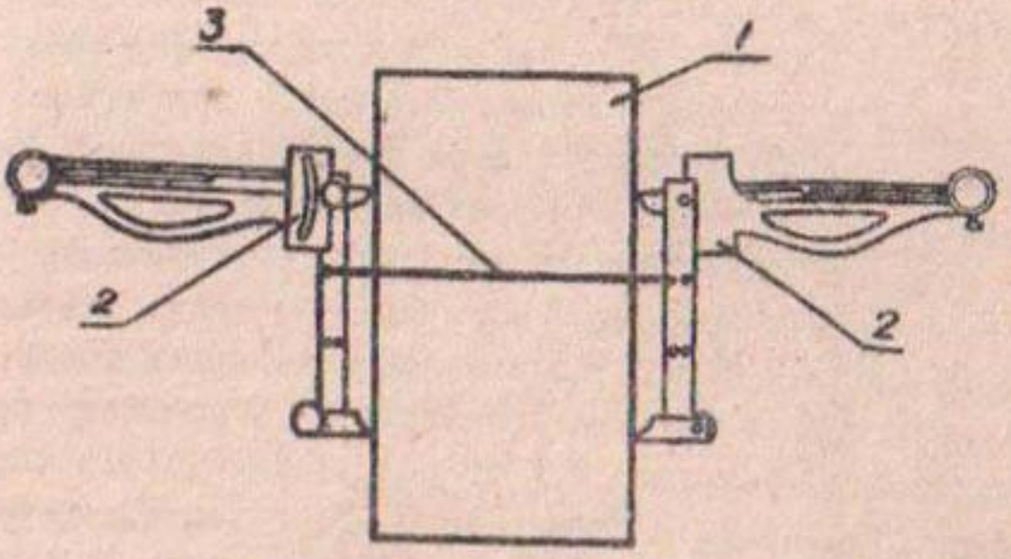


Рис.I Схема установки рычажных тензометров на бетонном керне: I- бетонный керн; 2- рычажный тензометр; 3 - струбцина для крепления тензометров.

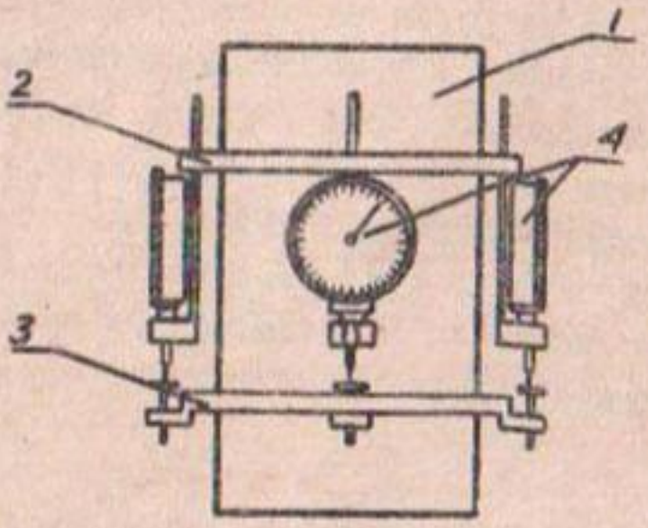


Рис.2 Схема установки индикаторов на бетонном керне: I - бетонный керн; 2- верхнее кольцо; 3- нижнее кольцо; 4- индикатор.

Если индикаторы показывали одинаковые или близкие по величине деформации (допускаемое отклонение от средней величины ± 5%), признавалось, что физическая ось керна совпадает с геометрической. В противном случае нагрузку снимали и керн перестанавливали так, чтобы уровнять показания всех индикаторов.

Отцентрированный керн нагружали ступенями по 0,1 от ожидаемой разрушающей нагрузки (в наших опытах ступенями по 4 и 5 т). Длительность выдержки после каждой нагрузки (ступени) составляла 5 мин. Так продолжалось до нагрузки 0,7 от разрушающей, после чего каждая ступень уменьшалась до 0,05, а длительность выдержки под каждой ступенью увеличивалась до 10 мин. При нагрузке 0,8 + 0,9 индикаторы и кольца снимали, а керн доводили до разрушения.

Показания по индикаторам отсчитывали сразу после подъема нагрузки на очередную ступень (деформации, образовавшиеся в момент приложения нагрузки) и непосредственно перед подъемом нагрузки на следующую ступень (деформации, образовавшиеся во время выдержки керна под нагрузкой).

Кубиковую и призменную прочность бетона определяли следующим образом. Предел прочности бетона при сжатии керна устанавливали по формуле:

$$R^{к}_{сж} = \frac{4P}{\pi d^{2}_{ср}}, \qquad (2)$$

где P - разрушающая нагрузка на керн,

$d_{ср}$ - средний диаметр керна.

Ввиду того, что керны были разнообразных размеров и с различным соотношением $\frac{h}{d}$, полученный по формуле (2) предел прочности бетона на сжатие при-

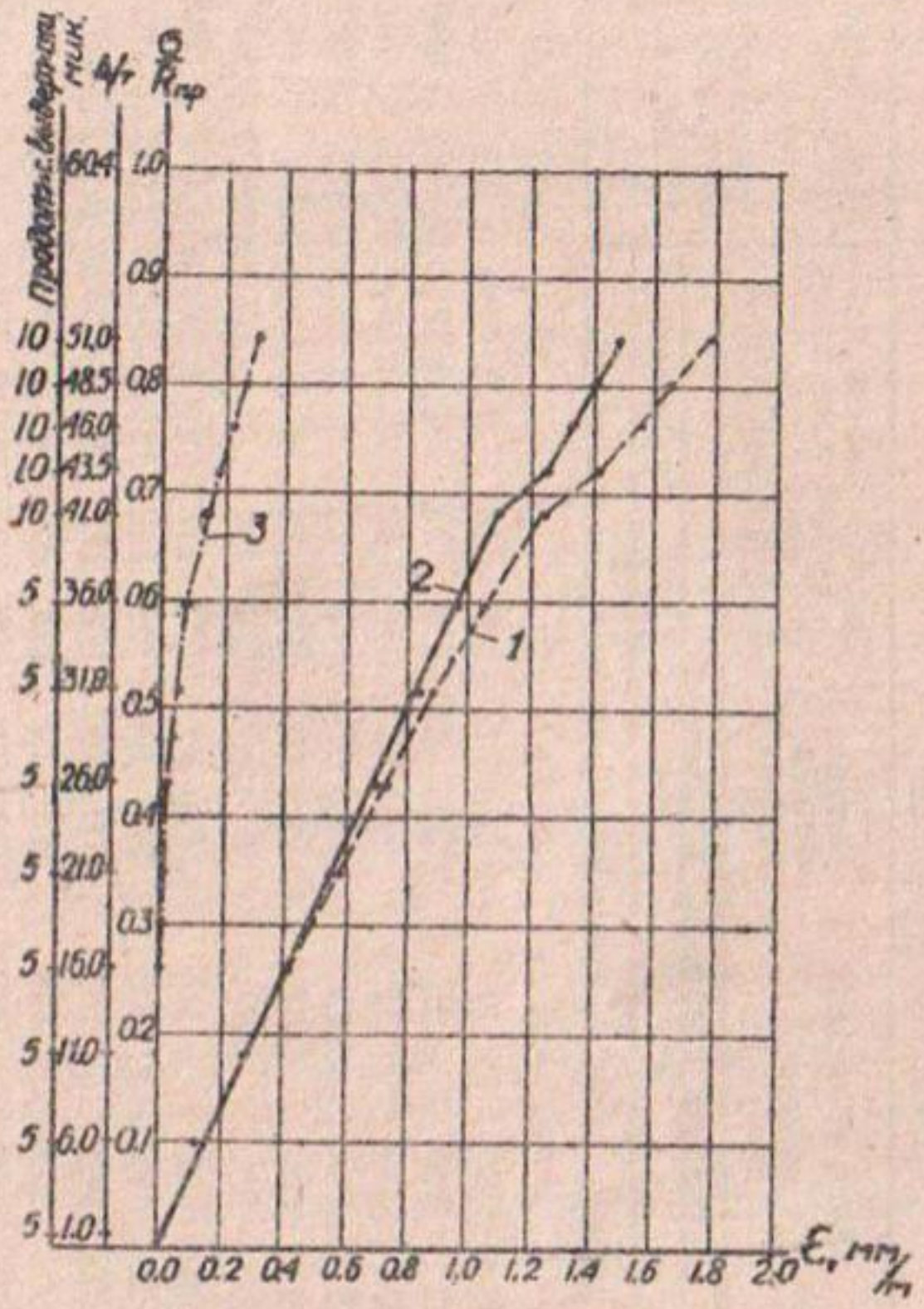


Рис.3 График зависимости средних деформаций керна К-12 от нагрузки (Керн испытан 14.01 67г. в возрасте 25 месяцев, N_p =60,4 т, $R_{пр}$=526 кг/см2, $R_{куб}$=700 кг/см2, $\gamma_б$ =2,31 при σ =0,5 $R_{пр}$=263 кг/см2, ε =0,82 мм/м, =321000): 1- деформации полные; 2- упругие; 3 - пластические.

Таблица 2

Испытание бетонного керна на осевое сжатие с замером продольных деформаций

Вид и размер образца, мм	Метка образца	Дата испытания	Возраст бетона (м-цы)	Вид и точность показаний измерительных приборов	База измерений (мм)
керн h = 224,7 d = 113,3	К-12	14 января 1967г.	25	Индикаторы: 0,001мм	III Продольные деформации, мм/м

нагрузка кг	напряжение, кг/см²	Показания приборов (в делениях)											
		1		2		3		4		Средние			
		нач.	конеч.	нач.	конеч.	нач.	конеч.	нач.	кон.	нач.	кон.	ε'	ε''
1000	9,92	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0.027	0.027
6000	59,5	18	18	19	19	16	16	18	18	17,8	17,8	0.161	0,161
11000	109,1	31	32	35	35	29	29	33	33	32,0	32,2	0,288	0,290
16000	158,7	48	50	51	51	43	43	50	52	48,0	49,0	0,433	0,442
21000	208,5	65	68	64	64	56	57	70	73	63,8	65,5	0.575	0.591
26000	258,0	85	89	80	81	68	69	90	94	80,8	83,2	0.728	0,750
31000	307,5	105	110	95	97	81	81	110	114	97,8	100,5	0.882	0.906
36000	357,0	127	135	112	114	93	93	133	137	116,2	119,8	1,047	1.080
41000	407,0	153	165	129	133	103	104	156	162	135,2	141,0	1,217	1,270
43500	432,0	175	181	163	163	108	108	172	175	154.5	156,8	1,392	1,410
46000	456,0	195	205	155	159	116	117	193	200	164,8	170,2	1,485	1,532
48500	481,0	211	219	169	170	123	124	208	209	177.8	180,5	1,602	1,625
51000	506.0	225	242	178	185	136	141	222	230	190,2	199,5	1,714	1,800
60400	600,0	керн разрушился											

водился к пределу прочности бетона при сжатии стандартного цилиндра с d =15 см и $\frac{h}{d}$=2, а затем куба 20х х20х20 см с помощью коэффициентов K_1 и K_2, определяемых графически по методике СоюздорНИИ / 4/

Таким образом, предел прочности бетона (марка) при испытании кернов выявляли по следующей формуле (ГОСТ-4800-59):

$$R^{куб}_{сж.} = \frac{1.2 \cdot R^{к}_{сж.}}{K_1 \cdot K_2} \qquad (3)$$

Здесь $R^{к}_{сж}$ – предел прочности бетона при сжатии керна,

K_1 и K_2 – коэффициенты для приведения фактических размеров керна к стандартному цилиндру с d=15 см и h=30 см,

1,2 – переходный коэффициент для перевода прочности стандартного цилиндра к прочности куба.

Призменную прочность бетона устанавливали согласно методике определения призменной прочности и начального модуля упругости /3 / по формуле

$$R^{пр}_{сж} = 0.75 \cdot R^{куб}_{сж} \qquad (4)$$

Для вычисления модуля упругости подсчитывали средние продольные деформации для каждого керна (в мм/м), образовавшиеся в момент приложения нагрузки (ε') и во время выдержки керна под нагрузкой (ε''(, как среднеарифметическое отсчетов по четырем индикаторам (в мм), деленных на базу измерения (в м).

Далее, для каждой ступени нагрузки определяли упругую часть деформации (ε) как разность между величиной конечной полной деформации (ε'') и суммой прираще-

ний начальных деформаций ($\Delta\varepsilon' = \varepsilon'' - \varepsilon'$) на данной и всех последующих ступенях нагрузки:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_i'' - \Sigma\Delta\varepsilon' \qquad (5)$$

Все вычисления производились в табличной форме. Затем на прямоугольной сетке координат „$\varepsilon + \frac{\sigma}{R_{пр}}$" наносились точки, соответствующие значениям ε для каждой ступени нагружения, и проводилась средняя прямая, $\varepsilon = f\left(\frac{\sigma}{R_{пр}}\right)$ на которой бралось скорректированное графическим путем значение ε при $\sigma = 0{,}5\,R_{пр}$

Частные значения модуля упругости $E_б$ вычислялись по формуле

$$E_б = \frac{\sigma_{0.5}}{\varepsilon_{0.5}} \cdot 1000, \qquad (6)$$

где $E_б$ – начальный модуль упругости, кг/см^2,

$\sigma_{0.5}$ – напряжение, соответствующее 0,5. $R_{пр}$ кг/см2,

$\varepsilon_{0.5}$ – упругая часть полной продольной деформации, мм/м, соответствующая напряжению $\sigma_{0.5}$.

Модуль упругости вычисляли на 59 кернах. В качестве примере приводятся результаты испытания керна К-12 (табл. 2, 3, рис 3).

Модуль упругости бетона изменяется в зависимости от марки и возраста его, асимптотически приближаясь к соответствующим постоянным величинам, относящимся к бетону весьма зрелого возраста.

По данным С.В.Александровского /5 /, модуль упругости бетона стабилизируется в основном к двухмесячному возрасту.

Мы исследовали бетон в возрасте 0,5–4 лет, что позволяет считать значения модуля упругости, приведенные в данной работе, установившимися.

Таблица 3

Подсчет упругой части продольной деформации керна К-12

Напряжение (приведенное) кг/см²	$\frac{\sigma}{R_{пр}}$	ε'' мм/м	ε' мм/м	$\Delta\varepsilon=\varepsilon''-\varepsilon'$	$\Sigma\Delta\varepsilon'$	$\varepsilon=\varepsilon''-\Sigma\Delta\varepsilon$
8,72	0,0165	0,027	0,027	0	0	0,027
52,5	0,0998	0,161	0,161	0	0	0,161
95,8	0,182	0,290	0,288	0,002	0,002	0,288
139,4	0,265	0,442	0,433	0,009	0,011	0,431
183,0	0,348	0,591	0,575	0,016	0,017	0,574
226,5	0,431	0,750	0,728	0,022	0,039	0,711
270,0	0,513	0,906	0,882	0,024	0,063	0,843
314,0	0,597	1,080	1,047	0,033	0,096	0,984
357,0	0,679	1,270	1,217	0,053	0,149	1,121
379,0	0,721	1,410	1,392	0,018	0,169	1,241
401,0	0,762	1,532	1,485	0,047	0,214	1,318
422,5	0,804	1,625	1,602	0,023	0,237	1,388
444,0	0,845	1,800	1,714	0,086	0,323	1,477
526,0	1,0					

ПРИМЕЧАНИЕ: $\frac{h}{d}=\frac{22,47}{11,33}=1,98$,

$K_1=1,0$; $=1,025$;

$$\sigma=\frac{3,6\cdot P}{3,14\cdot d_{ср}\cdot K_1\cdot K_L};$$

$$R_{пр}=\frac{3,6\cdot 60400}{3,14\cdot 11,33^2\cdot 1,0\cdot 1,025}=526\ кг/см^2$$

В нормативных документах модуль упругости дается в зависимости от марки бетона, поэтому все полученные значения его были скомпонованы в зависимости от марки бетона в кернах и вычислены их средние значения (табл. 4).

Таблица 4

Расчет средних значений начального модуля упругости в зависимости от марки бетона в кернах

Марка бетона в кернах	Номер керна	Фактическая прочность бетона в керне, кг/см2	Фактический модуль упругости бетона, кг/см2	Среднее Среднее ние модуля упругости, кг/см2	Рекомендуемое значение модуля упругости бетона, кг/см2
I	2	3	4	5	6
"400"	2	447	305000		
	II	498	302000		
	22	497	327000		
	24	499	293000		
	33	481	287000		
	41	470	360000		
	43	463	311000	304000	305000
	44	478	366000		
	55	471	267000		
	56	423	249000		
	58	413	352000		
	62	437	309000		
	65	496	372000		
	66	447	246000		
	67	477	275000		

1	2	3	4	5	6
"500"	8	531	363000		
	I4	532	3I2000		
	I5	522	357000		
	I6	582	336000		
	20	527	325000		
	23	57I	325000		
	26	555	409000		
	32	506	373000		
	36	562	358000		
	42	532	307000	335000	335000
	46	550	29I000		
	47	542	328000		
	50	559	349000		
	52	575	305000		
	53	500	323000		
	54	564	32I000		
	68	570	306000		
"600"	6	624	365000		
	I0	680	3I2000		
	I7	6I0	347000		
	I8	602	353000		
	29	690	320000		
	37	640	40I000	359	360
	39	602	365000		
	40	692	356000		
	45	697	452000		
	5I	662	336000		
	63	668	337000		

1	2	3	4	5	6
"700"	9	779	414000		
	12	700	321000		
	19	795	373000		
	34	755	369000	387000	385000
	35	775	446000		
	64	748	395000		

Полученные средние значения модуля упругости были сравнены с нормативными, приведенными в СНиП II-В 1-62 (рис.4).

Следовательно, фактический модуль упругости бетона, твердевшего в условиях сухого и жаркого климата для бетона марки "400" на 45000 кг/см2, ниже нормативного, марки "500: - на 40000 и "600", и "700" - на 35000 кг/см2, или на 8-13%.

Выводы

Таким образом, проведенные исследования позволили определить фактические значения коэффициента линейного расширения и начального модуля упругости высокопрочных бетонов, твердевших в условиях сухого и жаркого климата.

Результаты работы позволят внести коррективы в соответствующие разделы нормативных документов, что поможет при проектировании бетонных и железобетонных конструкций более полно учитывать региональные климатические особенности Средней Азии.

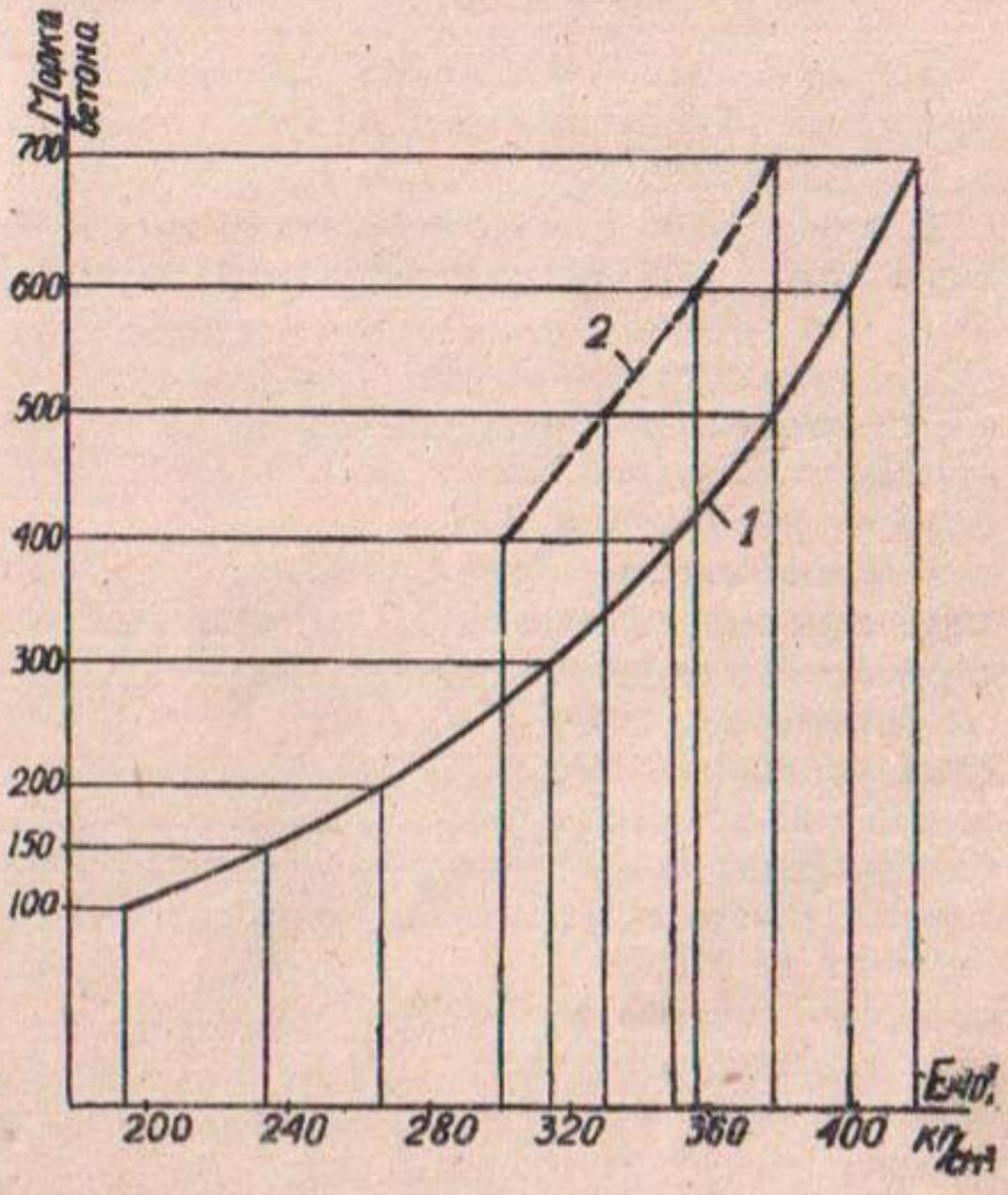


Рис. 4 График зависимости начального модуля упругости бетона от его марки: 1– нормативный начальный модуль упругости; 2– то же, фактический

Литература

1.Производство бетонных работ в жаркую погоду (проект технических условий) Journal of the American Concrete Institute, №5, 1955.

2.Викторов А.М. Исследование бетонов в гидросооружениях бурением. "Гидротехническое строительство", №11, 1956.

3.Проект временной инструкции по определению призменной прочности и начального модуля упругости бетонов. Научно-технический отчет лаборатории методов испытания бетонов НИИЖБ за 1965 г.

4.Проект методических указаний по отбору и испытанию кернов из бетонного покрытия автомобильных дорог и аэродромов. Оргтрансстрой, М., 1965.

5.Александровский С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на Температурные и влажностные воздействия (с учетом ползучести). М., Стройиздат, 1966.

6.Мальцев К.А., Королев М.М. К вопросу о контроле качества бетона в сооружениях. "Гидротехническое строительство", № 2, 1955.

Н.П.ТУРУБАР

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОПЕРЕЧНОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНО-НАПРАВЛЕННОЙ ВИБРАЦИИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЛОТКОВ - ВОДОВОДОВ

Уплотнение бетонной смеси при формовании лотков - одна из основных технологических операций.

Лотки представляют собой тонкостенную пространственную конструкцию, имеющую в поперечном сечении очертание параболы.

Процесс укладки и уплотнения бетонной смеси при изготовлении тонкостенных криволинейных элементов имеет ряд особенностей, связанных с необходимостью заполнения ею небольшого зазора между бортоснасткой, поддоном формы и качественным уплотнением смеси во всех точках изделия.

Как правило, на предприятиях Советского Союза, изготавливающих лотки по стендовой технологии, бетонную смесь в лотках уплотняют навесными вибраторами, закрепленными на бортах формы, или с помощью вибровала, установленного на раме формы.

В соответствии с программой исследований лаборатории сборных конструкций САНИИРИ, на Бекабадском заводе железобетонных изделий Главсредазирсовхозстроя экспериментально определяли эффективность наиболее распространенного метода виброуплотнения при формовании лотков длиной 8 м и высотой 0,6 м на стендах с помощью навесных вибраторов.

При первых испытаниях бетонную смесь уплотняли

двумя навесными вибробалками, на каждой из которых было установлено по 3 вибратора типа С-413. Винтовыми зажимами балки крепились к бортам формы. Установка вибробалок, их перемещение с формы на форму и крепление требовали значительных затрат времени. Кроме того, для переноса и закрепления вибробалки, вес которой составляет около 230 кг, необходимо было использовать автокран, что осложняло организацию работ на стенде. На заполнение формы и уплотнение бетонной смеси с осадкой конуса 3 см затрачивали 22 мин.

Качество вибрации оказалось неудовлетворительным.

Для улучшения качества вибрации и уменьшения времени формования количество вибраторов было увеличено до 8 шт. - по 4 на каждый борт. Одновременно с повышением числа вибраторов и был изменен и метод крепления их к борту формы.

Вибраторы крепились каждый в отдельности непосредственно к борту формы в специальных гнездах, что несколько сократило время уплотнения бетонной смеси. Переносили, устанавливали и снимали их вручную. Продолжительность формования одного лотка для бетонной смеси с осадкой конуса 3 см составила 10 мин.

В процессе опытной эксплуатации стенда выявили ряд серьезных недостатков изучаемого метода виброуплотнения бетонной смеси при изготовлении лотков.

Амплитуды колебаний по длине и контуру формы лотка распределялись очень неравномерно, величина их не превышала 0,12 мм; имелись участки с нулевыми амплитудами. Это приводило к тому, что наиболее ответственная часть лотка - донная - уплотнялась значительно хуже, чем другие участки. Прочность бетонных контроль-

ных образцов, заформованных по горловине формы, на 10-15% оказалась ниже прочности бетонных образцов, заформованных в нижней части формы лотка.

Результаты определения прочности бетона лотка диском Губбера также подтвердили уменьшение ее в донной части.

Расстояние между бортами формы в горловине составляло 160-250 мм, и вибрационного воздействия бортов было недостаточно для качественного уплотнения бетонной смеси.

Наличие нулевых амплитуд, неравномерное распределение их по контуру формы и, в связи с этим, неодинаковое уплотнение бетонной смеси в различных точках изделия, необходимость использования достаточно пластичных смесей - основные недостатки виброуплотнения бетонной смеси в формах лотков с помощью навесных вибраторов.

Все это побудило искать другие, более рациональные способы формования лотков.

С этой целью нами было проведено несколько серий экспериментов изготовления на вибростолах фрагментов лотков длиной 1,0 и 1,6 м высотой 0,4-1,8 м с применением вертикальной двухчастотной (3000 и 6000 кол/мин.) и одночастотной (3000 кол/мин.), а также поперечной горизонтально направленной вибраций. Как одночастотная, так и двухчастотная вертикальные вибрации не обеспечили равномерного распределения амплитуд по контуру формы и получения равнопрочного бетона во всех точках изделия.

Исследования показали, что наиболее рациональным при формовании лотков является способ поперечной

горизонтально направленной вибрации, который и был использован при изготовлении опытных лотков на стенде.

Схема действия указанной вибрации заключается в том, что установленной на плоских рессорах форме с помощью двухвального вибратора придаются направленные горизонтальные поперечные колебания. При этом имеется возможность равномерного уплотнения тонкого слоя бетонной смеси, заключенного между бортоснасткой и поддоном, при активном участии последних в процессе вибрации (рис. I).

После серии экспериментов на фрагментах проверили эффективность метода поперечных горизонтально направленных колебаний на стенде при изготовлении лотков длиной 8 м и глубиной 60 см.

Каждая форма была установлена на четырех рессорных опорах шириной 61 мм, толщиной 6 мм и свободной длиной 150 мм. Размеры и количество рессор выбирались, исходя из условий обеспечения необходимой устойчивости формы с бетонной смесью и минимально возможной жесткости опор, обеспечивающих достаточно свободные колебания формы в поперечном направлении.

Первые испытания производились с использованием двух вибраторов С-414, закрепленных по одному на каждый борт. Продолжительность укладки и уплотнения бетонной смеси одного лотка с осадкой конуса 3 см составила 11 мин.

Эксперименты показали, что в данном случае бетонная смесь уплотнялась неравномерно. В результате измерений, выполненных вибрографом ВР-I установили, что амплитуды по форме лотка распределяются неравномерно и их абсолютная величина мала; амплитуда колебаний в

разных точках бортов находилась в пределах 0,05-0,1мм, а рамы поддона - 0,03-0,08 мм.

Выявили также,что вибрационное воздействие необходимо осуществлять одновременно как со стороны бортов,так и поддона.

Для обеспечения при вибрации совместной работы бортов и поддона формы на раме формы был закреплен двухвальный вибратор С-788, с помощью которого вибрация формы осуществлялась в поперечном горизонтальном направлении.

Вибратор С-788 имеет 4 спаренных эксцентрика, позволяющих путем их раздвижки менять кинетический момент от 0 до 46 кг/см.

Так как при максимальном кинетическом моменте наблюдались чрезмерно большие амплитуды колебаний формы-эксцентрики раздвигали на 65° - кинетический момент был понижен до 41,6 кг/см.После этого горизонтальные амплитуды колебаний бортов и поддона формы были зарегистрированы в пределах 0,17-0,32 мм (рис.2).

Поскольку вибратор закреплен ниже центра тяжести формы, наряду с горизонтальными амплитудами отмечаются и вертикальные составляющие колебаний.

Совместная работа вертикальных и горизонтальных составляющих колебаний способствует лучшему уплотнению бетонной смеси в горловине формы.

В связи с тем,что вибратор крепится к специальной плите из листа толщиной 30 мм,а плита вставляется в самозаклинивающиеся направляющие пазы,установленные на раме поддона,вибрация передается одновременно на борта и на поддон формы.

Бортоснастка,работая совместно с поддоном формы,

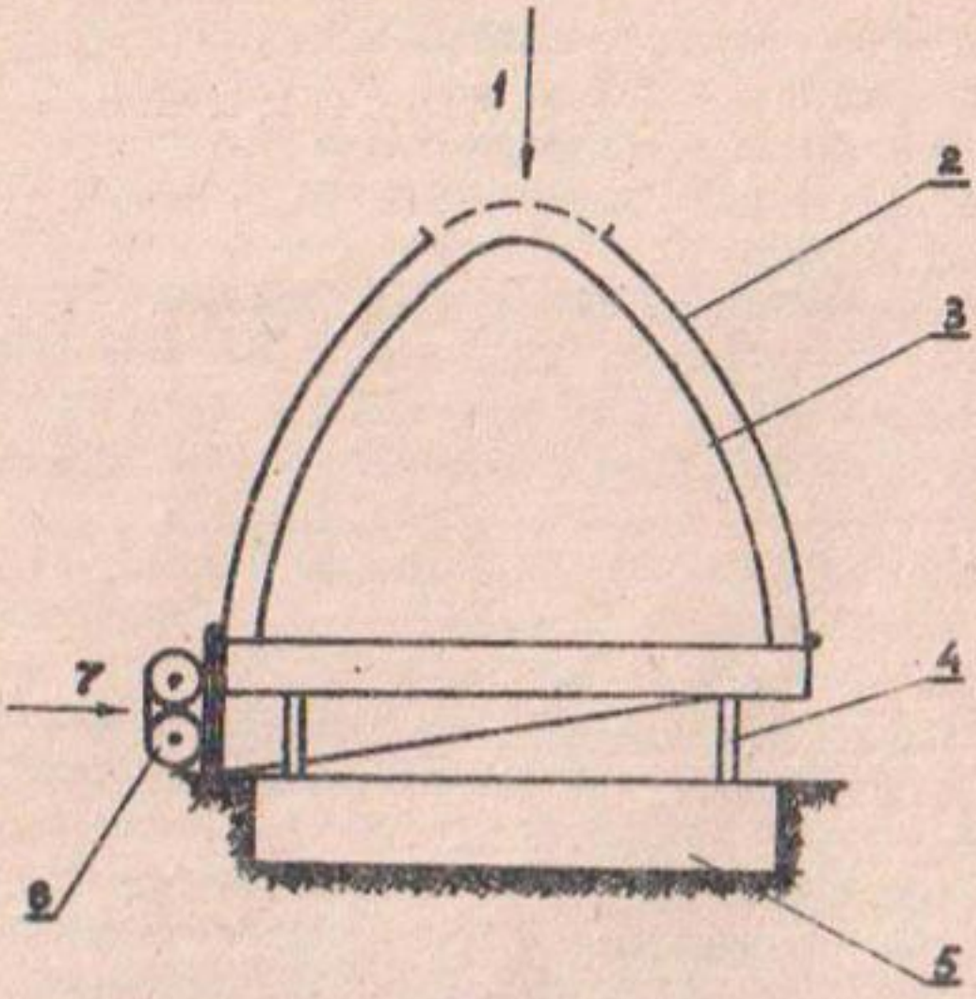
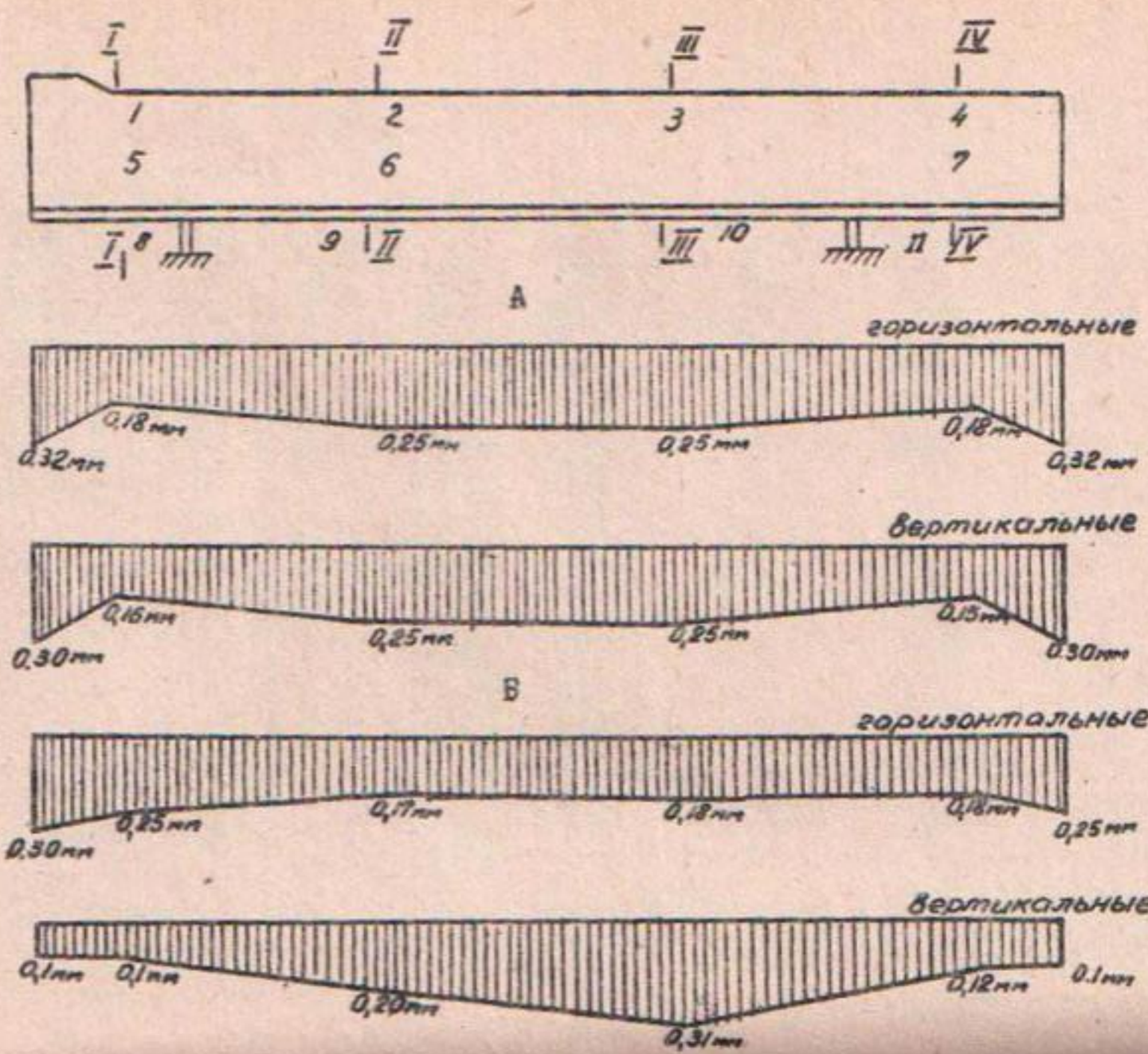


Рис.I Схема отенда с поперечной горизонтально направленной вибрацией формы:

I- загрузка бетонной смеси в форму;
2- борт формы;
3- поддон формы;
4- рессоры;
5- бетонный фундамент;
6- двухвальный вибратор;
7- направление колебаний

Таблица I

номера точек	Амплитуды		Осадка конуса, см	Объемный вес бетона кг/м³	Прочность на сжатие контрольных кубов, кг/м³		Прочность бетона по методу А.М.Губбера, кг/см2	
	горизонтальные мм	вертикальные мм			7 суток	28 суток	7 суток	28 суток
I	0,I8	0,I5	I,5	2470	20I	305	2I2	3I4
2	0,25	0,25	I,5	2475	204	294	230	306
3	0,25	0,25	I,5	2468	203	30I	222	3I8
4	0,I8	0,I5	I,5	2420	200	309	208	30I
5	0,25	0,I	I,5	2480	206	305	2I0	32I
6	0,I7	0,20	I,5	2480	208	3II	2I4	3I4
7	0,I8	0,I2	I,5	2475	204	300	200	305
8	0,20	0,I0	I,5	2458	20I	292	2I8	3I4
9	0,20	0,I5	I,5	2455	200	30I	206	3I0
I0	0,I7	0,25	I,5	2429	20⁰	300	2I0	30I
II	0,25	0,I0	I,5	2466	20I	305	228	3I7
I2	0,I7	0,25	I,5	2485	2I5	309	2II	3I0


I
II
III
IV
1
2
3
4
5
6
7
I 8
9 II
III 10
11 IV
А
горизонтальные
0,18мм
0,25мм
0,25мм
0,18мм
0,32мм
0,32мм
вертикальные
0,16мм
0,25мм
0,25мм
0,15мм
0,30мм
0,30мм
Б
горизонтальные
0,25мм
0,17мм
0,18мм
0,16мм
0,30мм
0,25мм
вертикальные
0,1мм
0,1мм
0,20мм
0,31мм
0,12мм
0,1мм

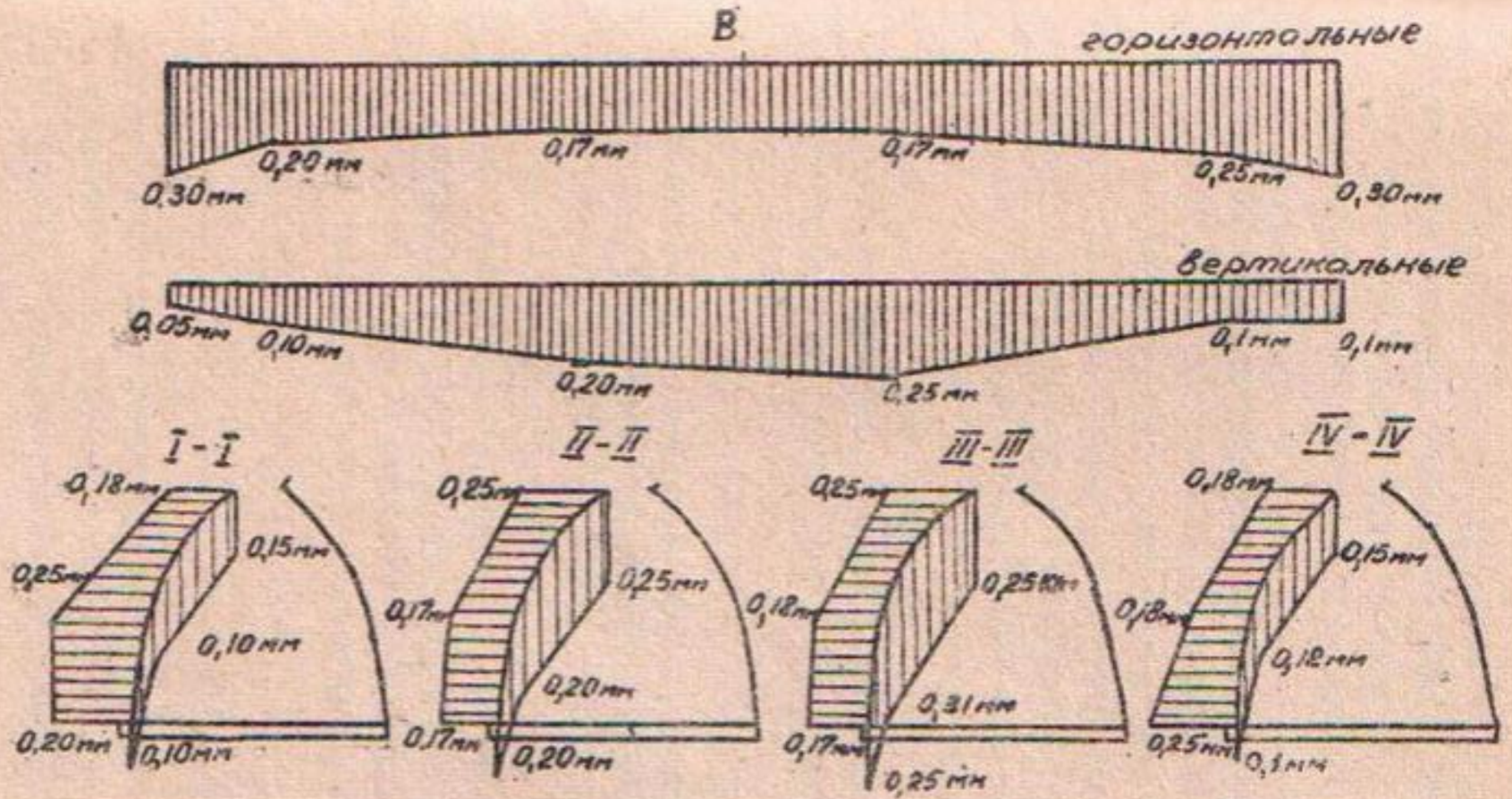


Рис.2 Эпюры распределения амплитуд по контуру формы: А- амплитуды колебаний по верху борта (точки I–4), Б- амплитуды колебаний по середине борта (точки 5–7), В - амплитуды колебаний рамы поддона (точки 8–II)

не испытывает вредных нагрузок, имеющих место при навесных вибраторах. Трудоемкость съема, переноса и установки вибратора с формы на форму снизилась. Время уплотнения бетонной смеси с осадкой конуса 1,5–2 см составляет 5 мин.

Для определения степени уплотнения бетонной смеси в различных точках лотка, на бортах и поддоне формы, в местах минимальных и максимальных амплитуд были закреплены формочки кубов 10x10x10 см, в которых в процессе изготовления лотков формовались контрольные образцы. Прочность бетона лотка устанавливали диском А.М.Губбера.

Как показали испытания бетона лотка на прочность, распределение амплитуд по контуру лотка, даже при их минимальных значениях (0,15-0,18 мм), гарантирует получение необходимой прочности и плотности во всех точках лотка (табл.1).

При изготовлении лотков и контрольных образцов применялась бетонная смесь с осадкой конуса 1,5 см следующего состава: портланд-цемент М-500 – 430 кг, гравий – 1325 кг, песок – 507 кг и вода – 185 л.

Средние значения прочности кубов на сжатие в 7-суточном возрасте естественного твердения составляли 200–228 кг/см^2, в 28-суточном – 292–317 кг; объемный вес бетона образцов колебался в пределах 2420–2480 кг/м^3.

Выводы

1. Применение метода поперечной горизонтально направленной вибрации при изготовлении пространственных железобетонных деталей обеспечивает укладку и

равномерное уплотнение в них бетонных смесей с осадкой конуса до 1,5 см при минимальных значениях амплитуд колебаний в пределах 0,15-0,20 мм.

2. Поперечная горизонтально направленная вибрация способствует получению равномерной прочности бетона по всему контуру лотка.

3. Метод поперечной горизонтально направленной вибрации является эффективным способом виброуплотнения бетонной смеси при изготовлении лотков на стендах и может быть рекомендован для исследований процесса формования крупноразмерных лотков-водоводов.

Литература

1. Десов А.Е.Вибрированный бетон,Госстройиздат, 1956 г.

2. Скрамтаев Б.Г.,Лещинский М.Ю.Испытание прочности бетона в образцах,изделиях и сооружениях,Стройиздат,1964.

3. Гладков С.Н. Электромеханические вибраторы, Издательство "Машиностроение",1966.

А.АБДУЖАБАРОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ТОРКРЕТИРОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ВРАЩАЮЩИХСЯ СЕРДЕЧНИКОВ

В лаборатории сборных конструкций САНИИРИ разработан безвибрационный способ изготовления тонкостенных армоцементных труб с помощью торкретирования вращающихся цилиндрических сердечников.

Для торкретирования могут быть использованы цемент-пушки или струйные аппараты, в которых создается взвешивание частиц смеси цемента и влажного песка в сжатом воздухе. Смесь, направляющаяся в материальные шланги, с большой скоростью подходит к соплу, находящемуся на конце шланга. К соплу подводится вода, которая смачивает смесь, создавая при этом цементно-песчаный раствор. Частицы раствора, вылетая с большой скоростью из сопла, встречают на своем пути торкретируемую поверхность, о которую ударяются. Большая часть из них остается на поверхности, создавая плотный качественный слой раствора, а небольшая (7-12%) отскакивает. Последняя называется отскоком.

Укладка мелкозернистого бетона способом торкретирования весьма эффективна при малой толщине стенок конструкции - два и четыре см. С увеличением толщины стенки эффективность этого способа теряется.

Как установлено опытами, прочностные показатели мелкозернистого бетона на торкретируемой поверхности зависят от скорости, с которой подается смесь. Для получения наибольшей прочности торкретируемой поверхно-

ти рекомендуется скорость выхода смеси из сопла принимать от 100 до 170 м/сек, а скорость зависит от давления воздуха, диаметра сопла и расстояния сопла от торкретируемой поверхности (0,8-1,2 м).

С увеличением диаметра сопла скорость выхода смоченных частиц уменьшается, в этом случае сопло должно располагаться ближе к торкретируемой поверхности.

Технологическая схема изготовления армоцементных труб способом торкретирования вращающихся сердечников прежде всего требует определения характеристик взаимного движения сопла и сердечника.

Движение сопла и сердечника - сложное движение.

Под влиянием силы, действующей на частицы смеси при выходе из сопла, они передвигаются к центру сердечника и одновременно, после удара о поверхность сердечника при его вращении, удаляются из зоны действия струи.

Расстояние, на которое перемещается сопло цементпушки вдоль оси сердечника этой области, будем называть шагом сопла (b).

Таким образом, процесс торкретирования поверхности цилиндрического сердечника может быть охарактеризован винтообразным движением частиц смеси. В этом случае окружная скорость сердечника определится по формуле

$$V_{окр} = \frac{d(\pi \cdot D)}{dt},$$

а линейная -

$$u = \frac{dS}{dt}$$

Здесь S - длина пути сопла вдоль сердечника;
t - время;
D - диаметр сердечника.

Отношение линейной скорости к окружной может быть параметром винтового движения сопла:

$$\frac{u}{V_{окр}} = P_c .$$

После подстановки значений u и $V_{окр}$ получим уравнение параметра P_c в виде дифференциала, где

$$P_c = \frac{dS}{d(\pi \cdot D)} \qquad (1)$$

Параметр P_c должен быть постоянной, ранее заданной, величиной для каждого диаметра сердечника.

Интегрируя уравнение (1)

$$dS = P_c \cdot d(\pi \cdot D)$$

в пределах "0" до "S" и "0" до "$\pi \cdot D$", получим:

$$S = P_c \cdot \pi \cdot D. \qquad (2)$$

Зависимость (2) показывает, что перемещение сопла вдоль сердечника при постоянном параметре "P" прямо пропорционально длине окружности сердечника.

Абсолютная скорость частицы смеси (при вращении сердечника и движении сопла) на поверхности сердечника равна геометрической сумме двух взаимно перпендикулярных скоростей "$V_{окр}$" вращательного движения и горизонтальной скорости сопла в поступательном движении " u " (рис.I).

Абсолютная скорость " V " определяется по формуле

$$V = \sqrt{V_{окр}^2 + u^2} \qquad (3)$$

(u - линейная скорость).

Значение "u" с уменьшением диаметра сердечника будет нарастать, а с увеличением - уменьшаться.

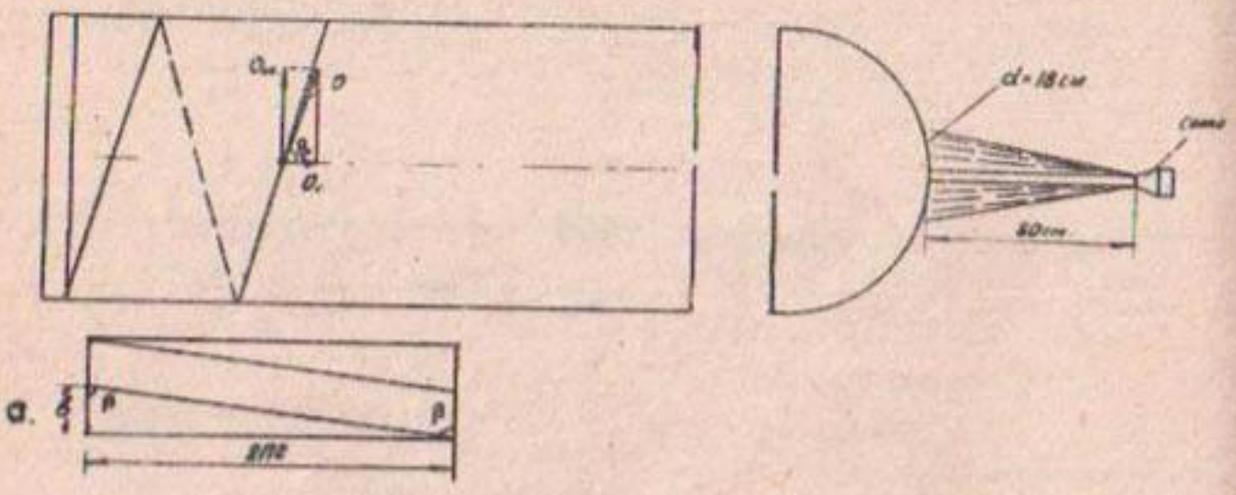


Рис. I Абсолютная скорость точки торкрета на поверхности вращающегося сердечника при изготовлении армоцеметных труб;
а) схема развернутого сердечника при укладке раствора по периметру сердечника

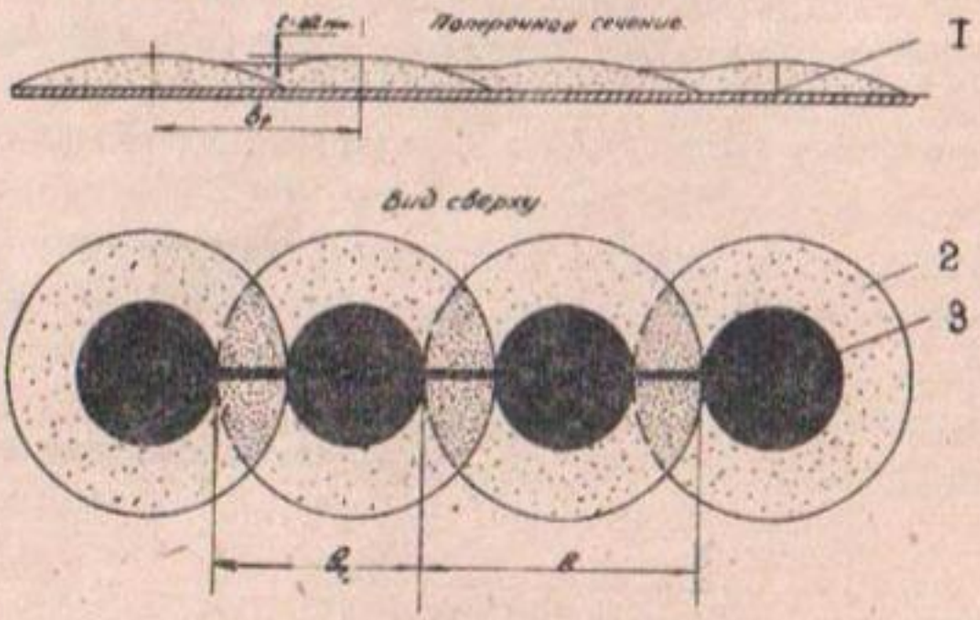


Рис.2. Схема укладки торкрета на поверхность вращающегося сердечника: I- толщина торкрета; 2- зона минимальной плотности; 3- зона максимальной плотности.

Площадь эллипса, проекции струи на поверхности сердечника, может быть выражена функцией $F = f \cdot l \cdot d_o \cdot D$

и определена по формуле параболы:

$$F_1 = 0{,}0322\, l_o^2 - 0{,}1608\, l_o + 7{,}77; \quad l_o = l\left(1 + \frac{1}{40} \cdot D\right),$$

где l - расстояние от конца сопла до поверхности сердечника;

d_o - внутренний диаметр сопла при выходе струи;

D - диаметр сердечника.

Скорость вылетающей струи " V_c " и внутренний диаметр сопла принимаются постоянными, т.е. $d_o = Const$ и $V_c = Const$, следовательно, необходимо определить проекцию диаметра струи на поверхность в зависимости от расстояния.

Если площадь проекции круга в горизонтальной плоскости

$$F_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \qquad (4)$$

то диаметр проекции струи

$$D = 2l \cdot tg\alpha \qquad (5)$$

Подставляя значения в формулу (4), получим:

$$F_1 = \frac{\pi}{4}\left(2l \cdot tg\alpha\right)^2 = 3{,}14 \cdot l^2\, tg^2\alpha, \qquad (6)$$

где α - угол рассеивания, определенный опытным путем при заданной скорости выхода струи из сопла.

При подаче воздуха под давлением в 3 атм. и скорости струи в 120 м/сек $tg\alpha = 0{,}1$.

Угол рассеивания установлен многими исследователями (Прандтль, Гортлером, Тольмином и др.) для сво-

бодно вытекающей струи через отверстие и определяется величиной $tg\alpha \approx 0,1$.

Схема рассеивания приводится на рис.2.

Выведенная нами формула (6) подтвердилась экспериментально и рекомендуется для использования в производственной практике.

Диаметр и площадь проекции струи в горизонтальной плоскости на торкретируемую цилиндрическую поверхность изменяется в зависимости от расстояния сопла до поверхности:

l, см	60	70	80	90	100	110
d_2, см	12	14	16	18	20	22
F, см^2	113	154	200	254	314	370

Примечание. В первом приближении площадь проекции струи на поверхность сердечника рассматривается как площадь круга в плоскости касательной к окружности сердечника.

Шаг сопла определится из зависимости

$$\frac{b}{2\pi \cdot r} = ctg\,\beta, \qquad (7)$$

где b - шаг сопла,

r - наружный радиус сердечника.

Толщина равномерно наносимого торкретируемого слоя зависит также от угла "β". С изменением диаметра сердечника увеличивается длина окружности и, следовательно, угол "β" должен уменьшаться, так как значение "b" (шаг сопла) - постоянная величина для заданного диаметра сердечника и толщины торкретируемого слоя.

На поверхности сердечника торкретируемый слой ядра проекции струи имеет большую плотность, чем в

зоне рассеивания.

Для получения более однородного материала при нанесении торкретированием слоя мелкозернистого бетона на поверхность сердечника принимаем перекрытие струи вдоль сердечника на 0,57 ÷ 0,67 диаметра проекции предыдущей струи в месте соприкосновения ее с поверхностью сердечника, тогда получаем более постоянную толщину образца.

Это важное условие, потому что в факеле струи имеется зона, более насыщенная раствором - ядро, диаметр которого составляет (при расстоянии сопла от поверхности, равном 80 см) 12 см.

Зону менее плотной смеси смоченных водой частиц песка и цемента назовем площадью рассеивания; она дает меньшую толщину торкретного слоя на поверхности сердечника.

В зоне ядра струи толщина торкретного слоя на поверхности сердечника составляет 9-12 мм, а площадь рассеивания - до 2,5-5 мм. В связи с чем и была принята указанная выше схема торкретирования.

При торкретировании необходимо определить ударную силу струи и распределение усилий по поперечному ее сечению.

Струя смеси, вылетающая из сопла цемент-пушки, пересекалась металлическим листом, имеющим отверстие ϕ =2,5 см. Под это отверстие были установлены весы для определения ударной силы струи. Отверстие перемещалось через каждый сантиметр по зоне действия струи. Сопло цемент-пушки было закреплено на штативе под углом 90° к металлическому листу. На площадке в 5 см^2 определялись эпюры давления (рис.3).

При изготовлении армоцементных труб оператору

необходимо знать значение скорости движения сопла и толщину стенки трубы в зависимости от диаметра сердечника.

Скорость движения сопла вдоль сердечника меняется с изменением диаметра трубы. Производительность цемент-пушки С-320 при торкретировании вращающихся сердечников можно представить зависимостью

$$V_ф - V_0 = \frac{\pi \cdot D \cdot b \cdot t}{T} \; м^3/мин, \qquad (8)$$

где $V_ф$ – фактически определенная производительность цемент-пушки, $м^3$/мин;

V_0 – объем потери на отскок ($0,12 V_ф$);

D – диаметр сердечника, м;

b – шаг сопла;

t – толщина наносимого на сердечник слоя мелкозернистого бетона, м;

T – время.

Тогда формула (8) будет иметь следующее значение:

$$V = V_ф - 0,12 V_ф = 0,88 V_ф$$

или

$$0,88 V_ф = 60 \pi \cdot D \cdot V_c \cdot t = 187 V_c \cdot t,$$

откуда

$$V_c \frac{0,88 V_ф}{187 \cdot Dt} = \frac{0,00475 V_ф}{D \cdot t}.$$

По приведенной зависимости можно задать толщину торкретного слоя и определить скорость движения сопла вдоль сердечника. Задаемся толщиной торкретируемого слоя при расчетной производительности цемент-пушки ($V_ф$=1,2 $м^3$/час). Результаты расчетов сводим в табл. 1.

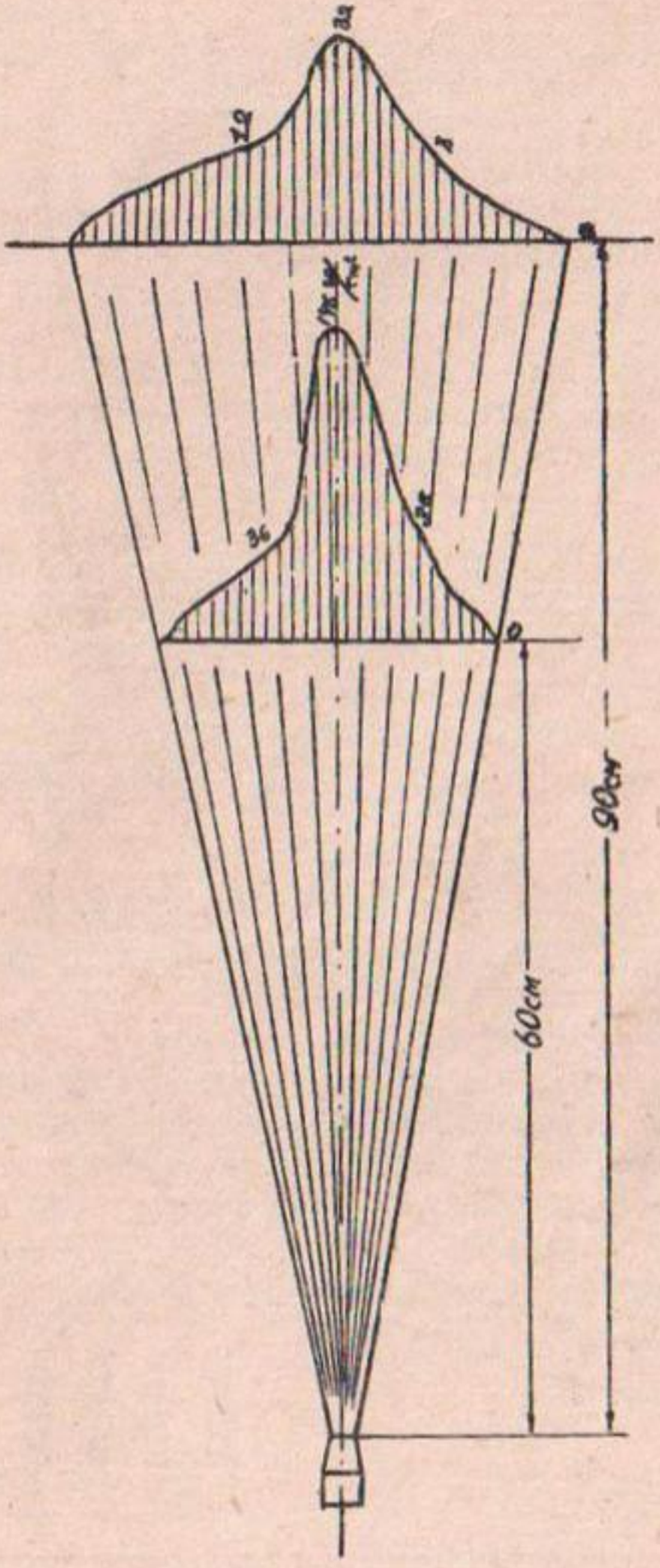


Рис. 3. Эпюра давлений в зоне струи.

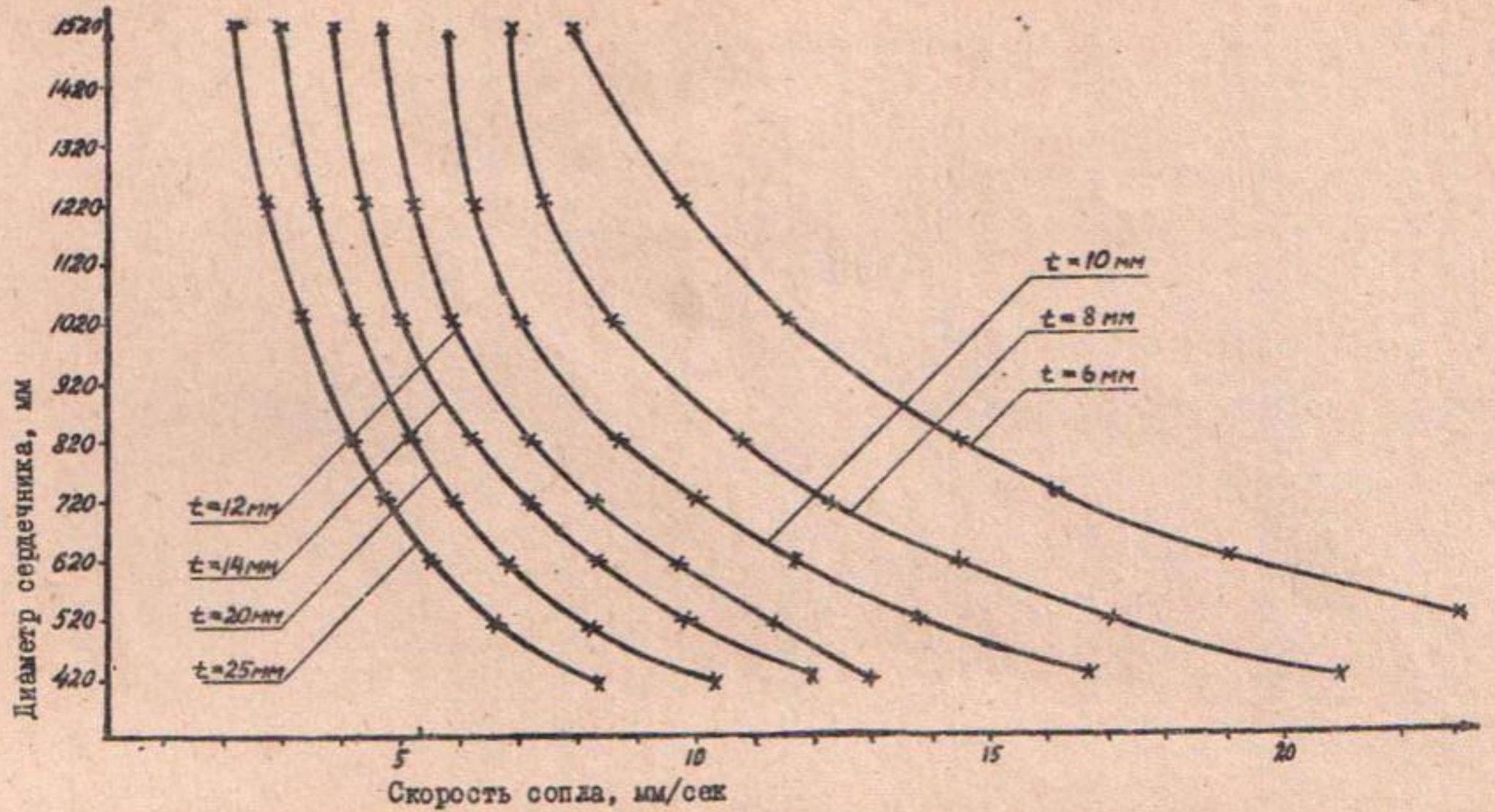


Рис.4 График зависимости скорости движения сопла вдоль сердечника от его диаметра.

Таблица I

Толщина торкрета, мм	Диаметр сердечника, см							
	42	52	62	72	82	I02	I22	I52
	Скорость сопла, мм/сек							
6	27,8	22,9	I9,I	I6,2	I4,4	II,4	I0,4	7,8
8	20,8	I7,I	I4,3	I2,2	I0,8	8,6	7,3	5,8
I0	I6,7	I3,7	II,5	8,8	8,7	6,9	6,3	4,7
I2	I3,9	II,4	9,6	8,2	7,2	5,7	5,2	3,9
I4	II,9	9,8	8,2	7,0	6,2	4,9	4,5	3,3
20	I0,5	8,5	7,I	6,I	5,4	4,3	3,6	2,9
25	8,4	6,6	5,7	4,9	4,3	3,5	2,9	2,3

По данным табл.2 построен график (рис.4).

Оператор, используя таблицу или график, может подобрать скорость движения сопла в зависимости от диаметра сердечника и толщины торкретного слоя. Полученные значения кривых совпадают с экспериментальными данными.

Выводы

I. Укладка мелкозернистого бетона на поверхность вращающихся сердечников способом торкретирования производится продольным движением сопла вдоль вращающегося сердечника, величина которого прямо пропорциональна длине окружности сердечника.

2. При нанесении торкретного слоя на поверхность сердечника перекрытие струи производится на $0{,}57 \div 0{,}67\,D$ проекции предыдущей струи в месте соприкосновения ее с поверхностью сердечника.

3. График движения сопла вдоль сердечника в

зависимости от его диаметра может быть использован в производстве.

Литература

1. Агрызков Н.А. Торкретные работы на строительстве гидроэлектростанций. Энергоиздат. М., 1953.

2. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй, М., Госиздат физико-математич. лит-ры, 1960.

3. Воронков И.В. Курс теоретической механики, М., Гос. издат. техн. теор. литературы, 1955.

4. Абдужабаров А.А. К вопросу о технологии изготовления армоцементных труб способом торкретирования вращающихся сердечников, "Вопросы гидротехники", вып. 18, изд-во "Наука" УзССР, Ташкент, 1964.

А.АБДУЖАБАРОВ

ПОЛИГОН ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АРМОЦЕМЕНТНЫХ ТРУБ СПОСОБОМ ТОРКРЕТИРОВАНИЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ СЕРДЕЧНИКОВ

В водохозяйственном строительстве Средней Азии большинство предприятий по производству бетонных и железобетонных деталей стремятся размещать в районах их потребления.

Перевозка заполнителей или готовых деталей на дальние расстояния увеличивает себестоимость железобетонных изделий, поэтому размещение заводов и полигонов по производству сборного железобетона, как правило, диктуется наличием местных запасов гравия и песка.

В Средней Азии имеются зоны строительства систем орошения и обводнения, где нет запасов гравия и песка, соответствующих стандартным нормам, и в качестве заполнителя может быть использован только мелкозернистый (барханный) песок. Для таких зон приобретает огромное значение применение армоцементных деталей и конструкций, изготовленных на барханных песках.

К числу армоцементных деталей, необходимых в первую очередь в водохозяйственном строительстве, следует отнести армоцементные трубы.

Разработанная лабораторией сборных конструкций САНИИРИ технология приготовления на полигонах безнапорных труб способом торкретирования наиболее экономична, эффективна при изготовлении тонкостенных криволинейных деталей гидротехнических сооружений. Следует отметить, что при изготовлении деталей и конструкций указан-

ным методом используется односторонняя опалубка (внутренняя).

При торкретировании совмещается в одной рабочей операции транспортирование, распределение и уплотнение рабочей смеси с помощью струи сжатого воздуха. Качество уплотнения лучше, чем при вибрировании.

В 1962-1964 гг. лабораторией был сконструирован, смонтирован и испытан стенд для изготовления длинномерных безнапорных армоцементных труб способом торкретирования вращающихся сердечников. В результате опытов была уточнена окончательная технология изготовления армоцементных труб, после чего в КК АССР на массиве Чукуркак прошла производственную проверку разработанная лабораторией схема полигона по изготовлению этих труб.

Схема передвижного полигона, разработанная для изготовления армоцементных труб способом торкретирования, учитывает климатические условия производства работ на полигонах в Средней Азии и возможность использования местных материалов для ирригационного строительства (рис. I).

Опытный полигон, расположенный в 400 км от Нукуса, в зоне барханных песков, был оснащен следующим оборудованием: стендом САНИИРИ для изготовления армоцементных труб торкретированием вращающихся сердечников; компрессором ПКС-5; передвижной электростанцией ПЭС-15; цемент-пушкой С-320; бетономешалкой С-399; автокраном К-32; сжимающимися сердечниками; установкой по извлечению сжимающихся сердечников.

На передвижном полигоне был предусмотрен склад для цемента, тканых металлических сеток и арматуры.

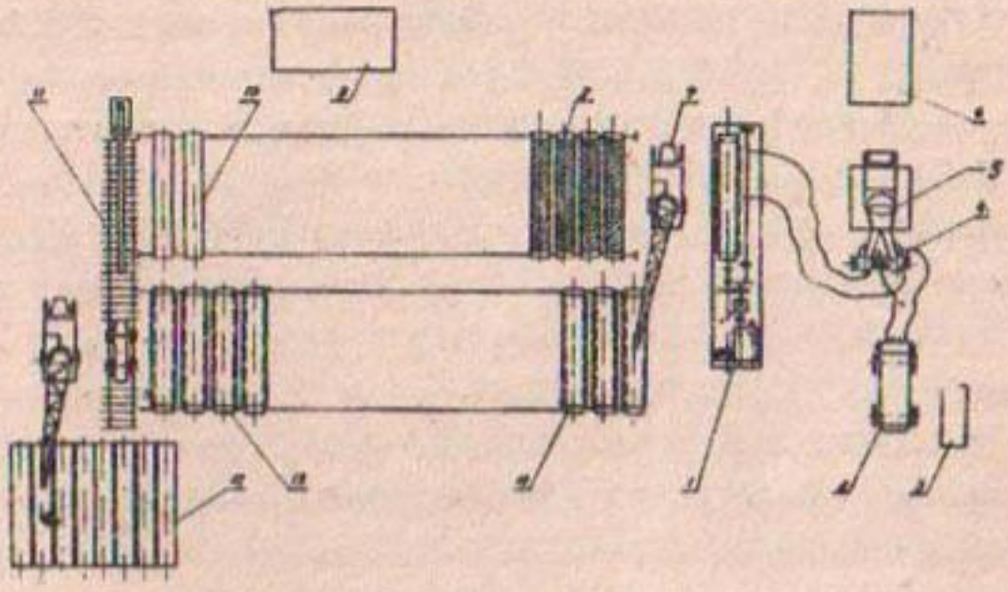


Рис. I. Схема передвижного полигона по изготовлению армоцементных труб:I - стенд для формовки труб способом торкретирования; 2- компрессор ПКС-5 ; 3- передвижная электростанция ПС-I5; 4- цемент-пушка С-320; 5 - бетономешалка С-399 (425 л.загр.ковш); 6- склад цемента; 7- автокран К-32: 8 - пост готовых сер дечников; 9- склад сетки; I0- пост подготовки сердечников; I2 - склад готовых армоцементных труб; I3 - пост твердения труб;I4-склад свежеотформованных труб.

Дозирование цемента и увлажненного песка осуществлялось мотористом с помощью весовых дозаторов. Для приготовления слегка увлажненной рабочей смеси была использована растворомешалка.

Приготовленная смесь из смесительного узла автоматически распределялась в бункер двух цемент-пушек и под давлением 3 атм. транспортировалась по шлангам и укладывалась в стенку изготовляемой трубы.

Сжимающиеся сердечники, диаметром 0,62 мм, подготавливали на специальной площадке, находящейся рядом со второй линией стеллажей. Здесь на них укладывались фиксаторы и тканая металлическая сетка.

Стенд для изготовления торкретированием армоцементных труб на полигоне Чукуркак представлял собой сварную раму из швеллеров № IO с электромотором, редуктором для вращения сердечника и супортным винтом, обеспечивающим движение сопла цемент-пушки вдоль сердечника. Число оборотов сердечника и супортного винта регулировали при помощи коробки передач автомобиля. Сжимающийся сердечник устанавливали на четырех роликах

На стенде для сбора "отскока" была выделена специальная площадка. Мощность вращающего сердечник электромотора (N) составляла 2,8 квт. Включение, отключение сопла и его движение вдоль сердечника осуществлялось оператором при помощи кнопочного управления.

Изготовленную армоцементную трубу переносили на стеллажи при помощи автокрана грузоподъемностью 3 т. Здесь наружную поверхность трубы покрывали битумной эмульсией при помощи распылительных устройств. Сердечники с армоцементными трубами выдерживались на стеллажах в течение I-2 суток.

В связи с тем,что температура воздуха в летний период на массиве Чукуркак достигает 50°С,битумную пленку применяли для защиты армоцементных труб от высыхания.В период твердения бетона наружные и внутренние поверхности труб покрывались тонким слоем битумной эмульсии.

Во время эксплуатации полигона было установлено, что более эффективным и экономичным является твердение армоцементных труб в бассейнах с водой.

На полигоне Чукуркак сердечники с отформованными трубами для распалубки подавались автокраном со стеллажей на пост извлечения сердечников.

На полигоне был испытан вариант распалубки сжимающегося сердечника в горизонтальном положении.Для этого были использованы:

I) передвижной кран для фиксации сжимающегося сердечника на тележке;

2) специальная консольная балансирная установка для фиксации и удержания сердечника с другого конца в процессе извлечения армоцементной трубы;

3) стандартная узкоколейная тележка,служащая для перемещения отформованной трубы в процессе освобождения ее от сердечника и транспортировки на склад готовой продукции.

Тележка перемещалась по железнодорожному пути (колея 750 мм).

Сердечник извлекался (рис.2) в следующей последовательности: сначала автокраном перекладывался на тележку,где и фиксировался,затем при помощи стяжных винтов,вращаемых с двух торцов,уменьшался его диаметр

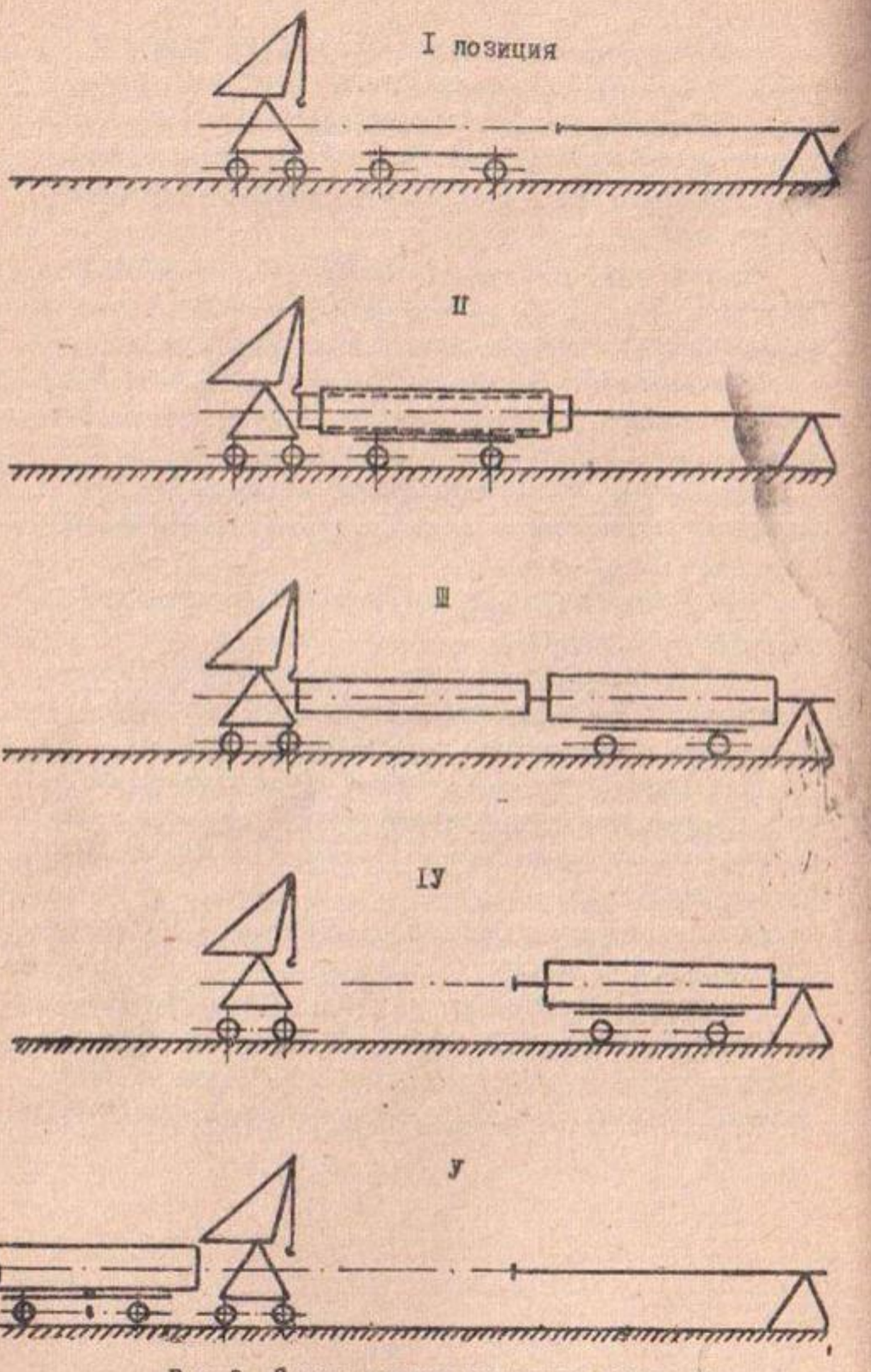


Рис.2. Схема горизонтального удаления

(рис.2,II).После сокращения диаметра сердечника на 4-5 см, его с тележкой подкатывали до упора консоли, затем с двух сторон поднимали при помощи домкратов до освобождения нижней внутренней поверхности образца трубы от поверхности сжимающегося сердечника (рис.2,III), и тележку с трубой перемещали на консоль.После этого армоцементные трубы при помощи автокрана штабелировались для дальнейшего хранения,а сердечники перевозились для повторных циклов изготовления таких труб.

Проходивший производственные испытания передвижной полигон на массиве Чукуркак занимал площадь 1250 м^2; электроэнергией обеспечивался от электростанции ПЭС-15.

Потребляемая мощность электромоторов цемент-пушки,бетономешалки и стенда для изготовления труб передвижного полигона составляла 12 квт/час. Комплект механизмов полигона был смонтирован в течение 8 дней; бытовые помещения и контора полигона размещены в полевых передвижных вагонах.

Затраты времени при изготовлении на полигоне одной армоцементной трубы D =60 см ℓ =400 см, определенные хронометражем,составили 7,35 чел/час.

Процесс изготовления трубы торкретированием на стенде,т.е. укладка,транспортирование,распределение и уплотнение мелкозернистого бетона на сердечнике требовали лишь 25% всего затраченного времени.

Фактическая производительность полигона Чукуркак, рассчитанная на стенд с одной цемент-пушкой, в период его освоения составила 56 пог.м безнапорных армоцементных труб в смену (при расчетной производительности стенда для торкретирования с двумя цемент-пушками С-320

112 пог.м).

Стоимость одного пог.м армоцементных труб (Ø =60 см),изготовленных на местных песках,оказалась равной 4 руб. 50 коп.,что на 20% ниже прейскурантной стоимости железобетонных труб.

Если учесть,что железобетонные трубы необходимо было бы транспортировать автомашинами из г.Нукуса, расположенного в 400 км от массива Чукуркак,то стоимость железобетонных труб превысила бы стоимость армоцементных, изготовленных на местных барханных песках, в 4 раза.

Выводы

1. На массиве Чукуркак в КК АССР впервые была доказана возможность производственного применения барханных песков для изготовления армоцементных труб и армоцементных деталей типовых гидросооружений.

2. Передвижной полигон комплектуется стандартными механизмами,используемыми СМУ, и может быть легко смонтирован и демонтирован в зонах Кызылкумов.

Изготовление стенда для формовки армоцементных труб и удаления сердечников может осуществляться мастерскими стройтрестов.

3. Армоцементные трубы и детали типовых гидросооружений более экономичны по сравнению с железобетонными изделиями,изготовленными в условиях орошения и обводнения пустынных зон Средней Азии,где отсутствует гравий и имеются только мелкозернистые (барханные) пески.

4. Схему и оборудование полигона Чукуркак можно рекомендовать к использованию для рабочего проектирования типовых полигонов по изготовлению армоцементных безнапорных труб и армоцементных деталей в ирригационном и сельскохозяйственном строительстве.

К.Т.ТАЛАБАЕВ

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ УЗБЕКИСТАНА С РАЗЛИЧНЫМИ ДОБАВКАМИ

Разработка экономичных антифильтрационных покрытий - еще не полностью решенная задача. Основным материалом, используемым для устройства защитных водонепроницаемых облицовок водохранилищ и оросительных каналов, является цементный бетон. Однако выполнение огромного объема работ по строительству оросительных систем вынуждает изыскивать более дешевые (на основе местных материалов) антифильтрационные покрытия.

В ряде исследовательских институтов проводятся опыты по повышению к.п.д. каналов на оросительной сети, предусматривающие применение для устройства облицовок новых материалов и новых способов производства работ по созданию антифильтрационных покрытий. Изучается возможность устройства облицовок из различного вида пленочных покрытий, определяется эффективность использования уплотнения ложа и откосов каналов, а также методы закрепления грунтов химическими реагентами и приготовления различного вида грунтосмесей для покрытий.

Специфические условия эксплуатации оросительных каналов предъявляют к материалам антифильтрационных покрытий ряд требований: облицовка должна обладать достаточной водонепроницаемостью, водоустойчивостью, долговечностью, не допускать прорастания сорной растительности и т.д.

Выявление экономичного материала, из которого можно было бы сделать облицовки, удовлетворяющие требованиям эксплуатации - сложная задача.

Одним из возможных эффективных способов снижения потерь воды на фильтрацию является использование продуктов и отходов химической промышленности республики гидрофобизирующих или пептизирующих грунты.

В течение ряда лет в лаборатории грунтоведения САНИИРИ (под руководством доктора технических наук Рождественского) изучалась возможность использования в качестве антифильтрационных добавок к лессовым грунтам джаркурганской нефти, некоторых отходов нефтеперерабатывающей (гудрон, широкая фракция, гач, петролатум, мазут, крекинг остаток), масложировой промышленности (хлопковый гудрон-госсиполовая смола), а также полимерных материалов (полиакриламид и К-4). Ряд физико-технических свойств лессовых грунтов с добавками нефти и продуктов ее переработки, а также полимеров уже были освещены в наших работах [1, 2, 3].

Известно, что в результате смешения лессового грунта с джаркурганской нефтью и нефтепродуктами частицы и агрегаты грунта обволакиваются ими.

По теории М.М.Филатова [4], нефть образует высокие комплексные поглотительные (адсорбционные) соединения с высокодисперсной частью грунта типа "битум-глина". При этом асфальтены сообщают грунту гидрофобные свойства, а смолы связывают частицы его между собой благодаря развивающимся силам натяжения в нефтегрунтовых пленках, и свободный углерод повышает температурную устойчивость и связующую способность вяжущего.

Таким образом, введение нефти и нефтепродуктов в грунт в первую очередь вызывает изменение их водных свойств. Последние коренным образом изменяются в силу перехода грунта в гидрофобное состояние, характеризующееся повышенной водоустойчивостью и пониженной водопроницаемостью и влагоемкостью грунта.

Для выяснения степени гидрофобизации лессовых грунтов с различными добавками мы исследовали всасывающую способность грунтов (через определенные интервалы (1,2,3 мин.) в течение 30 мин.) на приборе системы Б.Г.Запрометова и Б.П.Калмакова /5/, так как скорость поглощения воды грунтами также может характеризовать степень их лиофильности (табл.1).

Таблица 1

Материал	Объем воды, всасываемой грунтом и грунтосмесями		Кратность снижения всасывания грунтосмесями воды по сравнению с контролем (раз)
	$см^3$	% (от веса грунта)	
Воздушно-сухой лессовый грунт без добавок	0,208	41,6	1
Грунт +5% нефти	0,049	9,8	4.2
То же + 10% нефти	0,026	5,2	8,0
То же + 15% нефти	0,013	2,7	15,5
То же + 15% широкой фракции нефти	0,025	4,9	8,4
То же + 15% смеси (80% шир.фр.+20% гача)	0,019	3,8	10,9

То же + I5% смеси (77% мир.фр.+ 20% гача + 3% хлопкового гудрона)	0,0I8	3,6	II,6
То же +I5% гача (Ферг.нефтеперег. завода)	0,02I	4,2	9,8
То же +I5% хлопкового гудрона (Каттакурганского маслозавода)	0,0I6	3,2	I2,8

Из табл. I видно, что наибольшая гидрофобность достигается при обработке грунтов I5%-ной нефтью, а также I5% -ной смесью продуктов (77 % широкой фракции + 20% гача) с хлопковым гудроном. С увеличением дозировки нефти от 5 до I5% всасываемая способность грунтов уменьшается в три с лишним раза. Опыты показывают, что добавка различных нефтепродуктов в сравнительно одинаковой степени уменьшает гидрофильность грунтов.

Таблица 2

Материал	Объем воды, всасываемой грунтом и грунтосмесью		Кратность увеличения всасывающей способности грунтосмеси по сравнению с контролем (раз)
	$см^3$	% (от веса грунта)	
Воздушно-сухой лессовый грунт без добавок (контрольный)	0,2I	4I,6	

Грунт + 15% полимера полиакриламида	0,26	52,0	1,3
То же + 1,0% " "	0,30	60,7	1,5
То же + 0,5% полимера К-4	0,25	50,6	1,2
То же + 1,0% " "	0,30	60,7	1,5

Результаты лабораторных опытов всасывания лессовых грунтов с добавкой структурообразующих полимеров - полиакриламида и К-4 (табл.2) - показывают, что полимеры увеличивают поглощающую способность грунтов. Возрастание дозировки их от 0,5 до 1% несколько повышает гидрофильность грунтов, при этом рассматриваемые полимеры примерно в одинаковой степени ее увеличивают. Полиакриламид и К-4, как структурообразователи, играют роль клеев. При перемешивании их с грунтом до уплотнения происходит агрегирование, т.е. склеивание более мелких агрегатных фракций в крупные, а при уплотнении менее прочно склеенные частицы сближаются, в результате чего получается плотный монолит (грунтоматериалы).

Высокая клеющая способность указанных структурообразователей, вносимых в малых дозах, открывает возможность использования их в ирригационном, дорожном, аэродромном и других строительствах.

Для уточнения степени гидрофильности указанных смесей, кроме всасывающей способности, изучали также их набухаемость (табл.3).

Таблица 3

Материал	Исходная влажность грунта,%	$\delta_{ск}$ =1,6г/см^3	
		влажность набухания образцов,%	набухание, %
Лессовый грунт без добавок	14	28,9	15
Грунт + 15% нефти	2	25,5	10
То же + 15% нефти, содержащей 3% хлопк. гудрона	2	21,2	4
То же + 10% нефти	14	19,9	4
То же + 15% смеси (77% шир.фр.+ 20% гача + 3% хлопк. гудрона)	2	24,4	
То же + 0,5% полимера полиакриламида	14	35,6	
То же + 1,0% " "	14	38,1	
То же + 0,5% полимера К-4	14	36,5	18
То же + 1,0% -"-		40,4	21

Были использованы приборы А.М. Васильева и Д.И. Знаменского [6]

Влажность набухания $W_н = \frac{q - q_c}{q_c}$,

где $W_н$-влажность набухания, %;

q - вес влажного грунта после опыта,г;

q_c - вес сухого грунта,г.

Величина набухания $\Delta V = \frac{\Delta h}{h}$

Здесь Δh -приращение высоты образца по показаниям индикатора, мм (разность между последним и нулевым отсчетами);

h -начальная высота образца, равная высоте кольца, мм.

Значительное снижение набухания образцов с добавкой нефтепродуктов по сравнению с чистым грунтом подтвердили результаты лабораторных опытов уменьшения водопоглощения (гидрофильность грунтов) и повышения его с добавкой полимеров. Наличие в нефти хлопкового гудрона также заметно снижает набухание образцов. Набухание лессового грунта с добавкой смеси нефтепродуктов немного выше, чем у грунта с нефтью и хлопковым гудроном. Величина набухания образцов с добавкой полимеров, как правило, больше, чем без добавок (при одинаковой исходной влажности 14% и плотности грунта $\delta_{сл} = 1{,}6$ г/см^3).

С повышением дозировки полимера растет величина набухания и конечная влажность. Набухание образцов с добавкой полиакриламида больше, чем с К-4 (при одинаковых дозировках), хотя конечная влажность последних выше.

Поскольку целью основных исследований являлось выявление возможности снижения водопроницаемости лессовых грунтов, приводим характеристику антифильтрационной эффективности некоторых добавок дополнительно к ранее приведенным в работах [1-3]. Из данных табл. 4 видно, что $K_ф$ лессового грунта существенно снижается при добавке нефти и продуктов ее переработки.

Добавка нефти снизила относительное значение $K_ф$ по сравнению с лессовым грунтом (при тех же зна-

Состав вяжущего	дозировка вяжущего (%отвеса сухого грунта	I,4
Лессовый грунт		
Грунт + нефть	I5	$4,3.10^{-8}$
Грунт + нефть, содерж.3% хлопкового гудрона	I5	$7,9.10^{-9}$
Грунт + широкая фракция нефти	I5	$I,I.10^{-7}$
Грунт + шир.фр., содерж.20% петролатума	I0	-
Тоже	I5	$8.7.10^{-7}$
Грунт + шир.фр.содерж.30% петролатума	I0	-
То же	I5	$3,6.10^{-7}$
Грунт + смесь (80% шир.фр. + I5% петрол.+5% хл.гудр).	I5	$3,9.10^{-8}$
То же 70 25 5	I5	$I,8.10^{-8}$
То же 75 I5 I0	I5	$7,75.10^{-9}$
То же 65 25 I0	I5	$8,6.10^{-9}$
То же (77 +20% гача +3% хл.гудр.)	I5	$I,7.10^{-7}$
То же (80% мазута+20%гача)	I0	-
То же (80% крекинг остаток + 20% гача)	I0	-
То же + мазут (Ванновского завода)	I5	-
То же + крекинг остаток (Ванновского завода)	I5	-

Таблица 4

W=2% (воздушно-сухой) $\sigma_{ск}$ г/см³		W = 14%		
I,5	I,6	I,4	I,5	I,6
-	-	$2,8.10^{-5}$	$I,5.10^{-5}$	$5,2.10^{-6}$
$2,3.10^{-8}$	$9,8.10^{-9}$	$I,4.10^{-8}$	-	-
$4,7.10^{-9}$	не фильтр.	-	-	-
$4,3.10^{-8}$	$3,5.10^{-8}$	-	-	-
-	-	$3.0.10^{-7}$	$3,6.10^{-8}$	$2,0.10^{-8}$
$8.5.10^{8}$	$I,3.10^{-8}$	-	-	-
-	-	$2,0.10^{-7}$	$I,7.10^{-7}$	$6,7.10^{-8}$
$I,5.10^{-8}$	$4,3.10^{-9}$	-	-	-
$3,3.10^{-8}$	$I,3.10^{-8}$	-	-	-
$7,3.10^{-9}$	$4,6.10^{-9}$	-	-	-
$6,8.10^{-9}$	$6,2.10^{-9}$	-	-	-
$8,2.10^{-9}$	$3,0.10^{-9}$	-	-	-
$6,5.10^{-8}$	$3,65.10^{-9}$	-	-	-
-	-	$2,5.10^{-7}$	$7,0.10^{-9}$	не фильтр.
-	-	$3,6.10^{-6}$	$I,0.10^{-7}$	
-	не фильтр.			
-	не фильтр.			

чениях $\sigma_{сж}$ и влажности грунта I4 и I8% без добавки нефти) в 530-650 раз. Введением в нефть 3%-ного хлопкового гудрона удалось понизить $K_ф$ фильтрации грунтов до нуля.

Уплотняя воздушно-сухой лессовый грунт с добавкой I5% широкой фракции нефти, можно уменьшить его водопроницаемость (табл.4). Относительное снижение $K_ф$ в условиях опытов (сравнительно с лессовым грунтом при тех же значениях $\sigma_{сж}$ и I4%ной влажности без добавки вяжущего) составляло I50-350 раз.

Грунт, обработанный I5% широкой фракции нефти становится гидрофобным и сыпучим. Введением хлопкового гудрона можно значительно увеличить его связность и гидрофобность. Намного уменьшается водопроницаемость лессовых грунтов с добавкой широкой фракции, содержащей 20, 30% петролатума. В смеси широкая фракция плюс I5 и 25% петролатума с увеличением дозировки хлопкового гудрона (от 5 до I0%) $K_ф$ снижается в 5 и более раз (табл.4). При 5%-ной дозировке хлопкового гудрона в широких фракциях нефти с увеличением добавки петролатума (I5-25%) $K_ф$ снижается в 2-5 раз.

В табл.4 приведены также результаты снижения водопроницаемости лессовых грунтов с добавкой мазута и крекинг остатка.

Все опыты на водопроницаемость показали, что с введением в нефть и в смесь нефтепродуктов поверхностно-активного вещества (хлопкового гудрона) значительно повышается антифильтрационная эффективность добавки.

Один из показателей долговечности лессового грунта и изученными добавками - водоустойчивость грунтосмесей (сохранение связности и значительной несущей спо-

собности при действии воды).На основании многочисленных экспериментов мы установили,что при добавке нефти и нефтепродуктов,а также полимеров (полиакриламида и К-4) в лессовых грунтах существенно повышается их водоустойчивость.

Опыты проводились по методике,не раз уже описанной в руководствах по исследованию грунтов.

Результаты исследований показали крайнюю неводоустойчивость чистого лессового грунта (при разных $б_{см}$ и уплотнении полный распад его образцов происходил через несколько мин.).Внесение нефти повысило его водоустойчивость.Так,при добавке в лессовый грунт I5%-ной нефти получается практически неразмокаемая смесь.

Выявлено,что чем выше $б_{см}$,тем эффективнее действует дозировка,в то время как уплотнение лессового грунта без добавок дает чрезвычайно малый эффект в повышении водопрочности образца.

Таким образом,чем выше плотность грунтосмеси,тем меньшая добавка нефти делает ее неразмокаемой.Влияние добавок нефти на снижение размокаемости лессовых грунтов,по-видимому,можно объяснить гидрофобизацией грунтов и увеличением их связности.

Опыты с лессовыми грунтами разной влажности уплотнения (W = I0,I4,I8%) показали,что с повышением уплотнения увеличивается его водопрочность.

Результаты определения водоустойчивости лессовых грунтов показали,что добавка смеси (I5%),состоящей из широкой фракции нефти,гача и петролатума увеличивает время размокания образцов (до часа).

При влажности грунта W =I4% с добавкой широкой фракции (I0%), содержащей 20% петролатума,образец не размокал в течение одного месяца.В таких же условиях

при добавке вместо петролатума гача время размокания составляло всего 6 суток.Образцы,изготовленные из воздушно-сухого грунта с добавкой смеси (I5%) нефтепродуктов,содержащей хлопковый гудрон,практически не размокал в течение наблюдаемого периода (более двух месяцев).Влияние хлопкового гудрона на снижение размокаемости лессовых грунтов объясняется свойством его придавать грунтам гидрофобность, а главное - значительную связность,затрудняющую разрушение образцов.

Опыты показали,что водоустойчивость образцов различна для разных влажностей и плотностей,а также дозировок полимеров: с увеличением влажности уплотнения грунта до ММВ продолжительность его размокания увеличивается; с повышением плотности грунта,а также при наличии полимеров он становится менее размокаемым.При внесении I% полимеров (при влажности ММВ и $\delta_{сц}$ = I,5;I,6;I,7 г/см^3) образцы делаются практически неразмокаемыми.

Другое важное свойство грунтосмесей (в условиях работы антифильтрационных экранов при режиме водонасыщения - высыхании) - усадка.характеризующая уменьшение объема влажных грунтов и грунтосмесей в результате высыхания.Она сопровождается трещинообразованием,отрицательное последствие которого велико.

Усадка лессового грунта с добавкой джаркурганской нефти и продуктов ее переработки (нефтяного гудрона) в количестве 5-I5% значительно ниже по сравнению с лессовым грунтом (при равной плотности и одинаковом исходном физическом состоянии) без добавок [3,8].Добавка в лессовый грунт некоторых нефте-

продуктов (широкой фракции джаркурганской нефти, гача, петролатума) в определенном количестве (10% смеси от веса грунта) не вызвала существенного изменения усадки при плотности образцов ($\delta_{ск}$), достигнутой в опытах. Относительная усадка увеличивается с ростом плотности образца при $\delta_{ск}$ =1,5 ÷ 1,72 г/см3 и W=18%. $У_л$ равно соответственно 1,15 - 1,75; с возрастанием исходной влажности грунта (W =14÷20%) линейная усадка увеличивается ($У_л$ =1,5-1,8%). Усадка лессового грунта без добавок заканчивается раньше (в основном на вторые сутки), чем с добавкой нефтепродуктов (на третьи-четвертые сутки). Относительная линейная усадка исследуемого грунта и грунтосмесей в условиях опытов колебалась в пределах 1,2-1,8%, объемная усадка соответственно 3,6-5,4%.

Трещины отмечались с увеличением исходной влажности грунта (при $\delta_{ск}$=1,7 г/см^3 и W =18% они отсутствовали, а при $\delta_{ск}$=1,7 г/см^3 и W =20% появлялись). Образцы, изготовленные с добавкой нефтепродуктов, в процессе сушки не трескались.

В 1965 г. изучалась относительная линейная усадка образцов из лессового грунта с добавкой полиакриламида и полимера со щелочью. Результаты опытов показали, что линейная усадка рассматриваемого грунта незначительная, что соответствует литературным данным *[9]*.

Образцы, изготовленные из лессового грунта без добавок полимера, в процессе сушки трескались в одном-двух местах (трещины поперечные, на всю толщину образца), хотя в опытах был довольно мягкий режим сушки; с добавкой полимера, а также N_a OH- не трескались.

Добавка полиакриламида за время сушки вызывала небольшой изгиб выпуклостью вверх. Это, по-видимому, объясняется неравномерным высыханием образца по толщине и величине пластических свойств грунта. Относительная линейная усадка лессового грунта увеличивалась с добавкой полимера полиакриламида и увеличением его дозировки.

Величина относительной усадки лессового грунта с добавкой полимера уменьшается, если в грунте содержится едкий натр. Уменьшение это с ростом дозировки $NaOH$ неравномерно.

Кроме приведенных показателей свойств грунтосмесей (гидрофобность, набухаемость, водопроницаемость, водоустойчивость, усадка), были установлены некоторые характеристики механических свойств, в частности величина сил сцепления, от которой в большей или меньшей степени зависят все показатели механической прочности. При обработке грунтов нефтью и некоторыми нефтепродуктами и полимерами определенные величины сил сцепления наиболее полно характеризуют процесс гидрофобизации, лежащей в основе взаимодействия грунтов с вяжущим. В настоящее время среди исследователей [11, 12 и др.] все больше практикуется метод прямого определения сцепления путем выявления сопротивления грунтов разрыву (в отличие от способа совместного сцепления и внутреннего трения). При этом в результате опытов выявляется максимальное разрывающее усилие, характеризующее сцепление в грунте какого-то определенного состояния. Мы использовали этот показатель (σ_p г/см^2) для сравнительной характеристики грунтосмесей с различными добавками. В табл. 6 приведены результаты лабораторных опытов определения величины сил сцепления грунтов и грунтосмесей методом разрыва

Таблица 5

Состав смесей	Влажность грунта (W), %	Процент добавки (от веса сухого грунта)	Среднее напряжение σ_p г/см2 при $\sigma_{ск}$ г/см3			
			I,4	I,5	I,6	I,7
Лессовый грунт	I0	-	-	I24	I47	280
То же	I4	-	-	93	II9	I57
То же	I8	-	-	80	II3	I33
Грунт + джаркурганская нефть	2	I5	-	I07	I24	232
Грунт + нефть, содерж. 3% хлопк. гудрона	2	I5	-	-	I68	-
Грунт + смесь (80% шир. фр. +20% петролатума	2	I5	-	-	I20	-
Грунт + смесь (70% -"- +30% -"-	2	I5	-	-	I37	-
Грунт + смесь (80% -"- +I5% -"- +5% хл.г.)	2	I5	-	-	I30	-
Грунт + смесь (80% -"- +20% гача)	2	I5	53	95	I25	I62
Грунт + смесь (77% шир. фр. +20% гача + 3% хл. гуд.	2	I5	64	78	II4	I43

Грунт + полимер полиакриламид	I8	0,3	-	I23	202	-
То же	I8	0,5	-	I28	208	-
То же	I8	I,0	-	II9	I42	-
Грунт + полимер К-4	I8	0,3	-	I0I	I52	-
То же	I8	0,5	-	2I2	305	-
То же	I8	I,0	-	I57	224	-

образцов,имеющих форму восьмерок (объем 58,5 $см^3$).Испытания на разрыв проводились как ранее [2,3] на одноры чажном приборе Михаэлиса с соотношением плеч рычага I:IO.

Для доведения изучаемого материала до нужной плотности (табл.6) использовались настольные копры и копры Клебе.Площадь сечения шейки восьмерок 6 $см^2$; повторность опытов пятишестикратная.Из табл.6 видно, что:

а) с увеличением влажности грунта (W =IO-I8%) значение σ_p уменьшается;

б) с возрастанием плотности грунтов и грунтосмесей величина силы сцепления растет;

в) величина σ_p сравнительно одинакова для лессовых грунтов с добавкой нефти,нефтепродуктов.Нефть,-содержащая ПАВ (хлопковый гудрон) значительно повышает значение σ_p .

Лабораторные опыты показали,что добавка полимеров (0,3,0,5 и I,0% от веса грукта) полиакриламида и К-4 значительно увеличивает силу сцепления грунта.При этом значение σ_p растет до определенной дозировки полимеров (порядка 0,5%),выше которой роста σ_p не происходит.

Таким образом,на основании многочисленных опытов,проведенных в течение ряда лет,можно отметить следующее:

I.Значительно уменьшается гидрофильная поверхность минералов лессового грунта с добавкой нефти и некоторых нефтепродуктов,т.е. грунты гидрофобизируются,вследствие чего коренным образом изменяются их физико-технические свойства.

Уменьшения гидрофильности минералов лессового грунта различны для разных дозировок и вида добавок вяжущего. С увеличением дозировок нефти (5-15% от веса грунта) степень гидрофобности грунтов увеличивается. При одинаковых дозировках (15% от веса грунта) вяжущего, снижение гидрофильности минералов можно располагать в следующий ряд: нефть > хлопковый гудрон > гач > широкая фракция нефти. Гидрофобность должна рассматриваться, как малая степень гидрофильности, так как все вещества обладают определенной способностью поглощать в себя воду.

Гидрофильность лессовых грунтов увеличивается сравнительно одинаково с добавкой полиакриламида и К-4. С повышением дозировок полимеров (от 0,5 до 1,0% от веса сухого грунта) она заметно возрастает.

Набухание лессовых грунтов с добавкой нефти и нефтепродуктов значительно меньше, чем без добавок.

Снижение набухаемости лессовых грунтов с добавкой (при одинаковых дозировках) вяжущего можно располагать в следующий ряд: смесь нефти с хлопковым гудроном > смесь широкой фракции с гачем и хлопковым гудроном > нефть. Вместе с тем можно предполагать, что увлажнение грунта способствует снижению набухаемости образцов.

Набухаемость грунтов увеличивается с добавкой полимеров-полиакриламида и К-4.

2. Водопроницаемость лессовых грунтов уменьшается с изменением гидрофильной поверхности минералов грунта на гидрофобную. Относительное снижение водопроницаемости лессовых грунтов (при определенных дозировках вяжущего) наиболее существенно при высоких плотностях $\delta_{ск}$.

При введении в нефть и в смесь нефтепродуктов поверхностноактивных веществ (хлопкового гудрона) значительно улучшается антифильтрационная эффективность добавки.

3. Влияние гидрофобизирующих добавок на сопротивление грунтов размоканию весьма эффективно. Лессовые грунты в естественном виде обладают ничтожной сопротивляемостью, но будучи смешаны с нефтью или нефтепродуктами становятся водостойкими (при определенных дозировках и смесях вяжущего). С увеличением дозировки вяжущего (в опытах 5-15% от веса грунта) водопрочность образцов возрастает, причем, чем выше $б_{сж}$, тем эффективнее дозировка, в то время как уплотнение лессового грунта без добавок вяжущего дает чрезвычайно малый эффект в повышении водопрочности образцов.

4. Другим свойством изменения физико-технических свойств лессовых грунтов и гидрофобизации является уменьшение усадки и трещинообразования образцов. Усадка лессового грунта с добавкой (от 5 до 15% джаркурганской нефти и нефтепродуктов значительно ниже, чем без добавок (при равной плотности и одинаковом исходном физическом состоянии). Образцы, изготовленные с добавкой (в определенных количествах) нефти и нефтепродуктов, во время сушки не трескаются, процесс высыхания идет медленно, т.е. как бы создается искусственный мягкий режим сушки.

Образцы из лессового грунта с добавкой полимера полиакриламида, а также щелочи не трескались, тогда как без добавок трескались в одном-двух местах (трещины поперечные на всю толщину образца), хотя в опытах был довольно мягкий режим сушки. Усадка лессового

грунта увеличивается с добавкой полимера полиакриламида и уменьшается, если в грунте содержится едкий натр.

5. По данным опытов видно, что с изменением гидрофильной поверхности минералов на гидрофобную или наоборот заметно меняется величина силы сцепления грунтов: а) с увеличением плотности грунтов и грунтосмесей ($\delta_{см}$=I.4-I,7 г/см^3) она увеличивается; с повышением влажности (W = IO-I8%) - уменьшается;

б) величина силы сцепления лессовых грунтов с добавкой нефти больше, чем без добавок при влажности грунтов ММВ и ММВ-4;

в) вяжущие с добавков ПАВ значительно увеличивают силу сцепления грунтов;

г) величина σ_p сравнительно одинакова для лессовых грунтов с добавкой нефти и нефтепродуктов;

д) при добавке полимеров полиакриламида и К-4 (0,3,0,5 и I,0% от веса грунта) сила сцепления грунта увеличивается.

При этом значение σ_p расчет до определенной дозировки полимеров (до 0,5%), выше которой прирост прекращается.

Литература

I. Урманова Г.Л., Талабаев К.Т. К вопросу о возможности использования джаркурганской нефти продуктов ее переработки для снижения водопроницаемости лессовых грунтов, ДАН УзССР, №9, I962.

2. Талабаев К.Т. Уменьшение водопроницаемости лессовых грунтов добавками полимеров полиакриламида, К-4, а также джаркурганской нефти и продуктов ее переработ-

ки,"Вопросы гидротехники",вып.25,Ташкент,изд.АН УзССР, 1965.

3.Урманова Г.Л.,Талабаев К.Т.Некоторые итоги изучения физико-технических свойств лессовых грунтов с различными видами добавок,Изв.АН УзССР,сер.техн.наук, № I,1966.

4. Филатов М.М. Основы дорожного грунтоведения, Гострансиздат,1936.

5.Запрометов Б.Г.,Колмаков Б.П. Бюллетень САГУ, вып.19,1934.

6.Чаповский Е.Г. Лабораторные опыты по грунтоведению и механике грунтов,М.,1958.

7.Лысихина А.И.Поверхностноактивные добавки для повышения водоустойчивости дорожных покрытий с применением битумов и дегтей,М.,Автотрансиздат,1959.

8.Урманова Г.Л."Вопросы гидротехники",вып.31, Ташкент,изд.АН УзССР,1966.

9.Рождественский Е.Д.Физико-технические свойства лессовых грунтов Узбекистана,Изд.АН УзССР,1960.

10.Кострико М.Т.Гидрофобизация грунтов в строительстве автомобильных дорог.Доклады и сообщения на совещ. по строительству дорожных оснований и покрытий из грунтов,укрепленных вяжущими материалами,М.,Оргтранстрой, 1961..

11.Цытович Н.А.Механика грунтов,М.,1963.

12.Румянцева М.Г.Определение сил сцепления грунтов методом разрыва,Сб."Гидрогеология и инженерная геология", № 6,М.,1941.

13.Ходжаев Г.Х. и др.Нефти Узбекистана,Ташкент,изд. АН УзССР,1958.

14.Наметкин С.С. Химия нефти.М-Л.,1955.

15. Сб. "Гуминовые и полимерные препараты в сельском хозяйстве",Изд.АН УзССР, 1961.

Р Е Ф Е Р А Т Ы

к выпуску 114 Трудов САНИИРИ
им. В.Д.Журина

(Антифильтрационные мероприятия, строительные свойства грунтов, сборные конструкции)

1968 год

УДК 626.013

Основные вопросы исследования региональной фильтрации методом ЭГДА применительно к мелиорации крупных земельных массивов,

Дружинин Н.И.

Труды САНИИРИ, вып.114, Ташкент, 1968

В статье рассматриваются вопросы развития и применения метода ЭГДА к исследованию фильтрации на больших территориях, подробно изложена методика моделирования пространственной региональной области фильтрации при неоднородных грунтах, описана аппаратура и установки ЭГДА, позволяющие учитывать все многообразие факторов гидрогеологических и гидродинамических условий крупного региона, а также рекомендуется программа исследований для лабораторий математических методов моделирования, проводящих исследования пространственной фильтрации в районах гидромелиоративных систем и гидросооружений.

иллюстраций - I.

УДК 624:138

К вопросу противофильтрационного уплотнения грунтов оросительных каналов,

ПУЛАТОВ У.Д.

"Труды САНИИРИ", вып. II4, 1968

Рассмотрены существующие и предлагаемый САНИИРИ способы уплотнения грунта ложа оросительных каналов в противофильтрационных целях, их техническая и экономическая эффективность. изложен вопрос состояния механизации уплотнения ложа каналов.

УДК 532°507·627·13·14

К вопросу о турбулентной структуре потоков в руслах статического и динамического равновесий

КУЗЬМИНОВ Ю.М., ИВАНЕНКО Ю.Г.

"Труды САНИИРИ", вып.114, 1968

Экспериментальное изучение турбулентной структуры русел статического и динамического равновесий, а также русла, характерного для начального участка неустойчивой области русловых процессов, показало, что в зависимости от относительной ширины русла меняются характеристики турбулентности этих потоков.

В различных по ширине и глубине руслах осредненные минутные скорости и интенсивности турбулентности, записанные тремя микровертушками в трех точках потока (в центре и на бортах), имеют различие как по абсолютной величине, так и амплитуде колебания.

Абсолютные значения и амплитуды колебаний этих характеристик растут от русла статического к руслу динамического равновесий, а в русле, относящемся к неустойчивой области русловых процессов, становятся меньше в результате появления меандры.

Во всех исследуемых руслах замечены большие вихри, действующие вдоль потока с поперечным масштабом турбулентности, соизмеримым с шириной потока.

В результате анализа существующих теорий турбулентности отмечается теория А.А.Таунсенда, как наиболее плодотворная для исследований русловых потоков.

Рисунков 6, библиографий 7.

УДК 627.83

К расчету пропускной способности двухъярусных водосбросных отверстий

ПОЛЯКОВА Б.Г.

"Труды САНИИРИ", вып. II4, I963

Под двухъярусными водосбросными отверстиями (ДВО) понимается совмещение в одной вертикальной плоскости поверхностного водослива и глубинного водосброса. В работе рассматриваются такие ДВО, в которых ярусность создается горизонтальной полкой и нижняя сливная грань донного отверстия горизонтальна. Водосбросы этого типа применяются в ирригационном строительстве в качестве эксплуатационных сооружений, а в гидроэнергетических узлах - в основном для пропуска строительных расходов при возведении плотин методом гребенки.

Указаний к гидравлическим расчетам ДВО нет ни в нормативах, ни в справочной литературе.

На основе анализа литературных и экспериментальных данных делается вывод, что рассматриваемый тип ДВО создает автономную гидравлическую схему и расчет пропускной способности необходимо вести по формуле, соответствующей этой схеме. В статье предлагается такая формула.

В заключении статьи указываются задачи дальнейших исследований.

УДК 624.131.3

Экспериментальное изучение местного размыва за горизонтальным креплением в условиях связных грунтов,

БАБАДЖАНОВА Ш.А.

"Труды САНИИРИ", вып.II4, 1968

Экспериментальная установка представляет собой гидравлический лоток прямоугольного сечения (60 х 85 см); рабочая длина ее 8,0 м. Исследования проводились с малозаселенными лёссовидными суглинками ненарушенной структуры. Проведено две серии опытов с $l_{кр}$= 60 см и $l_{кр}$ = 100 см. Каждая серия включает три различных открытия щита. При $d_{щ}$ = const пропускалось три расхода. Данные экспериментов представлены в виде графиков.

В результате анализа проведенных исследований сделан следующий вывод:

I. Процесс и параметры воронки размыва в связных грунтах качественно отличаются от таковых в несвязных.

2. Методика расчета глубины и других размеров воронок местного размыва, разработанные для условий несвязных грунтов, не могут непосредственно применяться для условий связных грунтов.

УДК 627·157

К вопросу определения расхода донных наносов по объему русловой деформации,

ТУЗОВ В.Е.

"Труды САНИИРИ", вып. II4, 1967

Так как все естественные водотоки своим потоком перемещают твердые частицы - наносы, то для решения многих практических задач часто возникает необходимость определить количество наносов в потоке. Как известно, наиболее мелкие наносы перемещаются потоком во взвешенном состоянии, а более крупные влекутся в придонном слое; поэтому по способу перемещения они условно разделены на взвешенные и донные.

В условиях рек с мелкопесчаными наносами (Амударья, Вахш и Пяндж) содержание взвешенных наносов в потоке можно установить натурными измерениями; определить количество влекомых таким путем пока невозможно из-за отсутствия достаточно надежных приборов.

Существующие расчетные формулы различных авторов, полученные на основании лабораторных экспериментов, имеют большой диапазон колебания значений и дают заниженные результаты для условий Амударьи.

Учитывая некоторую неясность в установлении расходов донных наносов, мы предлагаем эмпирическую зависимость расхода донных наносов от гидравлических элементов потока, полученную на основании данных натурных исследований, выполненных в приустьевом участке р.Вахш.

Количество донных наносов определялось по объему русловой деформации на русловой единице плёс плюс перекат:

$$G_g = 0{,}00002 \frac{\gamma_{гр} \cdot H \cdot Q}{d\left(\frac{vL}{gH}\right)^{0.5}} \text{ кг/сек}$$

Размерность принята в кг, м и сек, а диаметр - в мм.

628.16 Метод подбора размеров однокамерных ирригационных отстойников с механизированной очисткой и организация производства работ землесосами в условиях водозабора из р.Амударьи,

ТУРКС В.А.

"Труды САНИИРИ", вып. 114, 1968

Метод подбора размеров однокамерного отстойника взаимосвязан с определенной методикой расстановки в забой действующего (расчетного) парка землесосов. Разработан на основе многолетнего опыта очистки головного участка Ташсакинского канала и внедрен с 1949 года.

Указанный способ позволил в последующие годы обеспечить своевременную очистку Головного участка канала, повысив до 120% пропускную способность (сверх проектной) в критический период водозабора при минимальных затратах на единицу воды (относительно других ирригационных водозаборов из р.Амударьи в 4-5 раз).

УДК 626•862•678

Исследования местных материалов для устройства дренажа в условиях Голодной степи,

УСМАНОВ И.

"Труды САНИИРИ", вып. II4, I96Ъ

Предлагается на основе мономера ФА с отходами дифенильной смолы, вырабатываемой местной химической промышленностью, и минерального некислотостойкого заполнителя - речного песка и керамзита - получение новых материалов и разработка из них технологии изготовления дренажных труб, применяемых в засоленных орошаемых районах.

Дренажные трубы из полимерных материалов имеют достаточно высокую механическую прочность и долговечны в условиях длительного пребывания в воде и агрессивно-сульфатной среде. Они готовятся холодным способом и не требуют сложных и дорогостоящих оборудований. Производство таких труб можно организовать на обычном полигоне при наличии простого оборудования (формы, вибратора и т.д.).

Наряду с достаточной прочностью трубы обладают хорошей фильтрующей способностью при малой размерности пор, и самое главное, благодаря гидрофобности (водоотталкивающей способности) материала они труднозаиляемы.

Поэтому при укладке пористых полимерных труб-фильтров отпадает необходимость в устройстве гравийно-песчаного фильтра, благодаря чему упрощается производство труб.

По предварительным подсчетам, стоимость устройства закрытого горизонтального дренажа из пористых пластораствор ных труб обходится в I,5 раза дешевле, чем гончарного.

УДК 539.37.666.981

К вопросу о деформируемости гибких армоцементных труб, уложенных в земле,

ЗЕМЛИНСКИЙ А.Л.

"Труды САНИИРИ", вып. II4, 1967

В 1966г. в САНИИРИ изучался комплекс вопросов, связанных с определением оптимальных параметров, обеспечивающих достаточную трещиноустойчивость армоцементных труб диаметров 820 мм, уложенных в грунт и подвергнутых действию временной сосредоточенной нагрузки. Высота засыпки над трубой была принята постоянной, равной 0,80 м.

В качестве контрольной сосредоточенной временной нагрузки взяли нагрузку Н=18. Трубы испытывались в стальной камере размером 1000х1500 мм. Конструкция камеры и ее оборудование позволилил визуально наблюдать за наружной и внутренней поверхностями трубыпри возрастании нагрузки и замерять деформации стенки трубы по вертикальному и горизонтальному диаметрам с точностью до 0,01 мм.

При испытании давление от гидравлического пресса через динамометр передавалось опорному швеллеру, имеющему размеры, соответствующие опорной площади заднего колеса автомобиля. Швеллер укладывался на поверхности земли, над трубой.

В результате опытов выявили, что для армоцементных труб диаметром 820 мм, армированных четырьмя сетками, оптимальная толщина стенки, при которой достигается большая их деформативность до появления трещин, равна 2,0 см.

При меньшей толщине стенки вследствие недостаточной жесткости труба преждевременно теряет устойчивость в верхней своей половине, что приводит к появлению трещин в шелыге.

На основании испытаний для труб диаметром 820 мм допустимыми деформациями диаметров, при коэффициенте запаса трещиностойкости К = I,5, являются следующие: при толщине стенки 2,0 см - I0 мм, при 2,5 - 7 и при 3,0 - 3 мм.

УДК 666•777•001.2

Расчетные параметры (α, E) высокопрочных бетонов в условиях сухого и жаркого климата,

ЛИПСКИЙ В.Я., СЕЛИМОВ М.М.

"Труды САНИИРИ", вып. 114, 1967

Для использования в расчетах бетонных и железобетонных конструкций, работающих в условиях сухого и жаркого климата, предлагаются фактические значения коэффициента линейного расширения и начального модуля упругости высокопрочных бетонов на местных материалах.

Фактическое значение коэффициента линейного расширения (α) оказалось равным $8{,}51 \cdot 10^{-6}$ (по нормативным документам $\alpha = 10 \cdot 10^{-6}$).

В зависимости от марки бетона получены следующие фактические значения начального модуля упругости:

Марка бетона	Начальный модуль упругости, кг/см^2	
	Нормативный (СНиП II-В.1-62	Фактический
400	350000	305000
500	380000	335000
600	400000	360000
700	420000	385000

Значения расчетных параметров существенно отличаются от нормативных и позволят более точно производить расчеты бетонных и железобетонных конструкций с целью определения фактических напряжений, деформаций и правильного назначения расстояния между температурными швами.

Даются схемы и методика определения α и E.

Таблиц 4, рисунков 4, библиографий 6.

УДК 666·982:625·745 + 002·2

Изучение эффективности поперечной горизонтально направленной вибрации при изготовлении железобетонных лотков-водоводов,

ТУРУБАР Н.П.

"Труды САНИИРИ", вып. II4, 1968

В соответствии с программой исследований лаборатории сборных конструкций САНИИРИ по совершенствованию заводской технологии изготовления деталей типовых гидросооружений, на Бекабадском заводе железобетонных изделий Главсредазирсовхозстроя проведены экспериментальные исследования по определению эффективности наиболее распространенного метода виброуплотнения при изготовлении лотков длиной 8 м и высотой 0,6 м на стендах с помощью навесных вибраторов.

При первых опытах бетонную смесь уплотняли с помощью двух навесных вибробалок, на каждой из которых было установлено по 3 виоратора типа С-413. Этот метод оказался очень трудоемким, длительным, а качество вибрации – неудовлетворительным.

С целью сокращения времени и повышения качества формования на каждый сорт формы добавили по одному виоратору и закрепили их непосредственно к бортам формы. В результате продолжительность формования одного лотка сократилась с 22 до I0 мин и отпала надобность в автокране для перепоса вибробалок.

В процессе опытной эксплуатации стенда был выявлен ряд серьезних недостатков изучаемого способа виброуплотнения бетонной смеси при изготовлении лотков.

Результаты дальнейших исследований показали, что наиболее рационален при формовании лотков метод поперечной горизонтально направленной вибрации, при котором установленной на плоских рессорах форме с помощью двухвального вибратора придают направленные горизонтальные колебания в поперечном направлении. При этом методе снижаются трудоемкость изготовления лотков и время уплотнения бетонной смеси.

УДК 666.981

Определение параметров процесса торкретирования цилиндрических вращающихся сердечников,

АБДУХАБАРОВ А.

"Труды САНИИРИ", вып, II4, 1968

Технология изготовления армоцементных труб способом торкретирования вращающихся сердечников, с точки зрения теоретической механики - сложное винтообразное движение.

Абсолютная скорость частицы смеси на поверхности сердечника равна геометрической сумме взаимно перпендикулярных скоростей сопла в поступательном движении " U ".

Абсолютная скорость определяется по формуле

$$V=\sqrt{V^2_{окр}+U^2}$$

Площадь проекции струи на поверхности сердечника принимает форму эллипса и может быть выражена функцией

$$Ff(\ell \cdot d_o \cdot D),$$

где

ℓ - расстояние сопла от поверхности сердечника,

d_o - внутренний диаметр сопла,

D - диаметр сердечника.

Площадь эллипса проекции струи на поверхности сердечников изменяется по параболической кривой.

УДК 666.981

Полигон для изготовления армоцементных труб способом торкретирования вращающихся сердечников,

АБДУЖАБАРОВ А.

"Труды САНИИРИ", вып. 114, 1967

Разработанная лабораторией сборных конструкций САНИИРИ технология изготовления на передвижных полигонах безнапорных труб способом торкретирования наиболее выгодна в условиях Средней Азии.

Применение армоцементных конструкций в гидротехническом строительстве в пустынных зонах при отсутствии запасов гравия и песка, соответствующих стандартным нормам, более экономично по сравнению с железобетонными конструкциями.

Определенные хронометражем затраты времени при изготовлении армоцементных труб на передвижном полигоне составляют 7,35 чел/час (l = 4 м. и d = 60 см).

Расчетная производительность полигона (Q) на массиве Чукурхак с двумя цемент-пушками С-320 составляет 112 пог.м.

Стоимость одного погонного метра армоцементных труб D = 60 см, изготовленных на местных песках, на 20% ниже прейскурантной стоимости железобетонных труб.

УДК 624•I3I•4

Некоторые физико-технические свойства лёссовых грунтов Узбекистана с различными добавками,

ТАЛАБАЕВ К.Т.

"Труды САНИИРИ", вып. II4, I968

Введение нефти и нефтепродуктов в грунт вызывает в первую очередь изменение их водных свойств. Последние коренным образом улучшаются в силу перехода грунта в гидрофобное состояние, характеризующееся повышенной водоустойчивостью и пониженной водопроницаемостью и влагоемкостью грунта. Для выяснения степени гидрофобизации грунтов с различными добавками изучалось изменение всасывающей способности грунтов; при этом отметили, что гидрофильная поверхность минералов лёссового грунта с добавкой нефти и некоторых нефтепродуктов значительно уменьшается, т.е. грунты гидрофобизируются.

Уменьшение гидрофильности грунта различно для разных дозировок и вида добавок вяжущего. С увеличением дозировок нефти степень гидрофобности грунтов возрастает

Гидрофильность лёссовых грунтов повышается сравнительно одинаково с добавкой полимеров полиакриламида и К-4.

С ростом дозировок полимеров увеличивается гидрофильность грунтов. Набухание лёссовых грунтов с добавкой нефти и нефтепродуктов значительно меньше, чем без добавок.

Размокаемость грунтов увеличивается с добавкой полимеров полиакриламида и К-4; водопроницаемость снижа-

ется с изменением гидрофильной поверхности минералов грунта на гидрофобную. Относительное уменьшение водопроницаемости лёссовых грунтов наиболее существенно при высоких плотностях $\delta_{сж}$.

Влияние гидрофобизирующих добавок на сопротивление грунтов размоканию весьма эффективно. Лёссовые грунты в естественном виде обладают ничтожной сопротивляемостью, но будучи смешанными с нефтью или нефтепродуктами, увеличивают ее во много раз и становятся водостойкими (при определенных дозировках и смесях вяжущего). Усадка лёссового грунта с добавкой нефти и нефтепродуктов значительно ниже, чем без добавок. Образцы, изготовленные с добавкой нефти и нефтепродуктов во время сушки не трескаются, процесс высыхания идет медленно. Образцы грунта с добавкой полимера полиакриламида, а также щелочи не трескались, тогда как образцы без добавок трескались в одном-двух местах, хотя в опытах был довольно мягкий режим сушки. Усадка грунта увеличивается с добавкой полимера полиакриламида и уменьшается, если в грунте содержится едкий натр.

Величина силы сцепления грунтов с добавкой нефти и нефтепродуктов сравнительно одинакова. При добавке определенной дозировки полимеров полиакриламида и К-4 значительно увеличивается сила сцепления грунта; выше этой дозировки $\delta_р$ не растет.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Н.И.ДРУЖИНИН - Основные вопросы исследования региональной фильтрации методом ЭГДА применительно к мелиорации крупных земельных массивов 3

У.Д.ПУЛАТОВ - К вопросу противофильтрационного уплотнения грунтов оросительных каналов 37

Д.М.КУЗЬМИНОВ, Д.Г.ИВАНЕНКО - К вопросу о структуре турбулентного потока в руслах статического и динамического равновесий 49

Б.Г.ПОЛЯКОВА - К расчету пропускной способности двухъярусных водосбросных отверстий 69

М.А.БАБАДЖАНОВА - Экспериментальное изучение местного размыва за горизонтальным креплением в условиях связных грунтов 81

В.Е.ТУЗОВ - К вопросу определения расхода донных наносов по объему русловой деформации 93

В.А.ТУРКС - Метод подбора размеров однокамерных ирригационных отстойников с механизированной очисткой и организации производства работ землесосами в условиях водозабора из р.Амударьи... 115

И.У.УСМАНОВ - Исследования местных материалов для устройства дренажа в условиях Голодной степи 125

Л.Л.ЗЕМЛИНСКИЙ - К вопросу о деформируемости гибких армоцементных труб, уложенных в земле..... 133

В.Я.ЛИПСКИЙ, М.М.СЕЛИМОВ - Расчетные параметры (α, E) высокопрочных бетонов в условиях сухого и жаркого климата 141

Н.П.ТУРУБАР - Изучение эффективности поперечной горизонтально-направленной вибрации при изготовлении железобетонных лотков-водоводов..... 159

А.А.АБДУХАБАРОВ - Определение параметров процесса торкретирования цилиндрических вращающихся сердечников 171

А.АБДУХАБАРОВ - Полигон для изготовления армоцементных труб способом торкретирования вращающихся сердечников... 183

К.Т.ТАЛАБАЕВ - Некоторые физико-технические свойства лёссовых грунтов Узбекистан с различными добавками 193

Р Е Ф Е Р А Т Ы к выпуску 114 Трудов САНИИРИ ... 215