

# ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

*ВЫПУСК*

18

---

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР

ЎЗБЕКИСТОН ССР ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ  
СУВ ПРОБЛЕМАЛАРИ ВА ГИДРОТЕХНИКА ИНСТИТУТИ

# ГИДРОТЕХНИКА МАСАЛАЛАРИ

18-КИТОБ

ИИФМА КОНСТРУКЦИЯЛАР, ҚУРИЛИШ МАТЕРИАЛЛАРИ  
ВА ТУПРОҚЛАРНИНГ ҚУРИЛИШ ХУСУСИЯТЛАРИ

ЎЗБЕКИСТОН ССР „ФАН“ НАШРИЁТИ  
ТОШКЕНТ-1964



АКАДЕМИЯ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР  
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ И ГИДРОТЕХНИКИ

---

# ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

ВЫПУСК 18

СБОРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
И СТРОИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

ИЗДАТЕЛЬСТВО „НАУКА“ УЗБЕКСКОЙ ССР

---

ТАШКЕНТ-1964



В сборнике приведены материалы исследований технологии изготовления бетонных и железобетонных деталей типовых гидросооружений и облицовок каналов на полигонах в условиях жаркого климата. Охарактеризованы строительные свойства грунтов и предлагаемые типы земляных гидротехнических сооружений на просадочных грунтах. Сообщается о создании антифильтрационных покрытий из бентонитовых глин, лессовых грунтов и углещелочного реагента.

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

#### *Редакционная коллегия*

З. Х. ХУСАН-ХОДЖАЕВ (отв. редактор), член-корреспондент АН УзССР М. С. ВЫЗГО, С. Г. ЗАПРОМЕТОВ, Е. Д. РОЖДЕСТВЕНСКИЙ, А. М. МУХАМЕДОВ, М. В. БУТЫРИН, М. В. ВАСИЛЬЕВ, И. И. ГОРОШКОВ, Н. Ф. ЦВЕТИКОВА, Г. Г. ВАЛЕНТИНИ.



---

Л. Н. ДУБИНИН

## ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СБОРНЫХ ТИПОВ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ НА СТЕНДАХ-БАССЕЙНАХ

В зоне строительства оросительных систем, как правило, нет заводов промышленного типа по производству бетонных и железобетонных деталей сборных гидросооружений и строители часто ориентируются на организацию полигонов на базе местных стройматериалов. Такие полигоны, производительностью 5—10 тыс. м<sup>3</sup> бетона в год, обслуживают территорию в радиусе 20—35 км, существуют в течение двух-трех лет и затем переносятся на новое место.

Изучение практики организации и работы первых полигонов в республиках Средней Азии позволило сделать вывод, что определяющим фактором получения изделий заданной прочности являются условия гидратации и твердения бетонов в изделиях после изготовления.

Сильные ветры и высокие температуры приводят к интенсивному испарению воды с поверхности отформованных деталей. По данным б. Института сооружений АН УзССР, скорость испарения воды с бетонной поверхности в условиях климата Средней Азии может летом увеличиваться в 80 раз по сравнению со скоростью испарения в условиях нормального хранения [1].

Проверка качества изделий, изготовленных на открытой площадке в весенне-летний период, показала, что несмотря на периодическое увлажнение, бетон в них теряет от 40 до 60% заданной прочности. Становится очевидным, что в условиях жаркого климата применение на полигонах периодического увлажнения бетонных и железобетонных изделий во время их твердения не дает нужных результатов.

Как известно, для повышения устойчивости бетонной смеси существует несколько путей: увеличение водоудерживающей способности цементов за счет более тонкого помола клинкера и введения водоудерживающих добавок или применение воздухостойких цементов. Но можно создать рациональную технологию производства и хранения деталей, что и было принято при решении вопроса.

Простая технология механизированного производства на полигонах сборных конструкций в условиях сухого и жаркого климата Средней Азии позволит решить задачи использования местных стройматериалов и снижения стоимости деталей.

Если для полигона в условиях жаркого климата принять способ уплотнения бетонной смеси с помощью вибростолов, то потребуются комплекты металлических форм для каждого типоразмера изделий, а стремление увеличить их оборачиваемость приведет к необходимости устройства на полигоне пропарочных камер. Таким образом, будет ско-



пирована технологическая схема одного из цехов центрального завода, но вместо постоянного здания некоторое оборудование сможет находиться на открытой площадке или во временных сооружениях. Этим объясняется высокая стоимость полигонов с конвейерной и поточно-агрегатной технологией изготовления изделий из вибробетона.

При более дешевой стендовой технологии изготовления изделий на полигонах распространенными являются стенды, устраиваемые в напольных или ямных пропарочных камерах. Совмещение процесса формовки и пропаривания объясняется стремлением снизить затраты на строительство и эксплуатацию полигонов. Однако стоимость полигонов с пропарочными камерами и оборудованием для их обслуживания остается высокой: так, стоимость полигона производительностью 10 тыс. м<sup>3</sup> бетона в год равна 200—250 тыс. руб. [2].

Если для типовых полигонов в зоне с умеренным и суровым климатом нельзя исключить пропаривания изделий, то для полигонов в республиках Средней Азии это сделать можно.

В климатических условиях Средней Азии продолжительность периода с положительными температурами составляет в год 9—9,5 мес., и в это время полигон сможет работать без пропарки изделий. Но, исключая из технологического цикла полигона пропарку, нужно обеспечить такой режим содержания свежесформованных изделий, который при наличии ветров и высоких температур смог бы обеспечить нормальный режим твердения в них бетона.

В результате оценки типовых технологических схем изготовления изделий из вибробетона, исходя из условий строительства оросительных систем Средней Азии, исследователи пришли к выводу, что на полигонах необходимо применять стендовый способ, исключить пропарку, совместив на стендах изготовление и выдерживание изделий.

На основании проведенных лабораторных исследований для полигона была разработана технологическая схема изготовления плит, стоек и балок из вибробетона на стендах-бассейнах.

Стенды-бассейны представляют собой бетонные площадки с ограждениями в виде бетонных стенок (рис. 1). Бетонные и железобетонные изделия формуются на бетонной поверхности стендов и остаются на ней до штабелирования.

Через 5—10 часов после формовки поверхность стендов с находящимися на ней изделиями покрывается слоем воды, превышающим толщину изделий на 3—5 см. Таким образом, стенды с изготовленными деталями превращаются в бассейны для их выдерживания в период вызревания бетона. Вода периодически нагревается лучами солнца и, предохраняя свежесформованные изделия от атмосферных влияний, исключает уход за бетоном в период вызревания. Температура воды на стендах-бассейнах достигает днем в летние месяцы 40°C. В этот период стенды-бассейны работают как гелиобассейны с определенным режимом водотермической обработки бетонных изделий.

Опыты по использованию искусственных покрытий и пленок на поверхности воды стендов-бассейнов, проведенные в 1953 г. на Ташкентском полигоне МВХ УзССР, показали, что температура воды в бассейнах может быть доведена до + 50°C. Однако стоимость устройства таких покрытий не оправдала экономии, полученной от сокращения сроков выдерживания плит на стендах-бассейнах за счет увеличения температуры воды.

Период нахождения изделий на стендах-бассейнах определяется сроком, в течение которого плиты приобретут 50—70% проектной прочности и их можно будет транспортировать или штабелировать. Такая



прочность бетона при снятии плит со стендов-бассейнов является достаточной для последующего нарастания прочности на воздухе до заданной после штабелирования плит. Определение срока выдерживания изделий на стендах-бассейнах было произведено в производственных условиях с бетонами БГТ-200 на пуццолановых цементах марки 400 в период с марта по декабрь, т. е. в диапазоне изменения температур воздуха от  $+5$  до  $+45^{\circ}\text{C}$ . Срок пребывания изделий в воде для этого периода установлен от 3 до 7 суток.

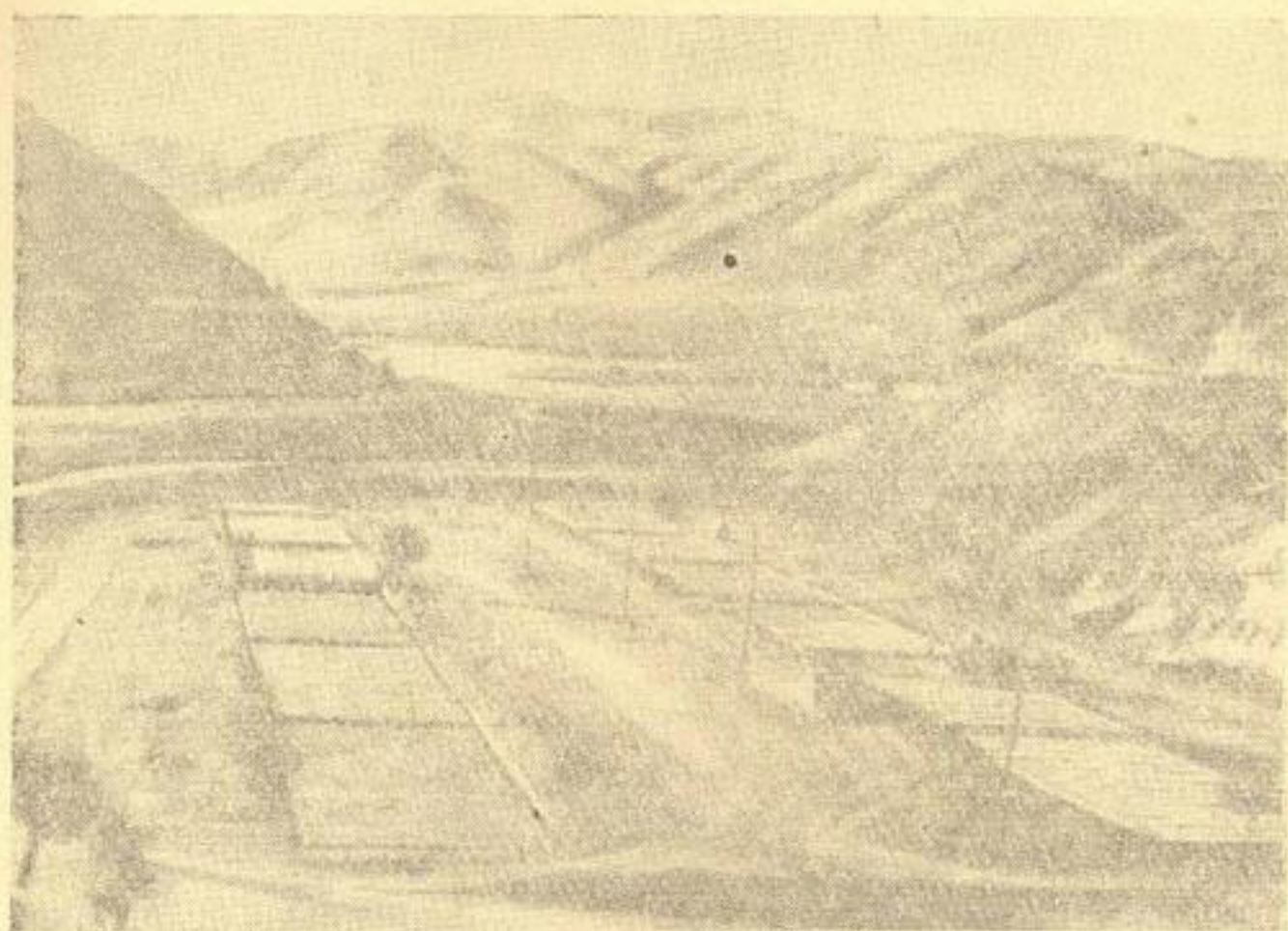


Рис. 1. Стенды-бассейны полигона „Аучи Калачи“ на строительстве Ходжа-Бакирганской оросительной системы.

На рис. 2 приводится график нарастания прочности бетона БГТ-200 в изделиях, изготовляемых на стендах-бассейнах полигона строительства Верхне-Дальверзинского канала в районе г. Беговата, т. е. в районе сильных ветров. Кривые нарастания прочности даются на период с августа по декабрь. Как видно из графика, только в декабре сроки выдерживания изделий на стендах-бассейнах превышают 7 дней и использование таких стендов становится нерентабельным. Как известно, сроки выдерживания изделий в искусственных условиях можно сократить, применяя для изготовления бетонной смеси быстротвердеющие цементы или вводя добавки-ускорители твердения бетона.

К сожалению, до настоящего времени стройки оросительных систем не обеспечены быстротвердеющими цементами.

В 1960 г. на стендах-бассейнах треста «Таджикцелинстрой» и Ошского ОБЛУОС КиргССР были проверены ускорители твердения бетона, которые имелись в распоряжении строительных организаций.

Добавки-ускорители вводили в бетонную смесь в количестве 2—8% от веса цемента. Зависимость нарастания прочности бетона БГТ-200 на цементе М-400 с добавками от времени твердения при максимальной температуре воздуха  $+25$ — $30^{\circ}\text{C}$  приводится на рис. 3. Из графика следует, что наиболее эффективными добавками оказались хлористый кальций ( $\text{CaCl}_2$ ) и смесь хлорной извести с гипсом ( $\text{Ca}(\text{ClO})_2 + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), дающие возможность в течение 1—2 суток получать



60—70% заданной прочности бетона. Хлористый кальций и хлорную известь вводили в дозах 4%, а гипс — 2% от веса цемента.

При использовании большего количества добавок быстрое схватывание бетонной смеси затрудняло формовку изделий.

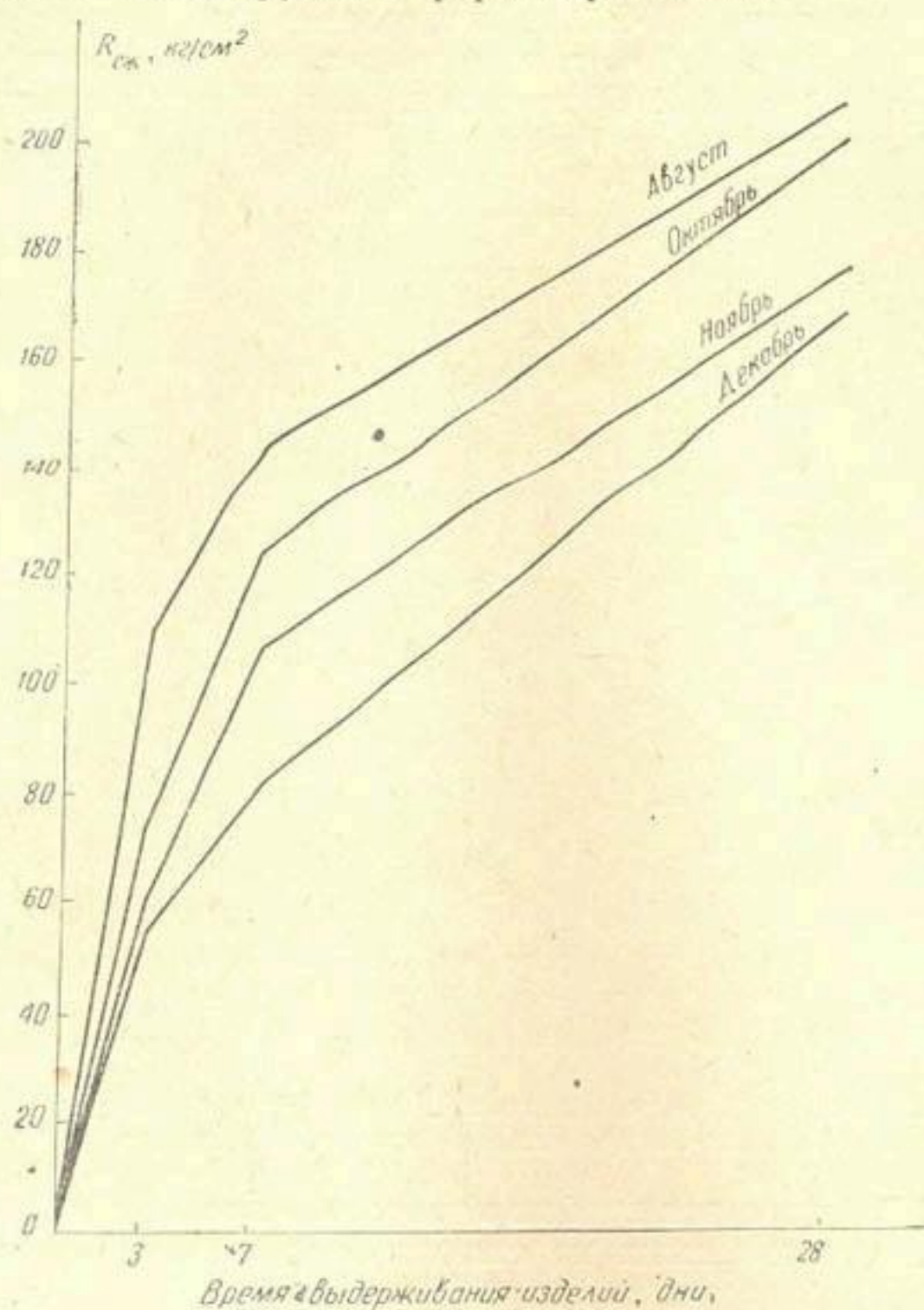


Рис 2. График нарастания прочности бетона в плитах БГТ-200, изготовленных на стендах-бассейнах.

Производственные исследования и практика внедрения стендов-бассейнов показали, что они могут работать в условиях климата Средней Азии в течение 9—9,5 мес. в году. В течение последних пяти лет под наблюдением лаборатории находилось 12 полигонов, расположенных в Таджикистане, Киргизии и Узбекистане. Стенды-бассейны нашли применение на полигонах при массовом изготовлении из местных заполнителей бетонных и железобетонных плит для сборных облицовок каналов. В этот период были уточнены конструкции стендов-бассейнов, определены характеристики рабочих операций при изготовлении на них изделий, их производительность и стоимость изготовления деталей. Горизонтальная бетонная площадка стенда-бассейна с вертикальными бетонными стенками по ее периметру разделяется поперечными бетонными стенками на отсеки и площадь каждого из отсеков соответствует сменной производительности бригады, работающей на изготовлении деталей. При изготовлении бетонных и железобетонных плит для сборных облицовок каналов высота и толщина бетонных стенок, ограждаю-



щих стенд-бассейн и разделяющих его отсеки, равняется 20 см (рис. 4). При изготовлении плит и балок высота стенок отсека может достигать до 40—50 см.

Поверхность стенда-бассейна представляет горизонтальную бетонную плиту толщиной 10 см, офактуренную слоем цементного раствора повышенной прочности, с железной поверхностью. Стенки и дно стенда-бассейна выполняются из бетона МБ-150.

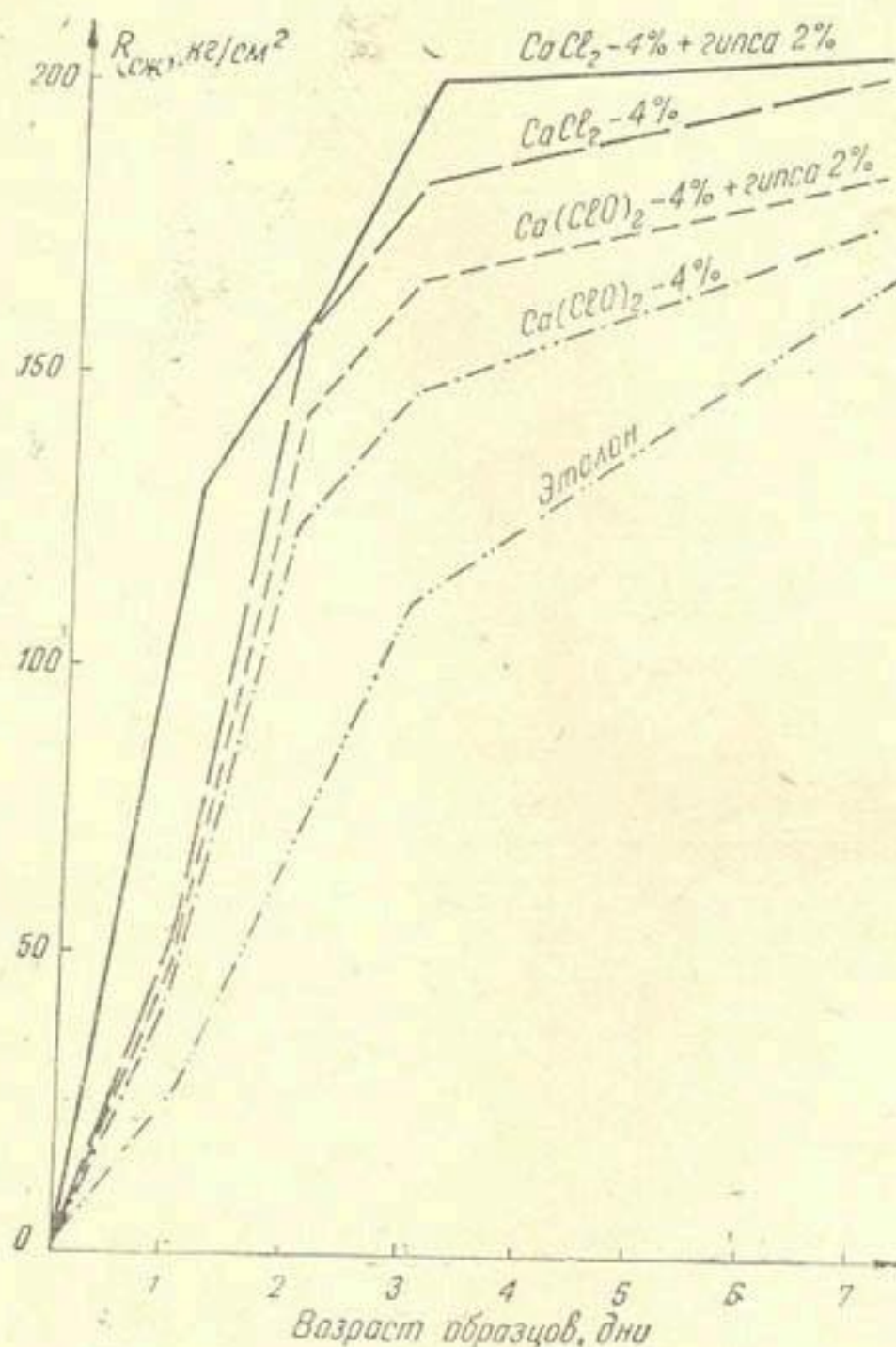


Рис. 3. График нарастания прочности бетона БГТ-200 с добавками-ускорителями на стендах-бассейнах.

При строительстве на наклонной поверхности стенд-бассейн может выполняться в виде каскада из его горизонтальных отсеков, соединенных между собой.

Длина стенда-бассейна устанавливается в пределах 50—150 м в зависимости от возможностей стройплощадки, на которой организуется полигон. Ширина принимается в пределах от 9 до 12 м в зависимости от размеров деталей и принятой схемы их разгрузки автокранами (рис. 5). Стенды-бассейны можно строить в виде монолитных бетонных плит толщиной 10 см с температурными швами и ограждающими стенками. При устройстве стендов-бассейнов на полигонах, которые по условиям строительства должны часто переноситься с места на место, конструкция стендов должна быть сборной: такие стенды легко демон-



тируются и их детали автомашинами перевозятся на место нового полигона, где снова собираются.

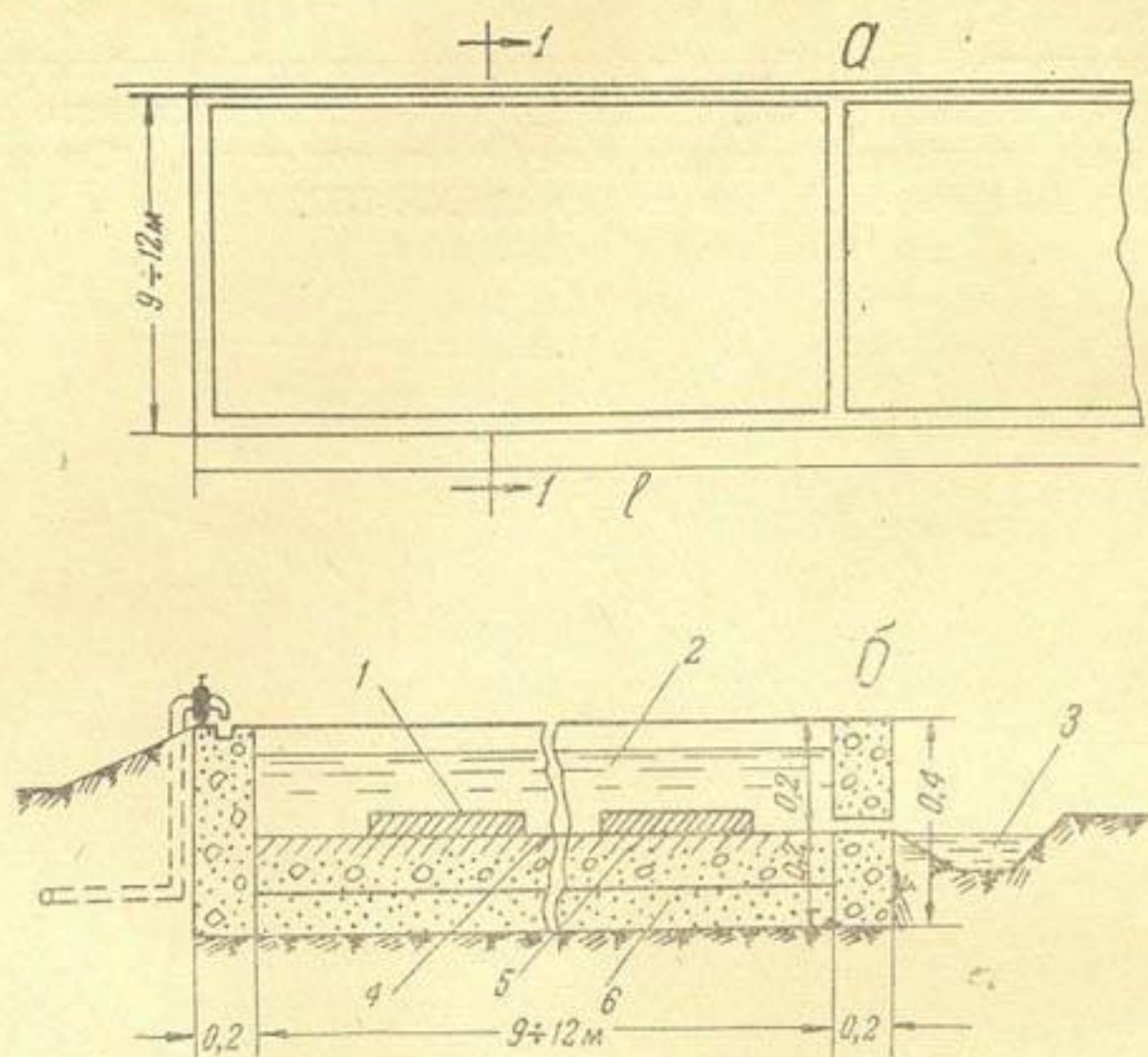


Рис. 4. План (а) и разрез (б) стенда-бассейна:

1—изделия; 2—вода; 3—лоток для отвода воды; 4—цементная стяжка  $t=2$  см; 5—монолитный бетон  $t=8$  см; 6—песчаная подготовка  $t=10$  см;

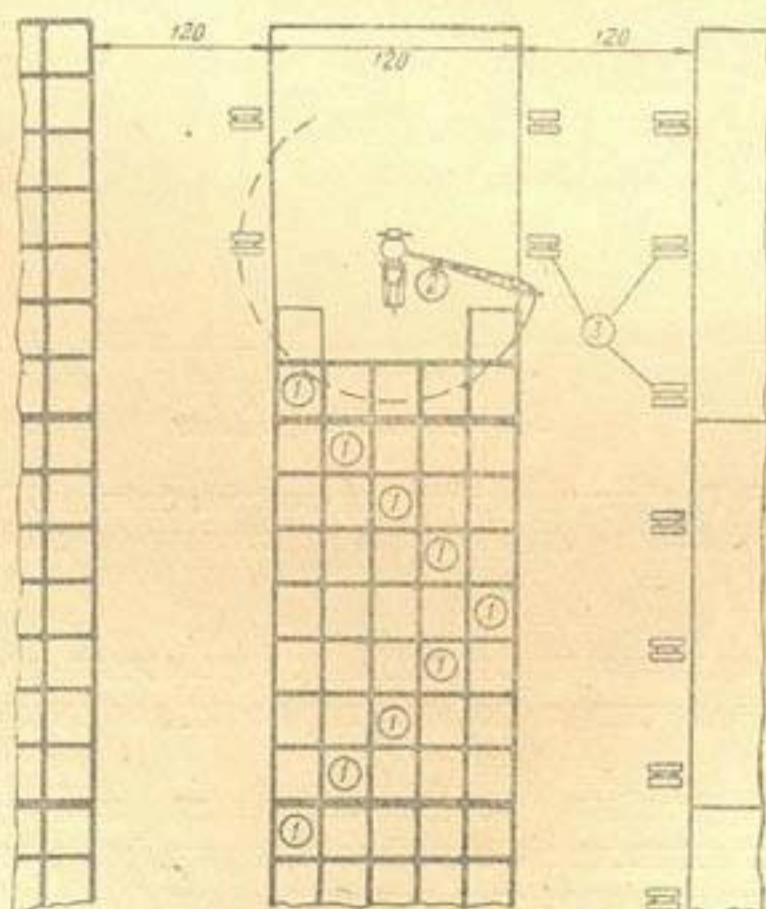


Рис. 5. Схема разгрузки стенда-бассейна с помощью автокрана:

1—отформированные плиты; 2—автокран К-32; 3—козлы с уложенными на ребра плитами.

В целях обеспечения стендов-бассейнов водой подводят водопроводную линию, которая тянется около продольной стенки стенда, имея



отводы в каждый из отсеков. Для отвода использованной воды вдоль другой продольной стенки устраивают лоток.

Для изготовления изделий применяют малоподвижные бетонные смеси с осадкой конуса в пределах 0—1 см, изготавливаемые на бетоносмесительном узле полигона.

Процесс изготовления бетонных и железобетонных плит на стендах-бассейнах состоит из следующих рабочих операций:

- а) подготовка поверхности стенда;
- б) установка металлических форм на поверхности стенда;
- в) укладка арматурных каркасов в формы;
- г) транспортирование бетонной смеси от бетоносмесительного узла к стенду и выгрузка ее в форму;
- д) разравнивание и вибрирование бетонной смеси в формах;
- е) заглаживание поверхности и маркировка свежен изготовленных плит;
- ж) удаление форм с плит;
- з) наполнение водой отсека с плитами;
- и) контроль за уровнем воды в стенде-бассейне в период нахождения в нем плит;
- к) удаление воды из стенда-бассейна;
- л) выгрузка и штабелирование плит.

Подготовка поверхности стенда перед формовкой плит включает очистку и смазку его поверхности. С поверхности стенда убирают остатки смазки и затвердевшего цементного раствора, гравия и строительного мусора. Стенд подметают. Поверхность стенда-бассейна перед установкой форм смазывают раствором, состоящим из лесса, воды и дизельного топлива. Десять литров воды и 0,3 кг дизельного топлива тщательно перемешивают, постепенно добавляя 15 кг порошкообразного лесса.

Расход смазки составляет 0,5 л на квадратный метр площади стенда.

Смазка поверхности стенда перед установкой форм может быть заменена покрытием поверхности стенда тонким слоем сухого порошкообразного лесса, просеянного через сито для песка. На 1 м<sup>2</sup> поверхности стенда расходуется 300—350 г порошкообразного лесса.

Вместо сухого лесса можно использовать песок, слегка увлажненный дизельным топливом и рассыпаемый тонким слоем по поверхности стенда.

На подготовленную поверхность стенда устанавливают металлические неразъемные формы для плит. Поверхность стенда-бассейна используют в качестве поддона и поэтому формы для плит изготавливают из углового железа в виде бортовой оснастки, определяющей контур граней плит со скобками по торцам форм, предусмотренными для их подъема. Формы не смазывают, так как после каждого рабочего цикла на их стенках остается смазка из цементного молока. При непрерывной работе стенда такой смазки достаточно, чтобы не происходило прилипания бетонной смеси к стенкам формы.

Проходы между рядами отформованных плит должны быть не более 0,3 м. Чем ближе формы друг к другу, тем лучше используется поверхность стенда, тем удобнее распределять бетонную смесь в формы. В распоряжении бригады, как правило, находится четыре формы, две из них заполняют бетонной смесью, а две подготавливают.

Бетонную смесь для изготовления плит подвозят к стендам-бассейнам от бетоносмесительного узла полигона на автосамосвалах. Из автосамосвала ее выгружают непосредственно в формы, установленные на стенде (рис. 6). Автосамосвал выгружает бетонную смесь в формы



через стенки отсека или, заезжая на поверхность стенда, через ограждающие бетонные стенки.

Выгруженную в формы бетонную смесь разравнивают и вибрируют. Разравнивание производится так, чтобы толщина слоя бетонной смеси была на 1 см больше высоты формы. Если при загрузке бетонной смеси в автосамосвал и последующей выгрузке ее в форму произошло отслаивание фракций крупного гравия, то такой гравий не используют для изготовления деталей.

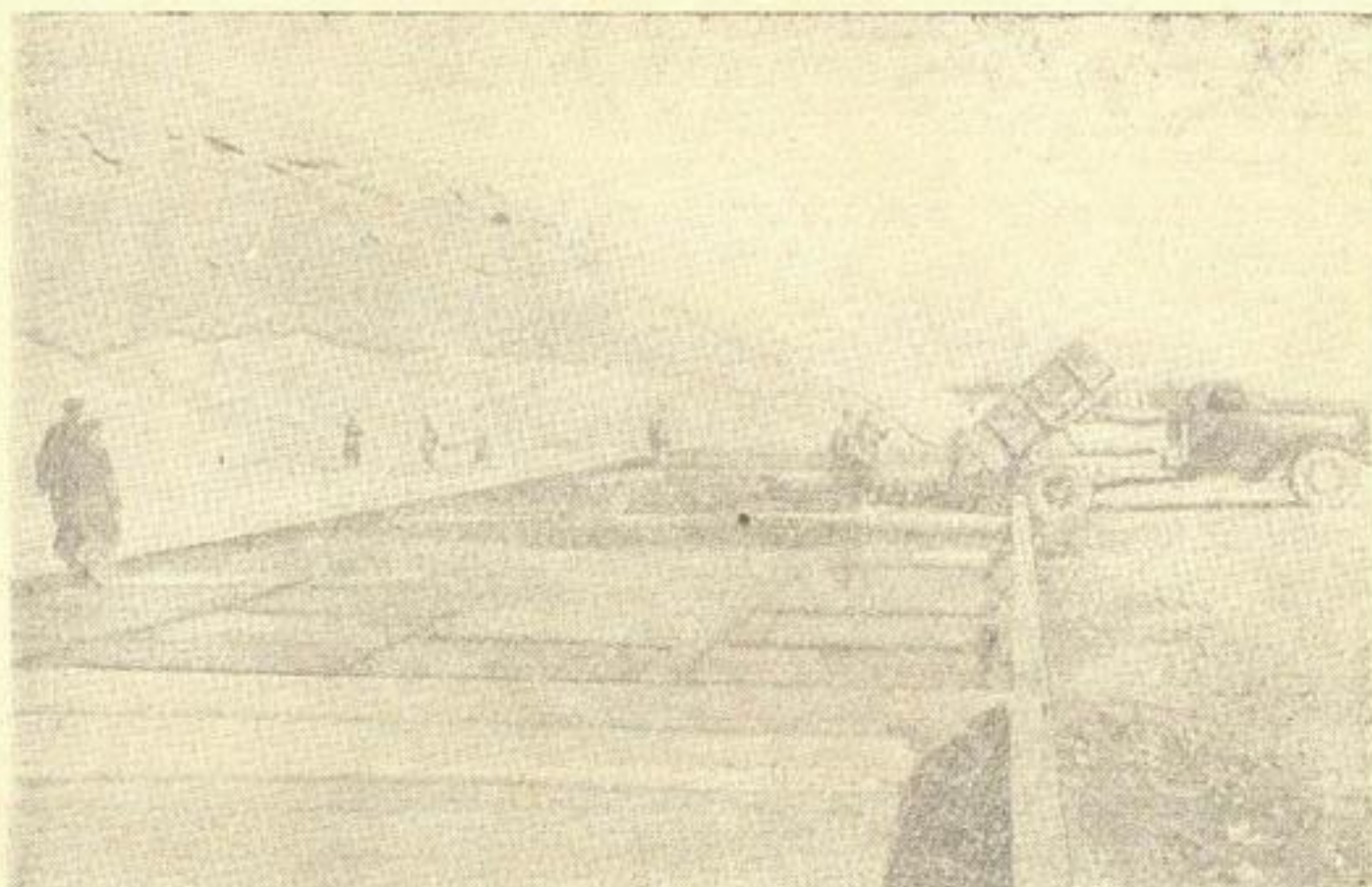


Рис. 6. Выгрузка бетонной смеси в форму на стенде-бассейне.

Бетонную смесь в формах уплотняют с помощью площадочного вибратора С-414 или виброрейки за два-три прохода.

Заглаживание поверхности изготовленной плиты производится тремя проходами резинового листа, укрепленного на рейке. При этом поливка водой поверхности плиты не допускается. После заглаживания поверхности производится маркировка плиты. После маркировки металлическую форму снимают с отформованной плиты и устанавливают на поверхности стенда для изготовления новой плиты.

Период воздушного хранения изготовленных плит на поверхности стенда-бассейна зависит от температуры воздуха.

Заполненный отформованными плитами отсек стенда при температуре воздуха от  $+20$  до  $+40^{\circ}\text{C}$  наполняют водой через пять часов; при температуре воздуха от  $+5$  до  $+20^{\circ}$  отформованные плиты находятся в воздухе от 14 до 18 час.

Отсек стенда-бассейна наполняют водой так, чтобы слой ее над плитами достиг 3—5 см. После этого поступление воды в отсек прекращают. Ежедневно осматривают затопленные стенды-бассейны и контролируют толщину слоя воды, покрывающего поверхность плит.

Контроль за нарастанием прочности бетона в плитах, изготовленных на стендах-бассейнах, проводят с помощью бетонных кубиков размером  $10 \times 10 \times 10$  см. Такие кубики изготавливают на стендах-бассейнах из бетонной смеси, укладываемой в формы для плит. После загрузки бетонной смеси в формы для кубиков формы устанавливают на плиту вибратора С-414 в период его работы на поверхности изготавливаем-



мой плиты и оставляют на виброплощадке в течение трех минут. Отформованные кубики хранят на стенде-бассейне вместе с отформованными плитами и испытывают на сжатие через 3, 7 и 28 дней.

После удаления воды разгружают стенд-бассейн от плит. Разгрузка сочетается со штабелированием плит или с погрузкой их в автомашины для транспортирования.

Освободив отсек стенда-бассейна от плит, его поверхность очищают и смазывают.

Долголетние наблюдения за работой стендов-бассейнов в условиях жаркого климата показали, что описанная выше технологическая схема проста и всегда обеспечивает требуемое качество бетонных и железобетонных деталей типовых гидросооружений и облицовок каналов. На стендах-бассейнах была также доказана возможность изготовления тонкостенных армоцементных изделий толщиной 2—3 см из мелкозернистого бетона.

Выдерживание изделий на поверхности стенда под слоем воды исключило влияние ветра, высоких температур и низкой относительной влажности воздуха из числа факторов, определяющих процессы гидратации и твердения бетона.

Определение основных показателей экономической эффективности стендов-бассейнов было также одной из задач при решении вопроса о целесообразности предлагаемой технологической схемы.

В состав полигонов на строительстве оросительных систем, как правило, входят стенды для изготовления плоских (плиты, стойки, балки) и пространственных (трубы оголовки) деталей типовых гидросооружений и облицовок каналов. На таких полигонах стенды-бассейны обеспечивают изготовление плоских деталей.

В связи с тем, что на строительстве Ходжа-Бакирганской и Сангарской оросительных систем в Таджикистане требовалось изготавливать на полигонах только плоские детали, были устроены специализированные полигоны, оборудованные стендами-бассейнами. В связи с этим имелась возможность сравнить их стоимость со стоимостью типовых полигонов, предложенных для такой же цели Гипроводхозом МСХ СССР. Стоимость строительства полигонов со стендами-бассейнами производительностью 5—10 тыс. м<sup>3</sup> в год оказалась в 7—8 раз ниже стоимости типовых полигонов, оборудованных вибростолами и пропарочными камерами.

Следует отметить, что резкое снижение капитальных затрат объясняется не только изменением технологической схемы, но и схемы механизации работ. Для полигонов со стендами-бассейнами требовался только типовой бетоносмесительный узел, а все рабочие операции по транспортировке, укладке бетонной смеси и штабелированию изделий были механизированы с помощью автомашин и автокранов.

Для организации полигонов со стендами-бассейнами требовалось 1—1,5 мес. Полигоны организовывались на базе запасов гравия и песка в зоне монтажа сооружений и облицовок и этим сокращались расходы на транспортирование изделий.

Наблюдения показали, что для полигонов производительностью 5—10 тыс. м<sup>3</sup> в год требуются стенды-бассейны площадью от 2000 до 3500 м<sup>2</sup>. Располагая необходимой площадью для организации стендов-бассейнов, строители, как правило, не пользовались ускорителями твердения бетона. Стенды-бассейны на полигонах производительностью 10 тыс. м<sup>3</sup> в год обслуживались 31 рабочим, фактические трудовые затраты на 1 м<sup>3</sup> продукции стендов-бассейнов не превышали 3 чел/час, что является наиболее низким показателем для существующих типовых



полигонов. При работе с «холодными» бетонами на стендах-бассейнах в зимний период установлено, что в периоды дождей и снегопадов работа на открытых полигонах затруднена и нерентабельна.

На 2,5—3 мес. стенды-бассейны прекращали свою работу, и на полигонах в зимний период работали только бетонные узлы, выдавая товарный бетон.

Таким образом, было установлено, что полигоны со стендами-бассейнами являются предприятиями сезонного типа.

Если на складе готовой продукции полигон имел запас изделий, то в зимний период рабочие полигона переключались на монтажные или общестроительные работы.

В период разработки и внедрения технологической схемы стендов-бассейнов в ирригационном строительстве было установлено, что они использовались, и, следовательно, могут быть рекомендованы также для сельскохозяйственного и дорожного строительства в условиях климата республик Средней Азии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Свечин Н. В. Особенности производства бетонных работ во время сухого и жаркого лета Средней Азии, Труды Ин-та сооружений АН УзССР, вып. 5, Ташкент, 1954.
  2. Спивак Н. Я. Полигоны для изготовления железобетонных конструкций, М., Госстройиздат, 1958.
  3. Ионас Б. Я. Экономическая эффективность индустриальных методов строительства, М., Экономиздат, 1962.
  4. Арсентьев Л. Б. Производство сборных железобетонных конструкций и деталей, М., Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1957.
-



А. АБДУЖАБАРОВ

### К ВОПРОСУ О ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АРМОЦЕМЕНТНЫХ ТРУБ СПОСОБОМ ТОРКРЕТИРОВАНИЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ СЕРДЕЧНИКОВ

В настоящее время в водохозяйственном строительстве используются железобетонные, асбоцементные и металлические трубы. Перед строителями оросительных систем поставлена задача резкого увеличения производства этих труб и снижения расхода средств для их изготовления.

До конца семилетки в Советском Союзе намечено построить около 140 заводов и цехов для изготовления железобетонных труб.

В процессе эксплуатации бетонных и железобетонных трубопроводов подтвердились более низкая их себестоимость и удлиненный срок службы по сравнению с металлическими, деревянными и чугунными трубопроводами.

Одним из основных преимуществ железобетонных труб является их коррозиоустойчивость. Так, например, при вскрытии железобетонных трубопроводов, эксплуатировавшихся с 1895 до 1945 г., установлено, что правильно уложенные и нормально эксплуатируемые железобетонные трубы не имели дефектов и повреждений [1].

В настоящее время наиболее распространенными в СССР способами изготовления бетонных и железобетонных труб являются:

- 1) вибропрессование жестких бетонных смесей в горизонтальных формах с немедленным извлечением внутреннего сердечника-пуансона (метод завода «Баррикада»);
- 2) изготовление труб в вертикальных виброформах;
- 3) центробежный способ.

Изготовление железобетонных труб методом завода «Баррикада» производится в стационарной опалубке с уплотнением бетонной смеси на вибрационном столе. В смазанную с внутренней стороны наружную опалубку помещают ранее изготовленный арматурный каркас и опалубку устанавливают на вибрационном столе. Сверху в наружную опалубку через продольный вырез по всей длине укладывают жесткую бетонную смесь, одновременно проводя ее вибрирование. Внутренний сердечник (пуансон) при вибрации распределяет и прижимает бетонную смесь к стенкам наружной опалубки. После окончания укладки и уплотнения бетонной смеси пуансон извлекают. Наружную опалубку с изготовленной трубой переносят в камеру пропаривания. Термообработка длится 10—12 час., после чего наружную опалубку снимают и подготавливают для нового цикла.

Максимальный диаметр труб, выпускаемых по методу завода «Баррикада», составляет 80 мм, длина труб — 6 м, толщина их стенок —



50—80 мм. Изготовленные по этому методу железобетонные трубы применяются только как безнапорные. Указанный способ имеет следующие недостатки:

1) после формовки труб диаметром свыше 800 мм и извлечения пуансона стенка трубы разрушается, а вибростол не может обеспечить равномерного и достаточного уплотнения бетонной смеси по всему поперечному сечению трубы;

2) при вибрировании в период изготовления трубы арматурный каркас может изменять свое первоначальное положение;

3) изготовление тонкостенных армированных труб по этому способу невозможно.

Изготовление железобетонных труб в вертикальных виброформах целесообразно применять при диаметре труб свыше 600 мм. Виброформа состоит из наружной разъемной опалубки и внутреннего цельного вибросердечника. В вертикальном положении между наружной стенкой формы и вибросердечником укладывается арматура, и бетонная смесь уплотняется при помощи вибросердечника. После окончания укладки и уплотнения бетонной смеси вибросердечник из формы извлекают в вертикальном положении. Железобетонная труба в наружной форме остается на месте изготовления до набирания бетоном распалубочной прочности. Изготовленные в вертикальных виброформах железобетонные трубы являются также безнапорными. В нашей стране большинство заводов и полигонов изготавливают трубы длиной 1—2 м по этому способу. На выставке новой строительной техники в 1962 г. были продемонстрированы изготовленные в виброформах железобетонные трубы диаметром 3 м.

В книге [1] проанализирован опыт работы треста «Закавказметаллургстрой», изготавливающего железобетонные трубы в вертикальных виброформах длиной до 6 м. К недостаткам этого способа автор [1] относит:

1) невозможность изготовления железобетонных труб диаметром менее 600 мм;

2) невозможность использования жестких бетонных смесей при густоармированных стенках труб.

В виброформах также нельзя изготавливать тонкостенные густоармированные трубы.

Центробежным способом изготавливают бетонные и железобетонные трубы. Исследования по технологии изготовления железобетонных труб центробежным способом ведутся в нашей стране с 1930 г. Бетонные и железобетонные трубы изготавливают во вращающихся формах с уложенной внутрь формы бетонной смесью. Под действием центробежной силы бетонная смесь уплотняется и прижимается к внутренним стенкам формы. Излишняя вода при этом отделяется и собирается внутри изготавливаемой трубы. Затем вращение формы опалубки постепенно уменьшается и прекращается. Изготовленную трубу переносят с формой в камеру для пропаривания. После пропаривания разъемная форма снимается с трубы и подготавливается к следующему циклу.

В настоящее время способом центрифугирования на заводах изготавливают железобетонные трубы, длиной до 22 м. Такие трубы применяют в качестве мачт для линий электропередач.

Изготовление труб способом центрифугирования требует сложного и дорогого оборудования, что и ограничивает его применение.

Армоцемент является новым материалом в строительстве. В результате научно-исследовательских работ в нашей стране и за рубежом установлена возможность его применения как в промышленном и гражд-



данском, так и в ирригационном строительстве. Армоцемент представляет собой цементно-песчаный раствор, где в качестве арматуры используется тканая металлическая сетка. Обычно толщина армоцементных конструкций составляет 2—3 см. Применение армоцемента уменьшает вес конструкции по сравнению с железобетонной более чем в 3 раза и делает ее более дешевой. Свойства армоцемента вполне удовлетворяют требованиям, которые существуют для железобетонных труб, однако использовать существующие способы изготовления труб из вибробетона для изготовления тонкостенных армоцементных труб еще не удалось.

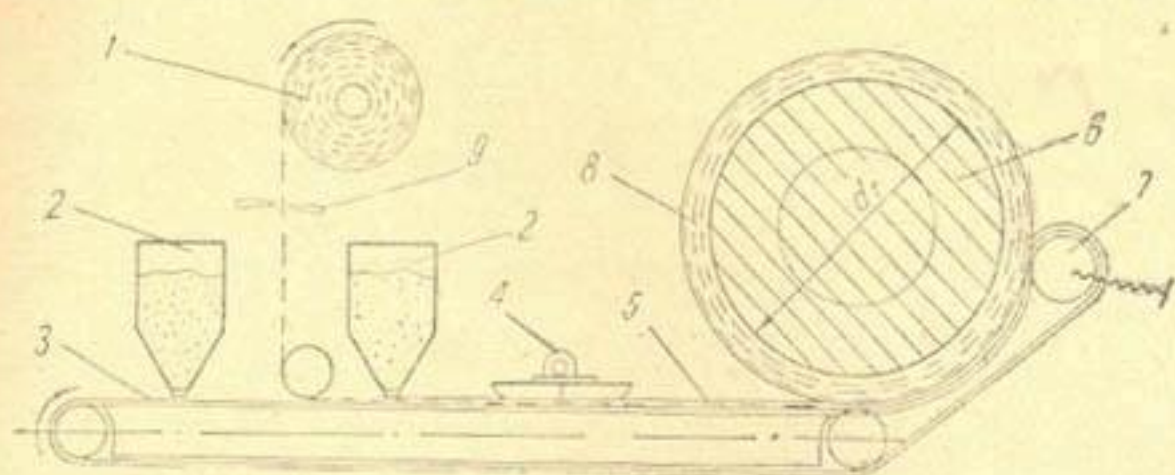


Рис. 1. Принципиальная схема установки для изготовления армоцементных труб:

1—бухта с армосеткой; 2—бункер с бетоном; 3—бесконечная лента; 4—вибратор; 5—свежесформованная армоцементная плита; 6—барабан; 7—уплотняющий ролик; 8—изготавливаемая армоцементная труба; 9—ножницы.

В настоящее время в ряде институтов ведутся исследования технологии изготовления армоцементных труб из вибробетона. Так, например, сотрудники НИИСельстроя в лабораторных условиях изучают изготовление армоцементных труб диаметром 200—300 мм способом гнутоформования (наворачивания). Принята следующая технологическая схема (рис. 1): на бесконечную ленту укладывается из бункера 2 защитный слой цементно-песчаного раствора заданной толщины. Из рулона разматывают и укладывают на него тканую металлическую сетку и покрывают слоем цементно-песчаного раствора, который вибрируется на бесконечной ленте 3. Отформованная армоцементная плита продвигается для намотки на барабан-сердечник 6, снабженный прижимающими и уплотняющими роликами 7.

Процесс намотки производят до получения требуемой толщины стенки трубы. Ширина бесконечной ленты зависит от длины изготавливаемой армоцементной трубы. По окончании намотки тканую металлическую сетку обрезают. Эта технологическая схема в настоящее время еще не вышла из стадии лабораторных испытаний. Необходимо отметить, что в процессе изготовления армоцементных труб способом НИИСельстроя при наматывании провибрированной на горизонтальной плоскости армоцементной плиты на сердечник нарушается структура провибрированного цементно-песчаного слоя, а металлическая сетка при непрерывной намотке укладывается по спирали и не может строго фиксироваться в растянутой зоне сетки трубы. Технология изготовления армоцементных труб способом НИИСельстроя также потребует сложного оборудования.

Сотрудниками Оргэнергостроя разработана технология изготовления армоцементных труб методом спиральной навивки с последующим обжатием (прокатом). По существу эта технология близка к способу гнутоформования (наворачивания) со всеми его недостатками. По этому способу на сердечник наматывается провибрированная армоцемент-



ная плита шириной 1 м под углом  $72^\circ$  к продольной оси сердечника и каждый последующий слой перекрывает шов предыдущего слоя. В процессе изготовления армоцементной трубы производится обжатие сердечника металлическим валиком (прокатом). В настоящее время трестом «Оргэнергострой» разработана схема установки для изготовления безнапорных армоцементных труб по такой технологии, но она еще не осуществлена. Как видно из приведенных примеров, небольшая толщина стенки армоцементной трубы заставила отказаться от использования существующей технологии изготовления железобетонных труб.

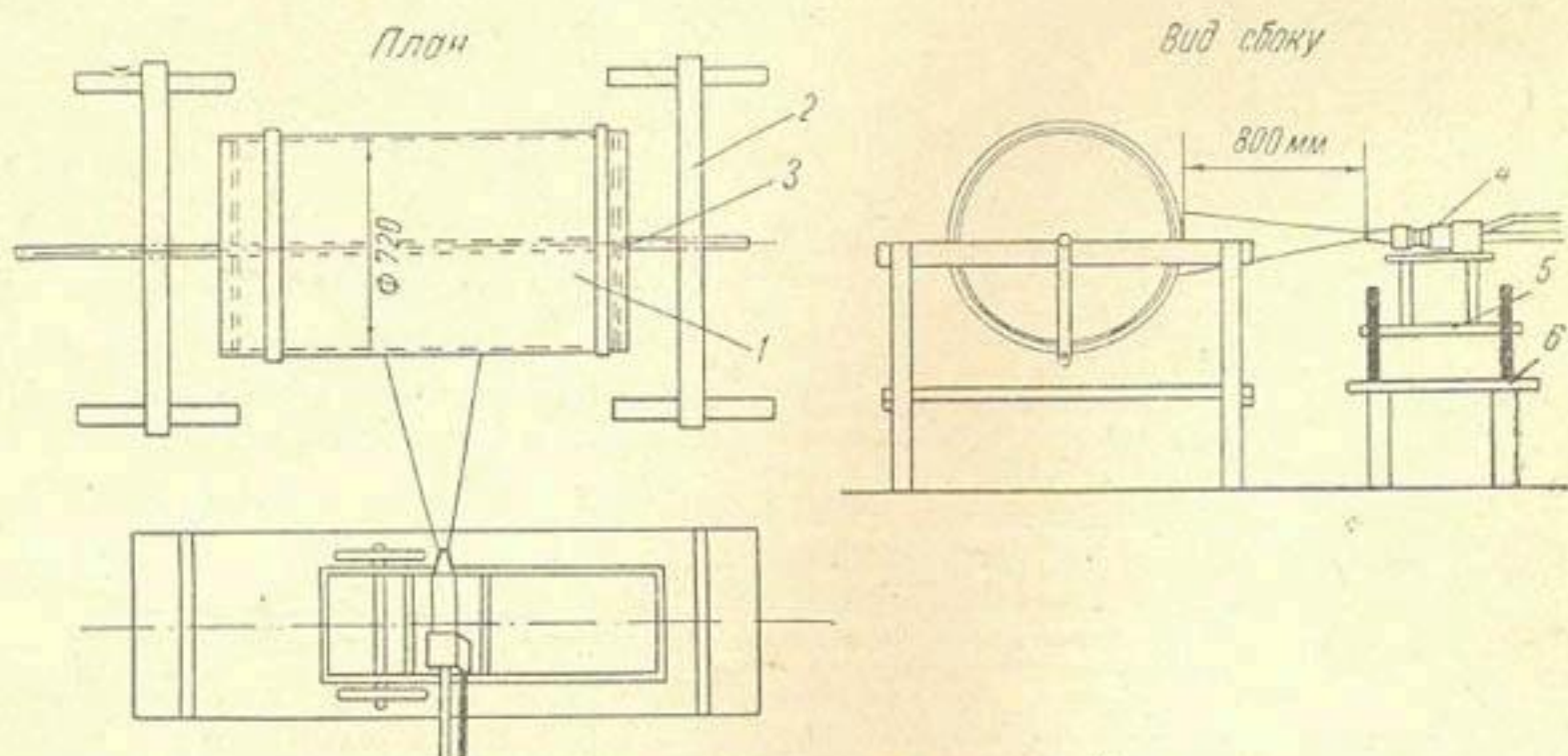


Рис. 2. Схема нанесения торкретного слоя на вращающийся сердечник с горизонтальным соплом-форсункой:

1—жесткий сердечник; 2—козлы деревянные; 3—резиновое кольцо; 4—сопло-форсунка; 5—тележка; 6—опора из плит.

В производстве до настоящего времени еще нет ни армоцементных труб, ни заводской технологии их изготовления.

С 1961 г. в лаборатории сборных конструкций ИВПиГ АН УзССР также производятся исследования по технологии изготовления безнапорных армоцементных труб для типовых гидросооружений. К этому времени в лаборатории была уже разработана технологическая схема изготовления криволинейных армоцементных изделий-лотков способом гослойного торкретирования. Поскольку в этой схеме устранены многие недостатки, присущие описанным выше способам изготовления труб, она и была принята за основу при разработке технологической схемы изготовления безнапорных армоцементных труб.

По такой схеме на поверхность поддона полуэллиптического поперечного сечения вначале с помощью цемент-пушки наносят первый слой цементного раствора, затем укладывают и фиксируют металлические сетки, которые покрывают вторым защитным слоем раствора.

Для изготовления армоцементных труб предстояло решить вопросы изготовления способом торкретирования замкнутой армоцементной стенки вокруг жесткого сердечника. В предварительных опытах были установлены основные стадии процесса изготовления и термообработки армоцементных труб для такого способа.

Был использован жесткий металлический сердечник с наружным диаметром 720 мм, длиной 1300 мм, представляющий отрезок трубы существующего сортамента металлических труб. Металлический сердечник был закрыт в торцах трубы и превратился в резервуар. При помощи ручки, насаженной на одну из полуосей металлической трубы, про-



изводилось вращение сердечника (рис. 2), при котором на его поверхность наносили расплавленный битум слоем 3—4 мм. После остывания

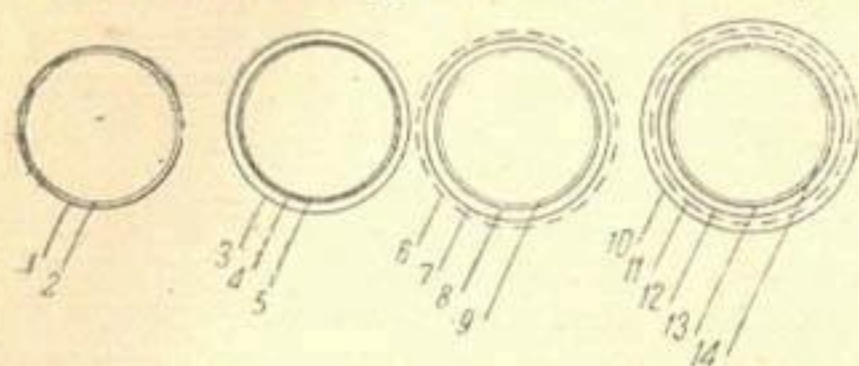


Рис. 3. Технологическая схема изготовления армоцементных труб способом торкретирования вращающихся сердечников:

1—битум; 2—форма; 3—первый слой торкрета; 4—битум; 5—форма; 6—сетка; 7—защитный слой; 8—битум; 9—форма; 10—второй слой торкрета; 11—сетка; 12—защитный слой; 13—битум; 14—форма.

битума при вращении сердечника с помощью движущейся вдоль него форсунки цемент-пушки наносили на него первый слой цементного раствора. На раствор укладывали сетку и снова покрывали раствором с помощью форсунки. После изготовления образца армоцементной трубы металлический сердечник превращался в камеру, куда впускали пар, нагревая ее до температуры  $+50-80^{\circ}$ . Нагретый сердечник выдерживали в отформованном отрезке трубы до получения бетоном распалубочной прочности, затем температуру сердечника поднимали до  $80-90^{\circ}$  и сердечник извлекали.

В результате предварительных опытов была определена технологическая схема изготовления армоцементных безнапорных труб способом послойного торкретирования вращающихся сердечников (рис. 3). Для осуществления и проверки этой схемы сконструировали и изготовили опытную установку, позволяющую изготавливать армоцементные трубы различных диаметров, длиной до 10 м. Опытная установка включала: 1) металлический сердечник; 2) рамные опоры; 3) подвижную тележку; 4) роликовый транспортер; 5) тяговую лебедку; 6) электродвигатель с редуктором; 7) цилиндрическую гладилку.

Для металлического сердечника были приняты сварные трубы по существующему сортаменту. В лабораторной установке (рис. 4) наружный диаметр сердечника  $d = 720$  мм, длина — 10 м. К заглушкам торцов металлического сердечника были приварены полуоси с подшипниками на разъемных опорах и фланцы с отверстиями для подачи пара

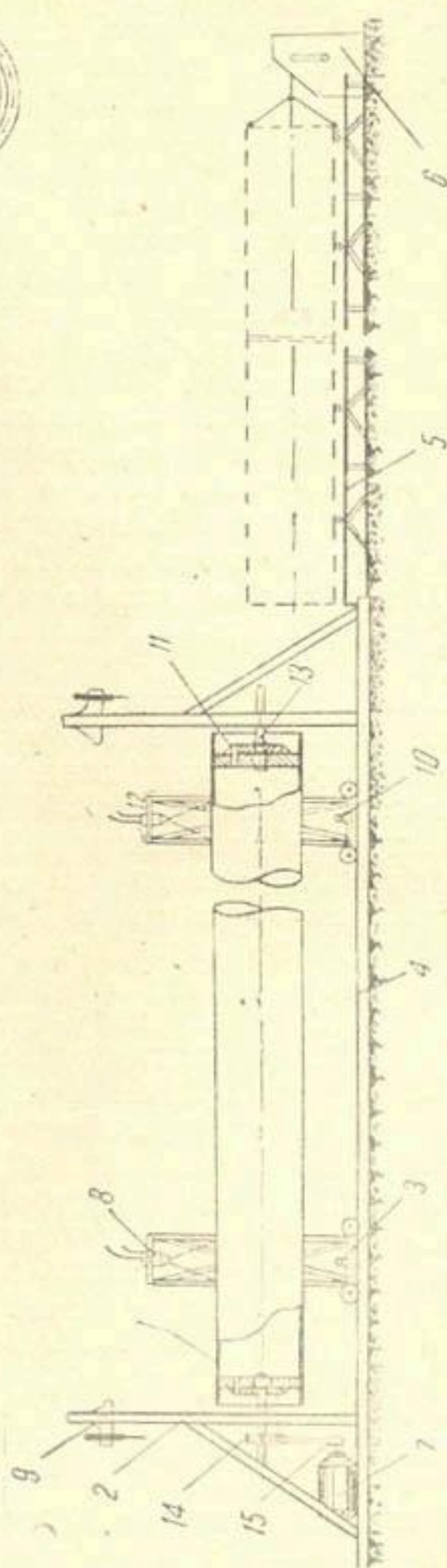


Рис. 4. Схема опытной установки для изготовления армоцементных труб способом торкретирования вращающихся сердечников:

1—металлический сердечник; 2—рама; 3—передвижная тележка; 4—рельс; 5—транспортер; 6—лебедка; 7—электродвигатель; 8—форсунка и шланг цемент-пушки; 9—табель; 10—роликовая опора; 11—отверстие для подачи пара; 12—рама для крепления форсунки; 13—вал сердечника; 14—шпиль; 15—текстурный ремень.



и стока конденсационной воды. Вращение сердечника осуществлялось при помощи электромотора постоянного тока. Перемещение сердечника по вертикали производилось при помощи талей, установленных на рамной опоре. Вторая рамная опора служила одновременно упором при извлечении сердечника из армоцементной трубы. Рамные опоры имели фундаменты. Под металлическим сердечником был уложен узкоколейный путь, по которому перемещалась тележка. Уровень верхней части рамы находился на 2,5 см ниже роликов транспортера. В лабораторной установке была использована обычная рама ленточного транспортера с роликами. Для удаления сердечника из трубы использовали лебедку с усилением 5 т, которую закрепляли на бетонном основании. Поверхность сердечника, покрытую битумом, укатывали нагретой паром цилиндрической гладилкой, по концам которой были установлены подшипники. Гладилка перемещалась по вертикали подъемными винтами.

Изготовление образцов армоцементных труб способом торкретирования производили при помощи цемент-пушки С-320 производительностью  $Q = 1,5 \text{ м}^3/\text{час}$ . Были использованы портланд-цемент М-400, тканая металлическая сетка (ГОСТ 3826—47) с размером ячеек  $10 \times 10 \text{ мм}$  и  $12 \times 12$  и промытый песок с максимальным размером зерен до 5 мм. При торкретировании давление воздуха в ресивере компрессора равнялось 3 атм.

Использование опытной установки дало возможность определить, что технологический процесс изготовления армоцементных труб способом послойного торкретирования вращающихся сердечников состоит из следующих рабочих операций:

- 1) нанесение на вращающийся сердечник слоя расплавленного битума, парафина или другого материала, температура плавления которого находится в пределах  $50—90^\circ$ ;
- 2) нанесение на поверхность вращающегося сердечника, покрытого битумом, первого слоя торкрета с помощью цемент-пушки, имеющей вместо сопла специальную форсунку;
- 3) намотка и фиксация тканой металлической сетки на сердечнике с битумным слоем и слоем торкрета;
- 4) нанесение на вращающийся сердечник второго слоя торкрета по тканой металлической сетке;
- 5) термообработка сердечника с отформованной трубой;
- 6) удаление сердечника из отформованной трубы.

Как видно из приводимого состава рабочих операций, из технологического цикла изготовления трубы были исключены предварительная формовка армоцементной плиты на горизонтальной плоскости и навивка ее на цилиндрический сердечник. Формовку трубы производили непосредственно на металлическом сердечнике.

В экспериментальной установке опыты проводили с битумом БМ-3 (в зимних условиях) и БМ-5 (в летних условиях). Расплавленный битум подавали на поверхность жесткого сердечника из бачка, установленного на тележке. Битум наносили путем вращения жесткого сердечника и движения тележки с бачком вдоль сердечника. Битум заглаживался подогретой паром гладилкой по всей длине сердечника. Гладилка вращалась за счет трения сердечника. На поверхности сердечника после заглаживания образовывался слой застывшего битума, который выравнивал дефекты сердечника.

Первый защитный слой цементного раствора укладывали с помощью форсунки цемент-пушки, установленной на расстоянии 80—90 см от поверхности сердечника. Нанесение раствора торкретированием производили при вращении сердечника с окружной скоростью, равной



0,54 м/сек, и при равномерном движении тележки с форсункой вдоль сердечника со скоростью 0,006 м/сек.

На графике (рис. 5) приведена зависимость толщины слоя торкрета на поверхности цилиндрического сердечника  $d = 720$  мм от скорости движения форсунки параллельно продольной оси сердечника.

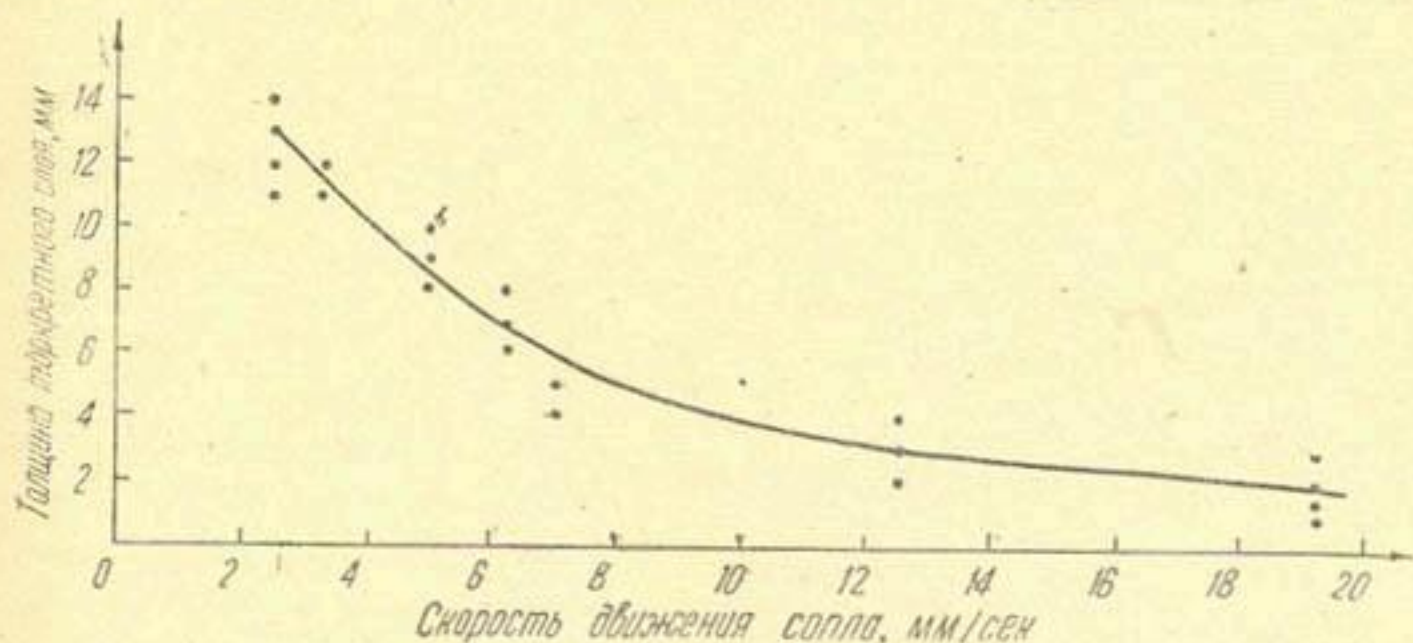


Рис. 5. График зависимости толщины торкретируемого слоя на сердечнике от скорости движения форсунки; окружная скорость сердечника 0,54 м/сек; диаметр сердечника—720 мм.

При торкретировании использовали смесь 1:1,5 (цемент и песок) по весу с водо-цементным отношением смеси 0,22—0,26.

После окончания нанесения первого защитного слоя на него укладывали металлическую сетку, которую связывали при помощи вязальной проволоки. При вращении сердечника на него накатывали требуемое количество металлической сетки в виде ленты, сшитой из отдельных полос сетки шириной 1 м. Ширина ленты из тканой металлической сетки равнялась длине армоцементной трубы. После укладки металлической сетки укладывали второй слой цементного раствора, который для сетки являлся защитным. Технология нанесения второго слоя была такой же, как и для первого слоя. Толщина стенок армоцементной трубы получалась равной 2—2,5 см. Для образования равных кромок торцов армоцементной трубы на сердечник укладывали бандажи из уголкового железа  $20 \times 20$  мм.

В лаборатории сборных конструкций было проведено два варианта опытов по термообработке отформованных армоцементных труб.

По первому варианту паропрогрева пар подавался внутрь сердечника. В этом случае поверхность изготовленной армоцементной трубы покрывали битумной пленкой или лаком «Этиноль». При повышении температуры сердечника такая пленка предохраняла поверхность цементно-песчаного раствора в сетках трубы от испарения воды. Температуру в сердечнике поднимали до  $+40^{\circ}\text{C}$  в течение одного часа, затем в сердечнике с трубой в течение 6 час. поддерживали температуру  $+80^{\circ}\text{C}$ . При извлечении сердечника температуру пара повышали до  $+90^{\circ}\text{C}$  (рис 6).

По второму варианту паропрогрев сердечника с трубой был проведен путем подачи пара под брезентовый чехол, покрывающий отформованную трубу снаружи. Недостаточная прогреваемость сердечника при удалении его из трубы и большой расход пара заставили отказаться от этого варианта после первых опытов.

Прочность бетона до термообработки составляла  $20 \text{ кг/см}^2$ . После 3-часового прогрева сердечника она поднималась до  $200 \text{ кг/см}^2$ .



При хранении трубы на воздухе прочность повышалась до  $400 \text{ кг/см}^2$  в течение 6—8 дней.

По окончании термообработки сердечник с трубой вынимали из разъемных опор и одним концом укладывали на ролик рамной опоры, другим — на тележку.

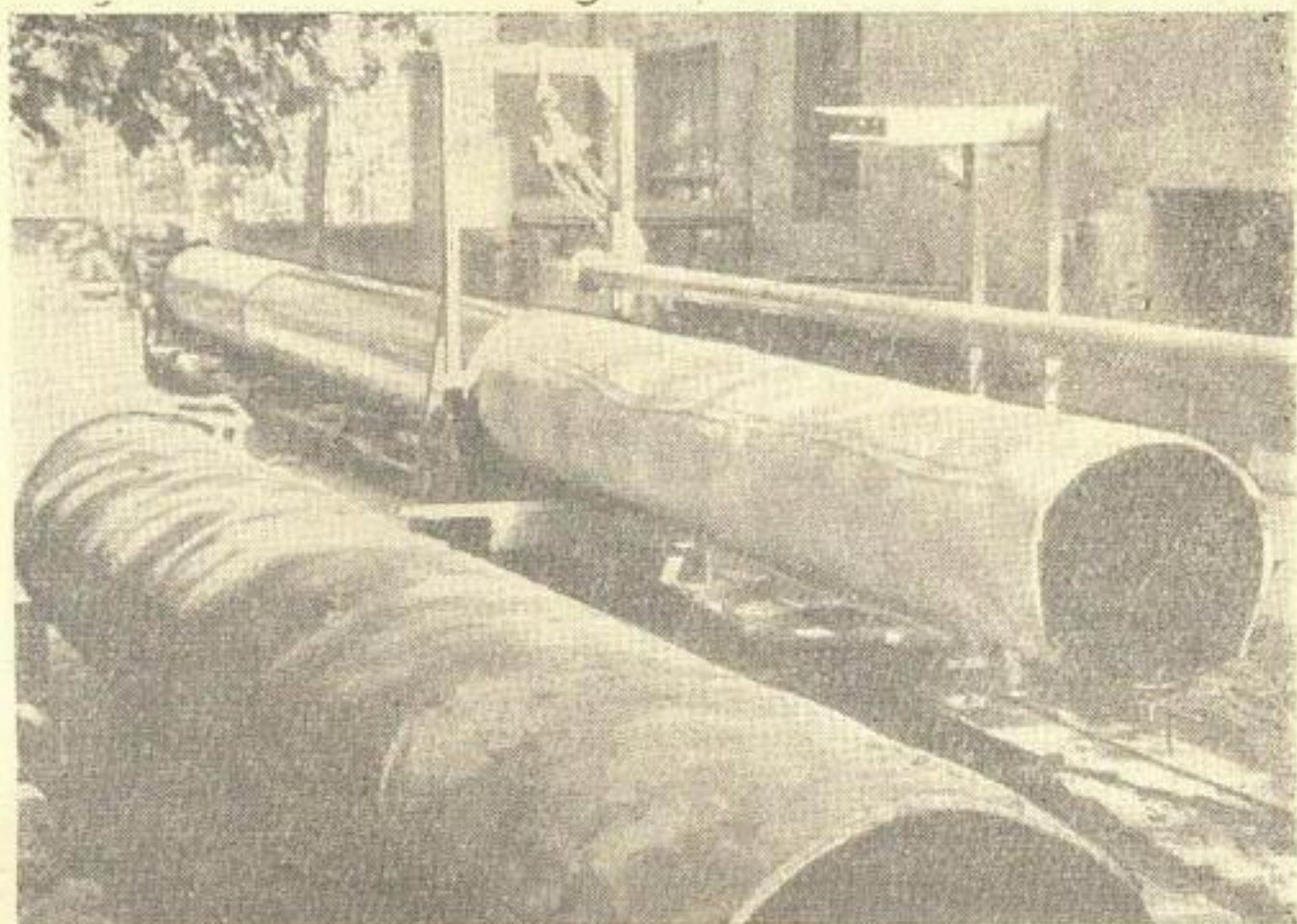


Рис. 6. Изготовленные армоцементные трубы после термообработки.

Величину усилий при извлечении сердечника измеряли при помощи динамометра. При извлечении сердечника  $d=720 \text{ мм}$  из трубы максимальное усилие составляло всего 1000—1100 кг или  $0,008 \text{ кг/см}^2$

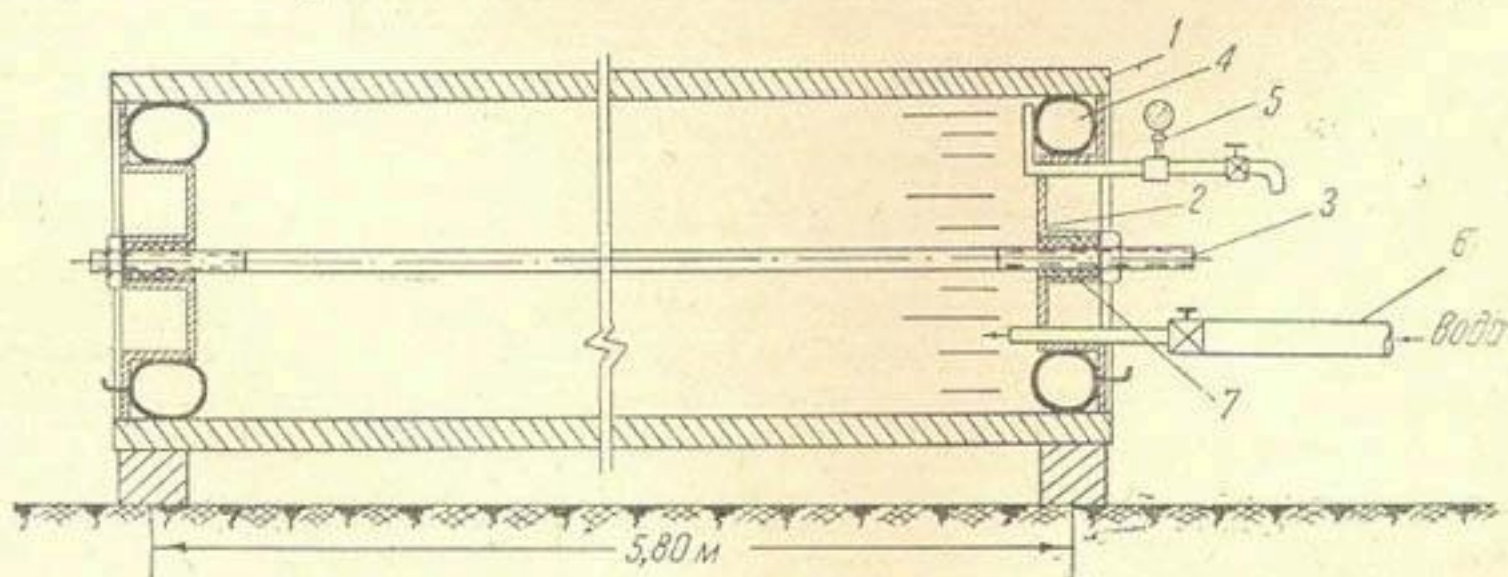


Рис. 7. Схема гидравлического испытания опытных образцов армоцементных труб:

1—образец армоцементной трубы; 2—диск; 3—стяжной болт; 4—резиновая камера; 5—манометр; 6—вода под давлением; 7—направляющий стакан.

поверхности сердечника (при извлечении пуансона после формовки железобетонной трубы это усилие бывает выше в 10—12 раз). При извлечении сердечника армоцементная труба с внутренней стороны смазывалась битумом слоем от 1 до 3 мм. На поверхности сердечника также оставался слой битума, толщина которого доходила до 4 мм. Опыты показали, что для каждого последующего цикла изготовления



трубы на сердечнике необходимо добавлять около 40% первоначального количества битума. Температурные расширения металлического сердечника компенсируются пластичным слоем битума на поверхности сердечника и не вызывают появления усадочных трещин при твердении раствора в стенках трубы.

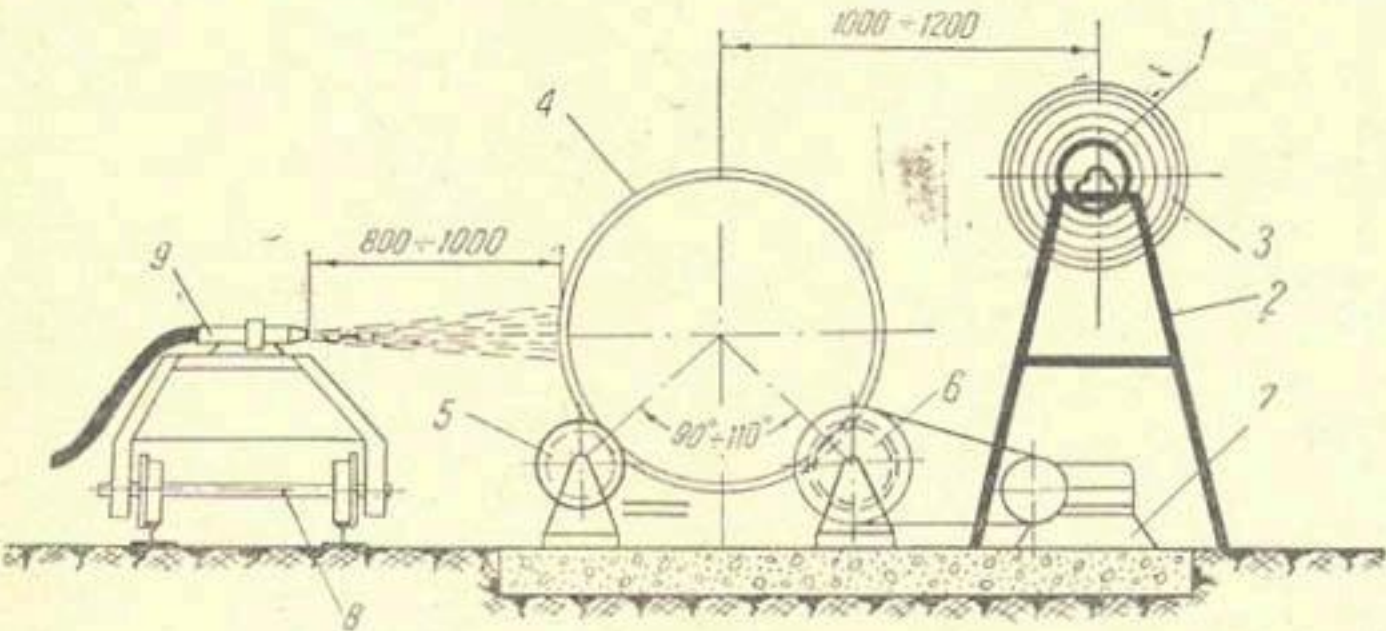


Рис. 8. Схема нанесения торкретного слоя при движении сопла вдоль трубы на самоходной тележке:

1—скалка для сетки; 2—стойка подшипников скалки; 3—сетка; 4—сердечник; 5—передний ролик; 6—ведущий ролик; 7—привод; 8—самоходная тележка; 9—сопло-форсунка.

Изготовленные на опытной установке образцы армоцементных труб проходили гидравлические испытания для проверки степени однородности укладываемой бетонной смеси при торкретировании стенки армоцементной трубы и определения напряжений при растяжении в стенках трубы в начале фильтрации.

Были испытаны армоцементные трубы, армированные двумя сетками при толщине стенки 2 см из мелкозернистого бетона М-400.

Армоцементные трубы подвергались гидравлическому испытанию по схеме, приводимой на рис. 7.

### Технико-экономические показатели безнапорных армоцементных труб

| Вид труб               | Техническая характеристика |                              |       |                   |                                   |         |                          | Основные показатели на 1 пог. м |                   |         |                    | Стоимость<br>1 м <sup>3</sup> ,<br>руб. |
|------------------------|----------------------------|------------------------------|-------|-------------------|-----------------------------------|---------|--------------------------|---------------------------------|-------------------|---------|--------------------|-----------------------------------------|
|                        | толщина<br>стен-<br>ок     | внутрен-<br>ний диа-<br>метр | длина | марка бе-<br>тона | объем бе-<br>тона, м <sup>3</sup> | вес, кг | расход ар-<br>матуры, кг | расход мате-<br>риала           |                   | вес, кг | стоимость,<br>руб. |                                         |
|                        |                            |                              |       |                   |                                   |         |                          | бетон,<br>м <sup>3</sup>        | армату-<br>ра, кг |         |                    |                                         |
| 1. Железо-<br>бетонная | 80                         | 700                          | 6000  | 300               | 1,15                              | 2680    | 96                       | 0,19                            | 16                | 446     | 10—50              | 55                                      |
| 2. Армоце-<br>ментная  | 25                         | 720                          | 6000  | 400               | 0,55                              | 620     | 24                       | 0,06                            | 4                 | 103     | 5—00               | 82—50                                   |
| 3. Асбоце-<br>ментная  | 35                         | 700                          | 400   | (ВНД-<br>5)       | —                                 | 615     | —                        | —                               | —                 | 154     | 13—00              | —                                       |

Трубы устанавливали в горизонтальном положении на двух опорах. Наполнение водой трубы производили с одновременным удалением воздуха. Давление от дисков на стенки было исключено в продольном направлении за счет резиновых камер. Давление воды в



трубе повышали ступенями по 0,2 атм и выдерживали в течение 10 мин. При испытании наружную поверхность тщательно осматривали. При давлении 0,9—1,0 атм на поверхности трубы появлялись

волосные трещины вдоль продольной оси трубы, после чего начиналась фильтрация воды в виде капель. По данным гидравлических испытаний, такие трубы относятся к безнапорным.

Определение чистого напряжения при растяжении в стенках трубы производили так же, как и в тонкостенном цилиндре по формуле

$$\sigma = \frac{Pr_0}{\delta},$$

где  $P$  — внутреннее давление, атм;

$r_0$  — средний радиус трубы, см;

$\delta$  — толщина стенки трубы, см.

Напряжения растяжения в стенках опытных образцов труб составляли 15—16,5 кг/см<sup>2</sup> (что в три раза превышает расчетные данные для безнапорных железобетонных труб).

Работа с опытной установкой позволила сделать вывод о том, что все рабочие операции по изготовлению армоцементных труб могут быть механизированы и автоматизированы с небольшими затратами средств. Так, вращение сердечника и движение форсунки цемент-пушки вдоль сердечника производили при помощи электромотора с редуктором и лебедкой. Таким образом, при торкретировании трубы сопловщик был заменен механизмом (рис. 8). Сердечник извлекали из трубы также с помощью лебедки с электромотором. В лабораторных ус-

ловиях только стыкование сеток на сердечнике не смогли заменить электросваркой.

Хронометраж отдельных рабочих операций показал, что для изготовления армоцементной трубы длиной 8 м на металлическом сердечнике, покрытом слоем битума, потребуется 30 мин. Это время распределяется следующим образом по отдельным рабочим операциям:

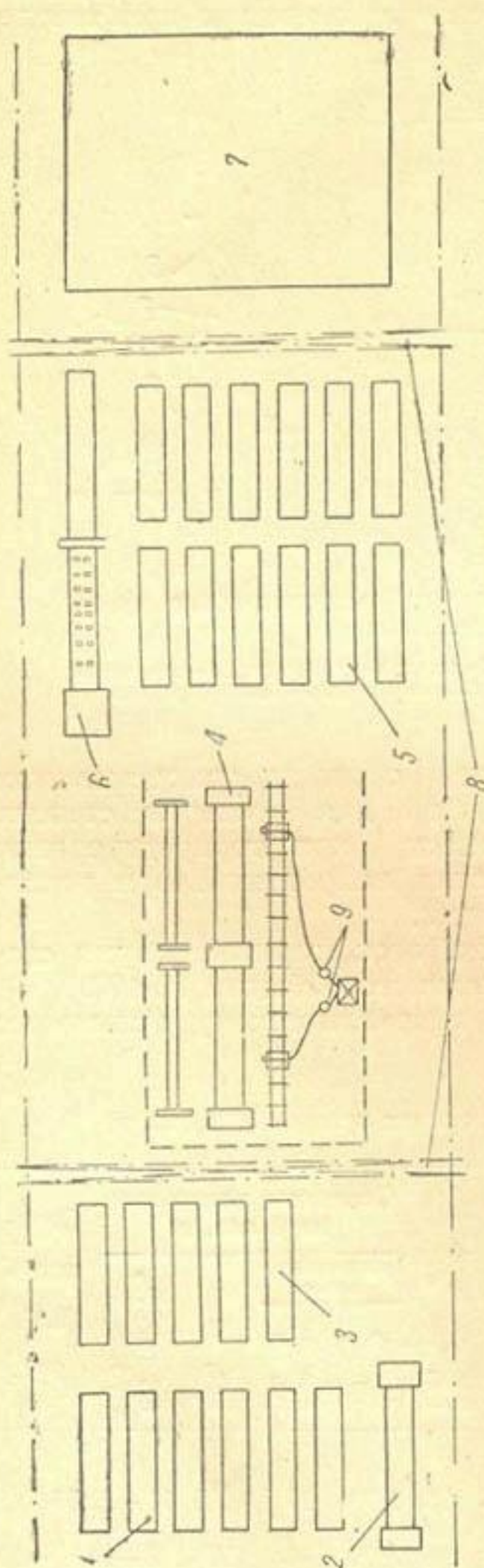


Рис. 9. Технологическая схема экспериментального цеха по изготовлению длиномерных армоцементных труб: 1—металлические сердечники; 2—установка для нанесения битума на сердечник; 3—покрытые битумом сердечники; 4—установка для извлечения сердечника из трубы; 5—торкретирование; 6—термообработка труб; 7—установка для извлечения сердечника; 8—кран-балка; 9—цемент-пушка.



- 1) нанесение первого слоя цементного раствора с помощью двух цемент-пушек — 8 мин.;
- 2) укладка сеток — 10 мин.;
- 3) нанесение второго слоя раствора — 8 мин.;
- 4) нанесение битумной пленки — 4 мин.

Если фиксация сетки на сердечнике будет заменена сваркой, продолжительность второй рабочей операции должна быть уменьшена в 2—3 раза, и время, требующееся для изготовления трубы на установке, можно ориентировочно считать равным 20—25 мин. Таким образом, производительность установки, по данным лабораторных опытов, должна быть равной 130—140 пог.м труб в смену.

На основании проделанных лабораторных опытов по технологии изготовления труб способом торкретирования вращающихся сердечников была разработана схема экспериментального цеха армоцементных труб (рис. 9) и определены предварительные технико-экономические показатели для таких труб. Изготовление труб в цехе предусмотрено по поточно-агрегатному способу.

Характеристики стоимости и расхода материалов на 1 пог.м железобетонных, асбоцементных и армоцементных труб приводятся в таблице.

Результаты исследований следует считать предварительными, подлежащими дальнейшему уточнению в лабораторных и производственных условиях, но дающими возможность сделать два основных вывода:

- 1) использование процесса торкретирования для укладки и уплотнения бетонной смеси в стенках армоцементных труб возможно;
- 2) разработанная технологическая схема может быть принята для опытного заводского изготовления армоцементных труб.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Овсянник В. И. Железобетонные напорные трубы, М., Госстройиздат, 1961.
2. Пастернак П. П., Антонов К. К., Дмитриев С. А. и др. Железобетонные конструкции, М., Госиздат по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1961.
3. Березинский А. Р., Ротина О. Д. Применение сборного железобетона в водопроводных и канализационных сооружениях, М., Изд-во Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1958.
4. Митрофанов Е. Н. Применение армоцемента в пространственных конструкциях, Л., 1960.
5. Гамов Л. И. Армоцемент и армоцементные конструкции, Кишинев, 1961.
6. Михайлов В. В. Теория и практика центробежного напряжения армированного бетона, М.—Л., 1939.



В. Я. ЛИПСКИЙ

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПОЛИГОНА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АРМОЦЕМЕНТНЫХ ЛОТКОВ

Результаты исследований технологии изготовления армоцементных лотков способом торкретирования свидетельствуют о целесообразности их изготовления в промышленных масштабах.

В 1961 г. трестом «Промстройматериалы» Главголодностепстроя совместно с лабораторией ИВПиГ АН УзССР была проведена производственная проверка конструкции и технологии изготовления армоцементных лотков (рис. 1) в условиях Голодной степи.

Ниже приведены технико-экономические показатели армоцементных лотков  $H=800$  мм:

|                                                                                    |      |
|------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Высота лотка, мм                                                                   | 800  |
| Длина лотка, м                                                                     | 8    |
| Объем бетона в лотке, м <sup>3</sup>                                               | 0,40 |
| Вес лотка, т                                                                       | 1,0  |
| Стоимость бетона лотков, руб.                                                      | 96   |
| Стоимость 1 пог. м лотков, руб.                                                    | 5    |
| Снижение стоимости 1 пог. м армоцементных лотков по сравнению с железобетонными, % | 30   |

Задачей производственных исследований было составление проектного задания для проектирования опытного полигона армоцементных лотков в одном из районов освоения новых земель Голодной степи.

Основной частью проектного задания является технологическая схема полигона, для составления которой необходимо было отработать все операции по технологии изготовления лотков.

Процесс изготовления лотков делится на пять основных рабочих операций:

нанесение на поверхность металлического поддона первого слоя мелкозернистого бетона с помощью цемент-пушек;

установка арматурного каркаса из металлической сетки на первый слой бетона;

нанесение второго слоя бетона по металлической сетке;

выдерживание и термообработка изготовленного лотка;

распалубка и установка монтажных стяжек на лотках.

Отработку рабочих операций осуществляли на полигоне Янгирского завода железобетонных изделий.

Торкретирование первого слоя бетона производили двумя цемент-пушками С-320 с двух сторон поддона (рис. 2). В процессе торкретирования выяснилось, что при температурах воздуха  $+33 \div 36^\circ\text{C}$  поддон



нагревается до  $+50 \div 60^{\circ}\text{C}$ , что вызывает подсыхание первого слоя бетона. В результате этого изготовление армоцементных лотков на открытых площадках в дневные часы жаркого периода года оказалось невозможным.

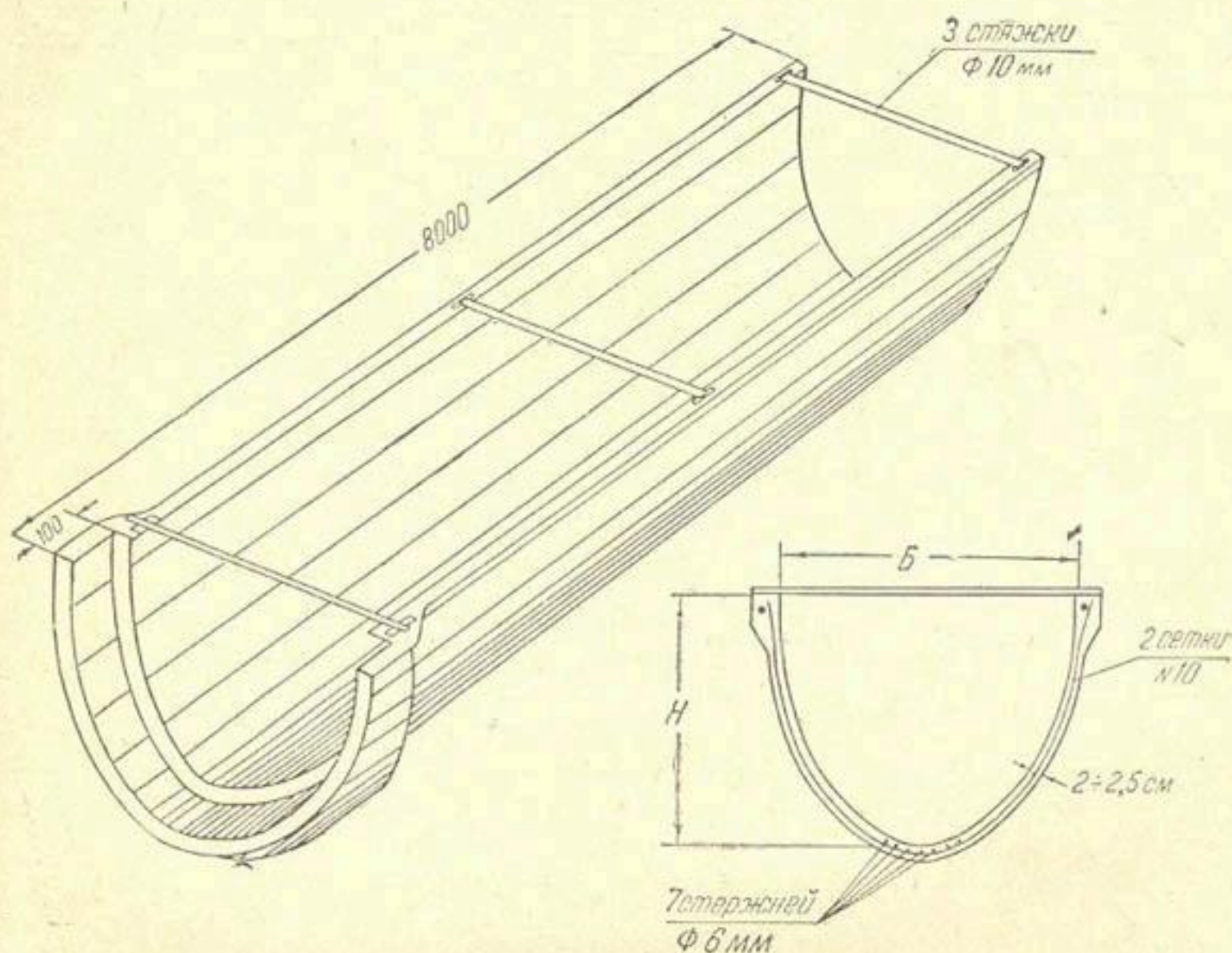


Рис. 1. Армоцементный лоток.

Торкретирование первого слоя бетона выполняли два сопловщика за 10—12 мин.

Установку арматурного каркаса на первый слой бетона производили автокраном (рис. 3), а закрепление каркаса на поддоне — проволочными хомутами. От быстроты и точности установки арматурного каркаса в значительной степени зависит равномерность толщины и однородность структуры стенки лотка. В процессе отработки этой операции было рассмотрено несколько способов крепления сетки к поддону и выбрано оптимальное расстояние между затяжками, равное 800 мм.

Если имеются навык у рабочих и специальные приспособления для натяжения затяжек, эту операцию двое рабочих выполняют за 10—15 мин.

При торкретировании второго слоя по металлической сетке для лучшего проникновения бетона давление воздуха в компрессоре повышали с 2 до  $3 \div 3,5$  атм, а пластичность бетона увеличивали до 1,0 см погружения стандартного конуса СтройЦНИЛ.

Объем бетона во втором слое в два раза больше, чем в первом, и на его торкретирование потребовалось в два раза больше времени.

После окончания торкретирования поверхность лотка необходимо покрывать водонепроницаемой пленкой и выдерживать в естественных температурных условиях или подвергать термообработке по режиму 1—3—1 (1 час — подъем температуры, 3 часа — изотермический про-



грев, 1 час — остывание лотка) (рис. 4). При этом режиме имеется возможность оборота поддона в течение одной смены.

Термообработку осуществляли путем пуска пара во внутреннюю полость поддона.

В качестве водонепроницаемых пленок были приняты раствор битума марки БН-V в бензине состава 1:2 (битум — бензин) и лак «этиноль». Раствор наносили краскопультom.

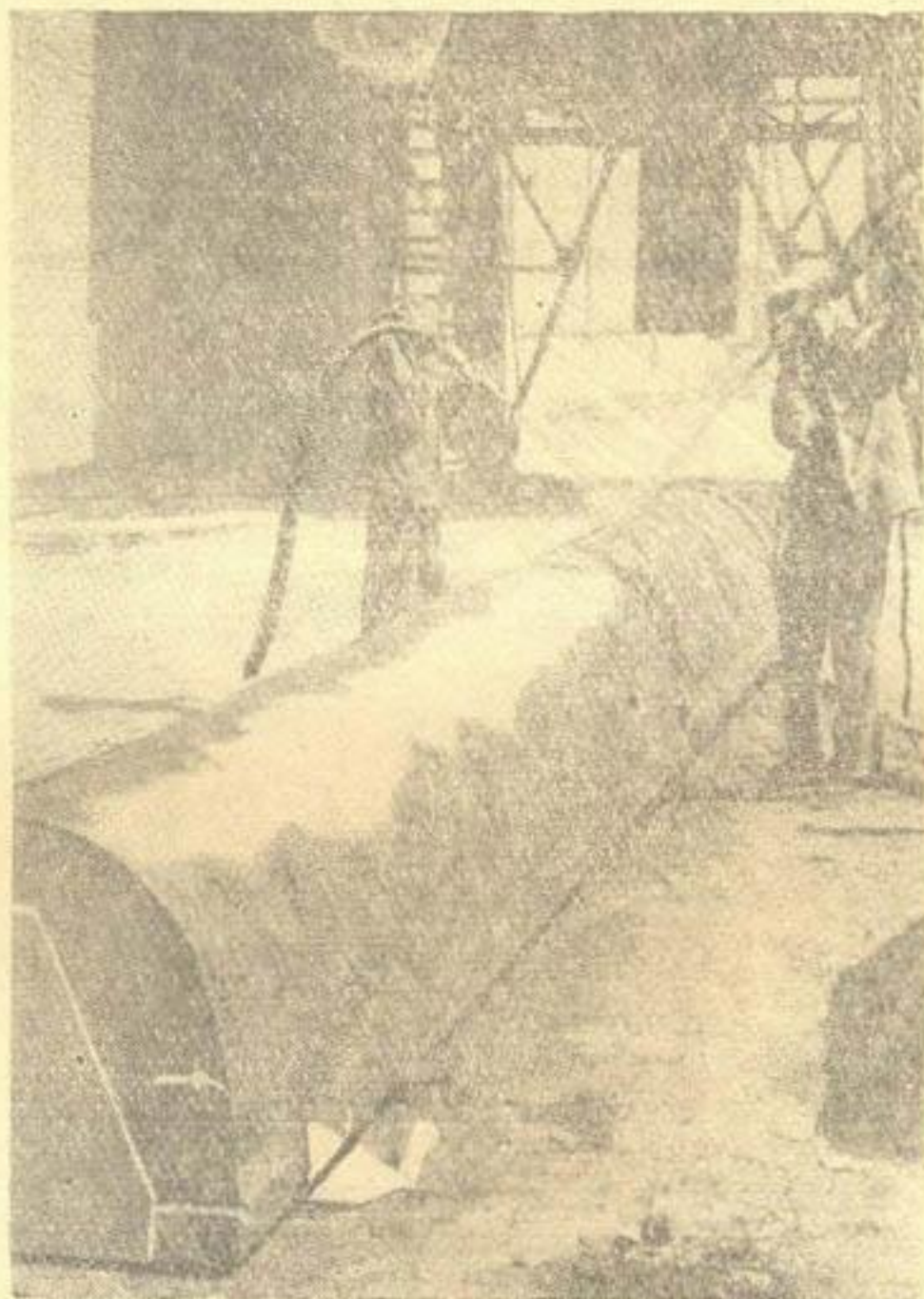


Рис. 2. Торкретирование первого слоя бетона лотка.

Готовый лоток с поддона снимали специальной траверсой-кантователем. При выполнении этой операции совмещали распалубку лотка с предварительной кантовкой его в рабочее положение (рис. 5).

После распалубки к лотку приваривали стяжки. На основании фактических данных, полученных при отработке рабочих операций по технологии армоцементных лотков, были определены основные требования к полигонам по изготовлению армоцементных конструкций в условиях освоения целинных земель. Такие полигоны должны отвечать следующим основным требованиям:

- 1) полигон армоцементных лотков должен быть либо специализированным, либо входящим в состав полигона или завода с широкой номенклатурой железобетонных изделий для сборных сооружений на оросительных системах;

- 2) строительные конструкции полигона должны быть разборными, что позволит производить быстрый демонтаж и сборку полигона при



переносе центра тяжести работ по армированию ирригационной сети сооружениями на новое место, что значительно сократит дальность перевозки готовой продукции;

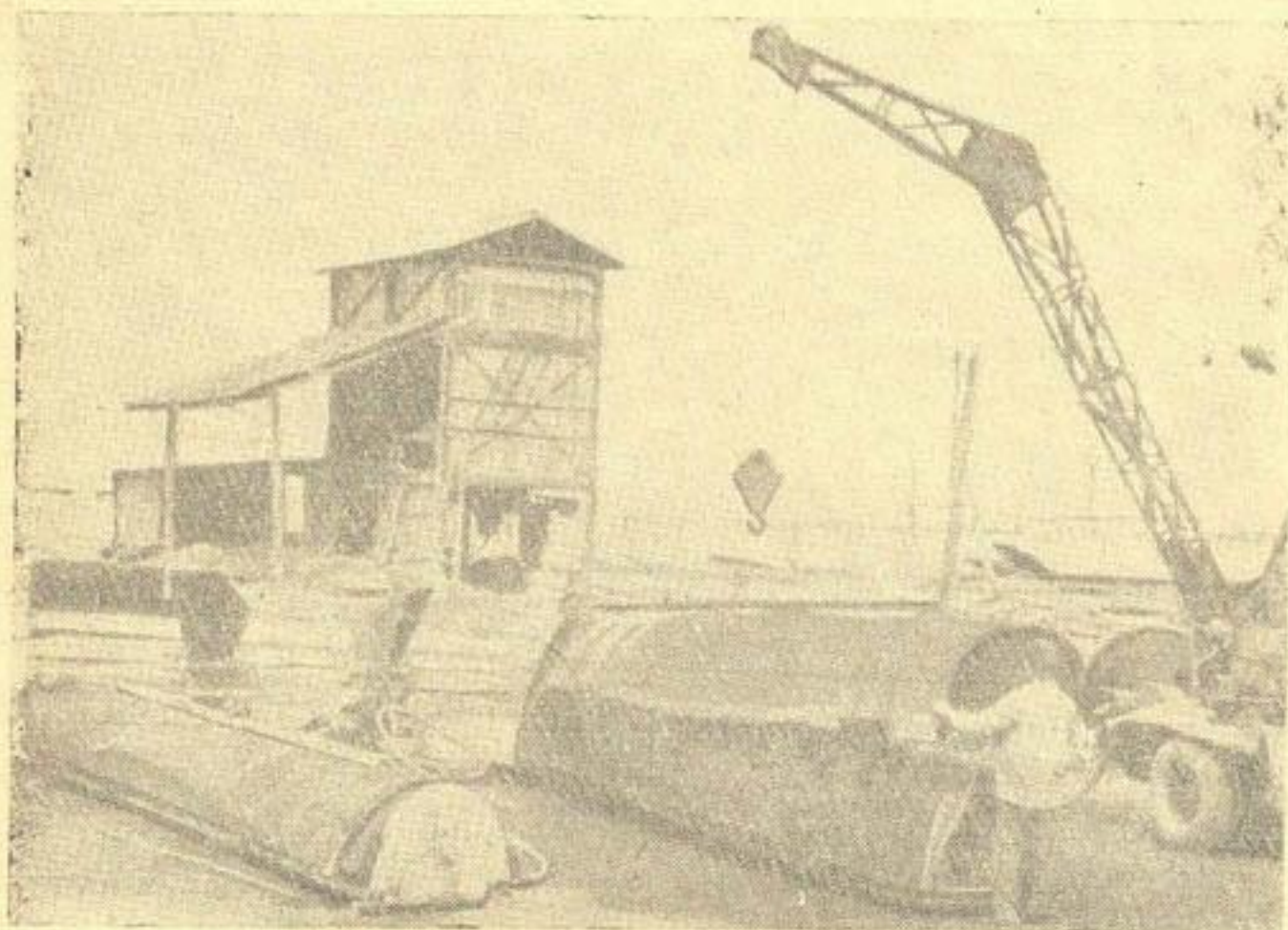


Рис. 3. Установка арматурного каркаса.

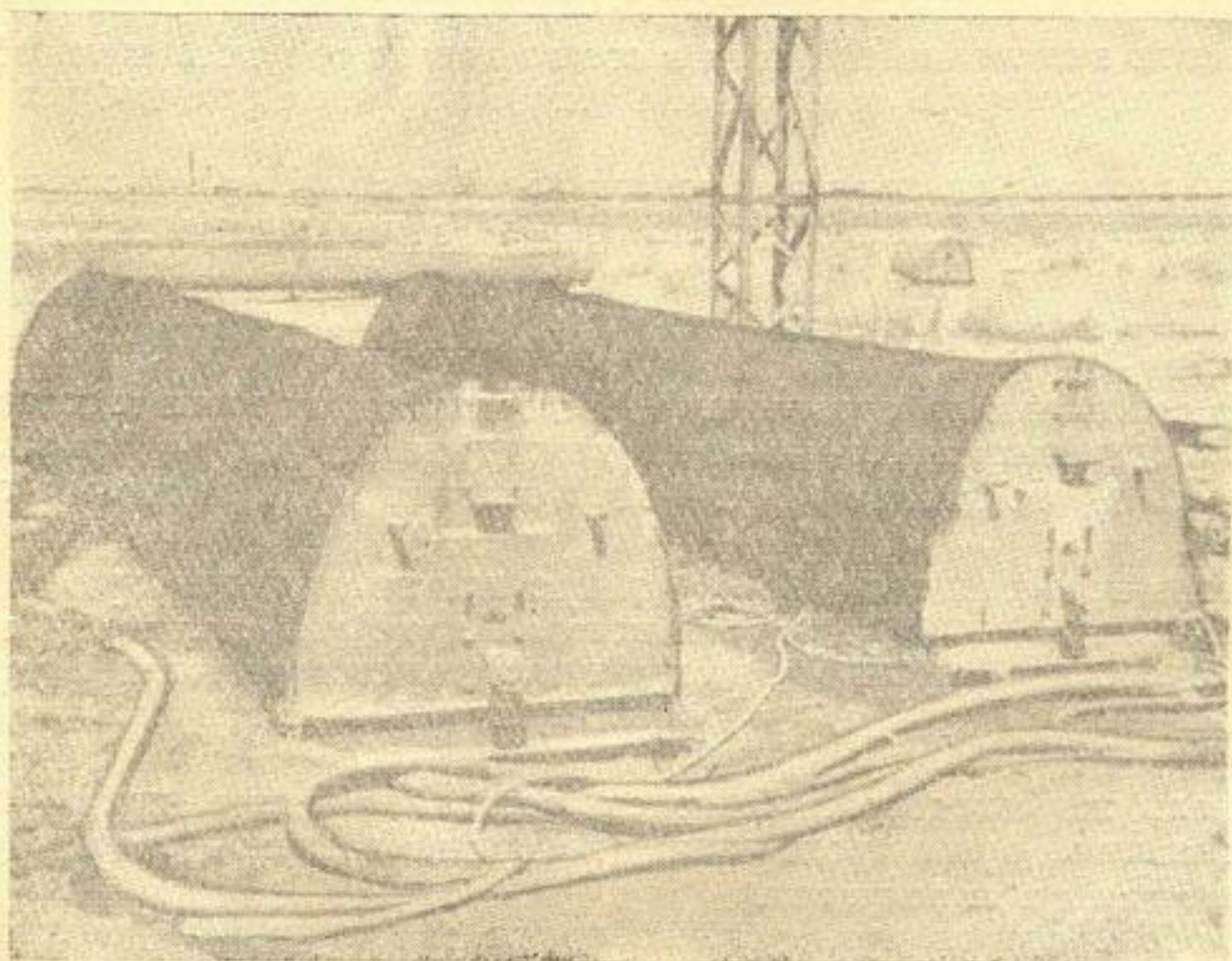


Рис. 4. Свежеизготовленные армоцементные лотки, покрытые водонепроницаемой пленкой из этилового лака.

3) в технологической схеме должны учитываться условия жаркого и сухого климата Средней Азии;



4) должно быть использовано серийное оборудование, выпускаемое отечественной промышленностью;

5) должна быть предусмотрена максимальная механизация всех рабочих операций по изготовлению лотков и других конструкций;

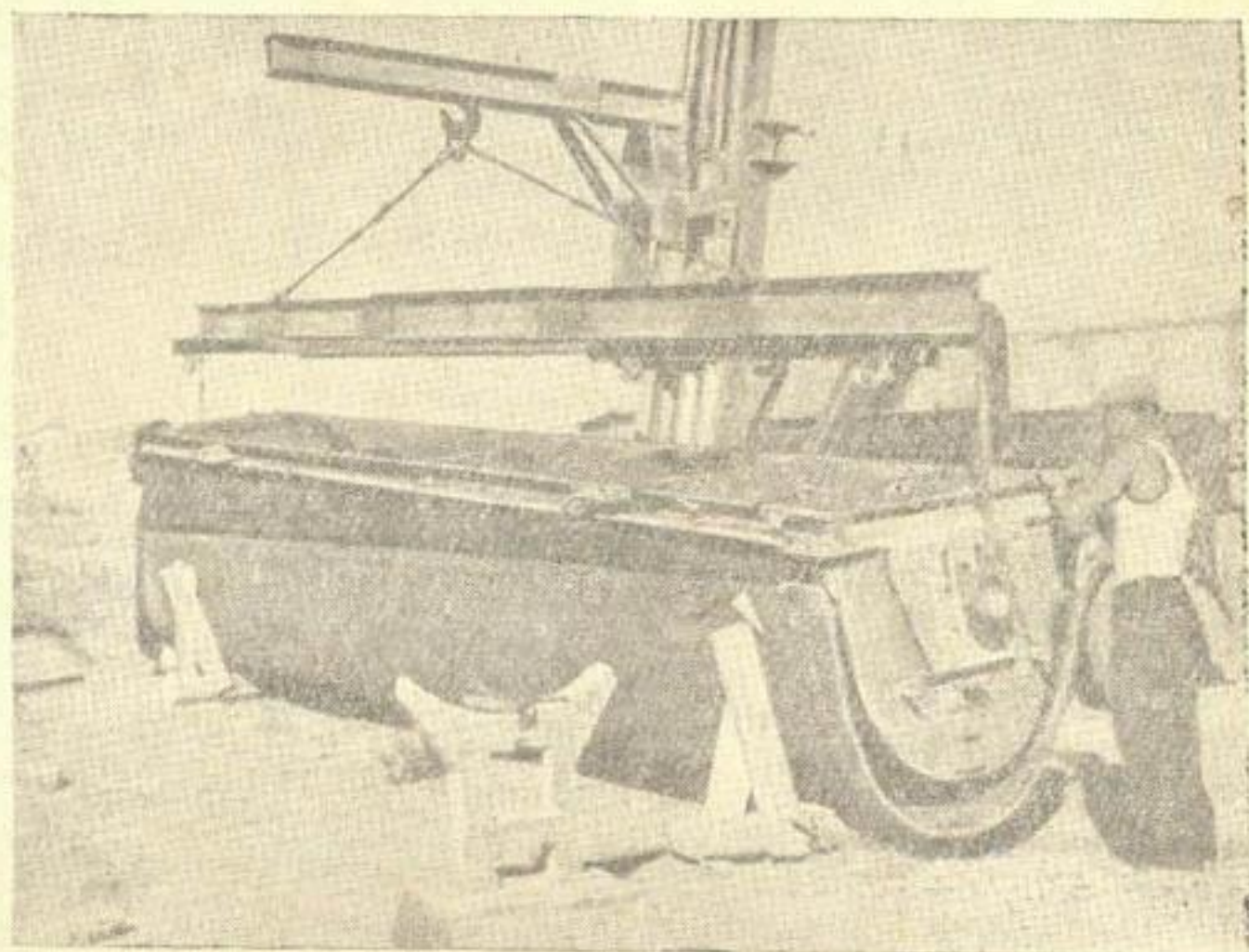


Рис. 5. Распалубка армоцементного лотка.

6) при включении полигона в состав завода сборного железобетона нужно предусмотреть возможность использования подсобных цехов завода.

Мы рассмотрим полигоны со стандовой и конвейерной схемой производства пространственных армоцементных деталей (лотков).

#### ПОЛИГОН СО СТАНДОВОЙ СХЕМОЙ ПРОИЗВОДСТВА

На основании лабораторных исследований технологии изготовления пространственных армоцементных конструкций была разработана схема открытого станда для изготовления армоцементных лотков (рис. 6).

Станд представляет собой бетонную или загравируемую площадку размером  $340 \times 54$  м, по оси которой прокладывают узкоколейный железнодорожный путь. По этому пути движется тележка с установленными на ней четырьмя цемент-пушками и бункером для сухой смеси.

Вдоль железнодорожной колеи располагают все коммуникации полигона: линию электропередачи, напорный воздухопровод, водопровод, возможен и паропровод.

С обеих сторон пути устанавливают металлические поддоны, на которых изготавливаются армоцементные лотки.

При обслуживании станда используются подсобные цеха существующего завода.

Сухую смесь к цемент-пушкам подвозят автопогрузчиком, электроэнергию, сжатый воздух и воду подключают через стояки, расположенные по длине полигона через 40 м.



Изготовление армоцементных лотков торкретированием осуществляют таким образом: вначале сопловщики торкретируют первый слой бетона на металлическом поддоне, после чего переходят ко второму поддону; в это время на первый устанавливают с помощью автокрана арматурный каркас. Затем сопловщики возвращаются вновь к первому поддону и торкретируют второй слой бетона, а на втором поддоне в это время устанавливают и закрепляют арматурный каркас и т. д. По мере изготовления лотков тележка с цемент-пушками передвигается по полигону, по окончании формирования лоток окрашивают раствором битума.

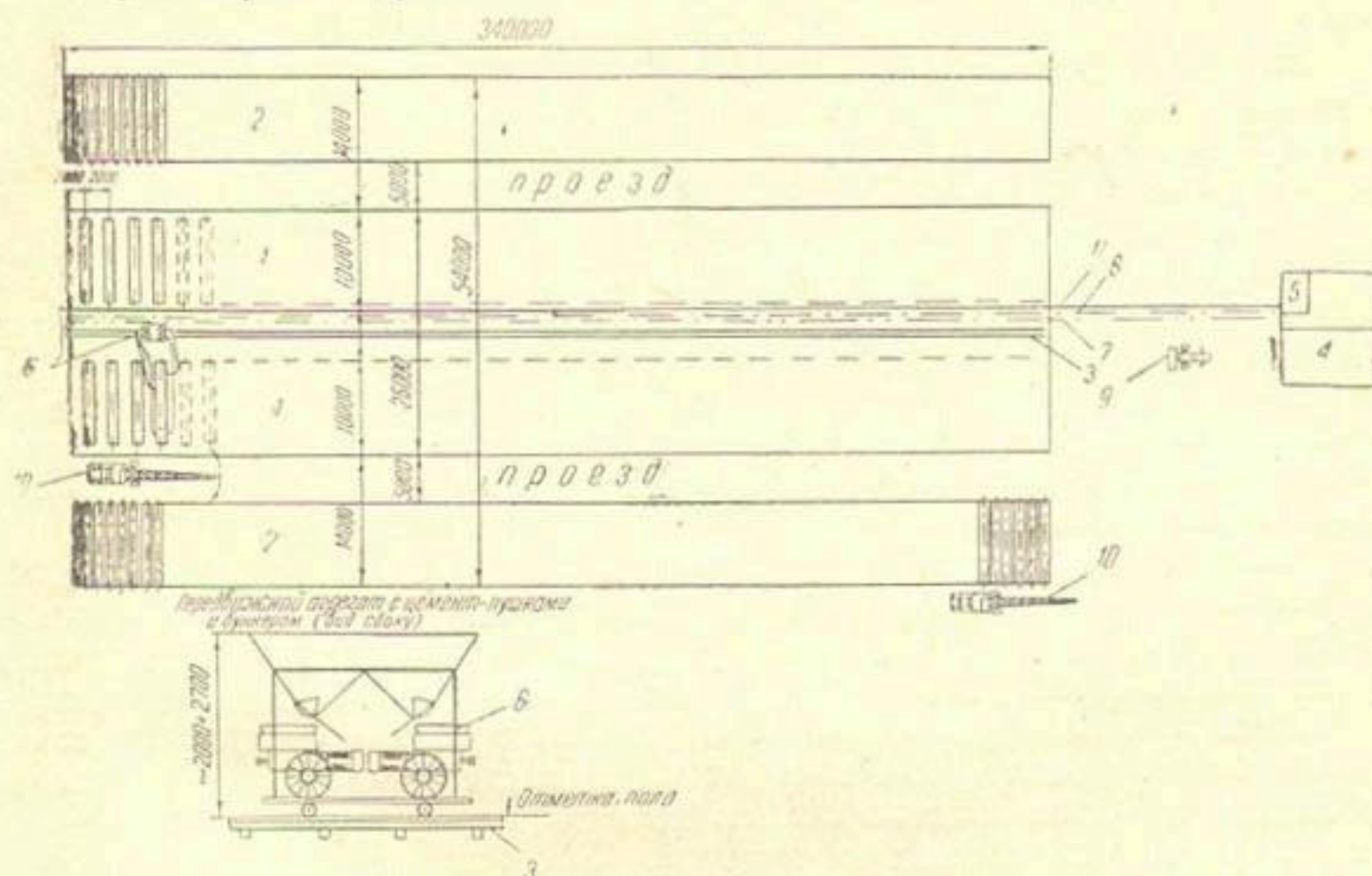


Рис. 6. Технологическая схема станда для производства армоцементных лотков (размеры в миллиметрах):

1—площадка для изготовления лотков; 2—склад готовой продукции; 3—железнодорожный путь узкой колеи; 4—бетоносмесительный узел; 5—компрессорная; 6—передвижной агрегат с цемент-пушками и бункерами; 7—водопровод; 8—воздуховод; 9—автопогрузчик с ковшом; 10—автокраны марки К-32 и К-51; 11—линия электропередачи 380/220 в.

Выдерживание лотков до набора бетоном распалубочной прочности происходит в естественных температурных условиях или с применением пропаривания.

Размеры станда рассчитаны из условия набора бетоном 70% марочной прочности при естественных температурах в течение четырех суток и производительности 28 лотков в смену при работе полигона в одну смену.

В процессе проектирования было установлено, что преимуществами станда являются:

- 1) простота конструкции и низкая стоимость;
- 2) возможность быстрой переналадки на выпуск другого вида пространственных армоцементных конструкций;
- 3) возможность изготовления практически неограниченных по длине армоцементных элементов;
- 4) отсутствие перемещения металлических поддонов или матриц по технологическому циклу, что позволяет делать их облегченной конструкции и эксплуатировать длительное время без ремонта.

К недостаткам этой схемы станда следует отнести:



1) отсутствие возможности полной механизации и автоматизации процесса торкретирования;

2) невозможность изготовления лотков днем вследствие нагревания в летние дни металлических поддонов до температуры  $+50, +60^{\circ}\text{C}$ , вызывающего быстрое высыхание первого слоя бетона.

Эта схема может применяться при строительстве приобъектных полигонов пространственных армоцементных конструкций или полигонов с большой номенклатурой армоцементных деталей.

### ПОЛИГОН С КОНВЕЙЕРНОЙ СХЕМОЙ ПРОИЗВОДСТВА

В результате производственных исследований технологии массового производства армоцементных лотков была разработана технологическая схема полигона по изготовлению 25 армоцементных лотков за смену в совхозе № 1 Главголодностепстроя (рис. 7).

Производство лотков предусматривается по конвейерной схеме.

Полигон предназначен для выпуска раструбных армоцементных лотков высотой 600, 800 и 1000 мм, длиной 8 м, на максимальный расход воды соответственно: 0,5; 1,0 и 2,8 м<sup>3</sup>/сек.

Голодностепстрой поставил условием, чтобы полигон был самостоятельным предприятием. Организация такого предприятия по производству армоцементных лотков в совхозе имеет свои положительные и отрицательные стороны.

Изготовление лотков в непосредственной близости от места их монтажа позволяет значительно сократить дальность перевозки лотков с 150 до 10—20 км и соответственно уменьшить стоимость транспортных расходов на 1 пог. км лотковой сети с 2370 руб. до 145 с учетом снижения веса армоцементных лотков. Однако постройка полигона как самостоятельного предприятия в необжитом месте вызовет трудности в организации производства лотков и повысит стоимость его за счет строительства подсобных помещений. Это подтвердилось практикой проектирования и строительства этого полигона.

Приводим описание строительной и технологической частей полигона, а также расчет требующегося количества материалов и оборудования для его работы.

Полигон не имеет капитальных сооружений. Его оборудование может быть легко демонтировано и установлено в другом месте.

Все основные технологические процессы по изготовлению лотков производятся под сборно-разборочными навесами. На зимний период предусмотрен комплект щитов из асбофанеры, которыми можно обшивать навесы с обеих сторон. Навес над столами для вязки арматуры по продольной оси имеет высоту 4,5 м и опирается на металлические стойки, установленные через 4 м. Поверху стойки связывают прогонами. На прогоны укладывают наклонные стропила, по которым настилают обрешетку; на нее укладывают волнистые асбоцементные листы. Навес односкатный, размером в плане 6 × 29 м. Расчетная нагрузка на кровлю 150 кг/м<sup>2</sup>.

Навес над формовочной линией такой же конструкции и делится на два отсека, каждый из которых размером в плане 6 × 25 м и высотой 3 м (по продольной осевой линии).

Высота навеса над бетоносмесительным отделением, где готовится сухая смесь для цемент-пушек, равна 5 м, размеры в плане — 4 × 8 м.

Над складами сетки и цемента устраиваются легкие навесы размером в плане 4 × 5 м. Над компрессорами размер навеса в плане 4 × 6 м.



Всю территорию полигона под навесами, а также места пропаривания и складирования лотков гравируют или асфальтируют.

Для передвижения поддонов укладывают двухколейный железнодорожный путь с шириной колеи 1000 мм. Длина пути 150 м. По концам его имеются стрелочные переводы с тупиками для перегона пустого поддона с вагонеткой на путь технологической нитки или на путь возврата пустых поддонов.

В целях удобства работы по торкретированию лотков в формовочном цеху железнодорожный путь прокладывают на 50 см ниже поверхности пола. Откосы углубления выстилают железобетонными плитками.

Место для пропаривания (или естественного выдерживания в летнее время) лотков представляет ровную площадку, к которой подведен паропровод.

На складе лотков устанавливают специальные деревянные лежни с углублениями для лотков.

Бетоносмесительный узел для приготовления сухой смеси выполняется по двухступенчатой схеме, что позволяет значительно снизить высоту и упростить конструкцию помещения.

Склад цемента делается ямного типа. Цемент к складу подвозится на автосамосвалах и подается в бункер шнеком длиной 6 м.

Склад песка представляет открытую траншею, в которую выгружают песок, подвозимый автомашинами. Стенки траншеи облицовывают бетонными плитами. В бункер песок подается ленточным транспортером.

Бункеры цемента и песка имеют размеры в плане  $1,5 \times 1,5$  м и высоту 2,5 м. Под бункерами устанавливают дозаторы. Загруженные бункеры обеспечивают работу полигона в течение 2—3 час. В верхней части бункера для песка устанавливают вибросито, на котором отсеивают фракции крупнее 5 мм. Для сбора фракций песка крупнее 5 мм установлен специальный бункер емкостью  $1,5 \text{ м}^3$  с течкой в нижней части. Из бункера отсеянные фракции отвозят автомашиной. Отдозированные материалы подают в бетономешалку скиповым подъемником. Приготовление сухой смеси производится в бетономешалке емкостью 250 м.

Оборудование полигона, кроме поддонов, серийно выпускается нашей промышленностью.

Разматывание, чистку, правку и резку арматурной стали производят на станке С-338. Вязку сеточных каркасов осуществляют на двух столах размером  $2,10 \times 8$  м.

Готовые сеточные каркасы переносят и устанавливают на поддон с помощью электрического тельфера грузоподъемностью  $Q = 0,5 \text{ т}$ , передвигающегося по монорельсу, смонтированному на высоте 4 м.

Для готовой сухой смеси установлен бункер емкостью  $1,0 \text{ м}^3$ . В нижней части бункера имеется пять течек, четыре из которых предназначены для питания четырех цемент-пушек С-320, а пятая — для питания шнека. Все течки имеют заслонки. На стенку бункера крепится вибратор.

Транспортирование сухой смеси к двум цемент-пушкам, работающим на посту торкретирования защитного слоя лотка, производится шнеком диаметром 20 см, длиной 20 м, который подает сухую смесь в бункер емкостью  $0,5 \text{ м}^3$  с двумя течками. Для торкретирования установлено шесть работающих цемент-пушек С-320 и имеются две резервные.

Необходимо отметить, что из-за пульсации струи сухой смеси, возникающей в связи с прерывностью поступления смеси из шлицевого



дозатора цемент-пушки в материальный шланг, наблюдается неравномерное ее смачивание. Это значительно ухудшает однородность бетона в конструкции. Для ликвидации этого недостатка взамен цемент-пушек могут быть использованы прямоточные растворонасосы с пневмоподачей раствора по шлангу системы НИИМосстроя. Эта замена не вызовет изменений в принятой технологической схеме полигона и не потребует установки нового технологического оборудования.

Обеспечение цемент-пушек сжатым воздухом осуществляется электрическим компрессором производительностью  $20 \text{ м}^3/\text{сек}$  при давлении  $3\text{—}3,5 \text{ атм}$  или двумя компрессорами ПКС-10.

При работе полигона с пропариванием изготовленных лотков необходимо иметь 30 металлических поддонов.

Для передвижения вагонеток с поддонами по технологической нитке устанавливают лебедку с бесконечным тросом, которая включается с центрального пульта и через каждые 15 мин. передвигает поддоны на следующий пост. Возврат вагонеток с пустыми поддонами производится электрокаром на железнодорожном ходу.

Место для пропаривания лотков оборудовано паропроводом со стоянками через 2,5 м для индивидуальной пропарки лотков. Пар вырабатывается установленным на полигоне паровозом. Снятие поддонов с изготовленными лотками с вагонеток и установка пустых поддонов на вагонетки осуществляется автомобильным краном К-51 при вылете стрелы 8 м.

Распалубку лотков и погрузку их в лотковозы производят с помощью второго крана К-51, оборудованного траверсой-кантователем.

На месте распалубки лотков имеется сварочный аппарат ТС-500 для приварки стяжек к стенкам лотков.

**Технологическая часть.** Изготовление армоцементных лотков способом торкретирования производится на формовочной линии, работающей по принципу пульсирующего конвейера.

Для специализации рабочих и оборудования конвейер разбит на пять постов:

- 1) чистки и смазки поддонов;
- 2) торкретирования первого слоя бетона;
- 3) установки арматурного каркаса;
- 4) торкретирования второго слоя бетона;
- 5) зачистки посадочных мест лотка и покрытия битумом.

В соответствии с результатами производственных исследований количество оборудования и обслуживающего персонала подобрано таким образом, чтобы на каждую операцию вместе с передвижкой поддона затрачивалось 15 мин.

Потребность в рабочей силе для полигона с разбивкой по профессиям указана в подписи к рис. 7.

На первом посту чистят и смазывают поддон; здесь занято двое рабочих III разряда. Смазку поддона производят разогретым отработанным машинным маслом через краскопульт.

На посту торкретирования первого слоя бетона работают два сопловщика IV разряда, которые обслуживают две цемент-пушки С-320. Для облегчения работы торкретчиков сопло подвешивается на пружине к ролику, движущемуся по натянутому под верхом навеса проводу.

Пост установки арматурного каркаса обслуживается тремя рабочими III—IV разряда. Арматурный каркас подается к месту установки электротельфером.

Арматурный каркас к поддону крепят проволочными затяжками, устанавливаемыми через 0,8 м по длине поддона.



Пост торкретирования второго слоя обслуживается четырьмя сопловщиками IV—V разряда, работающими на четырех цемент-пушках одновременно, по два человека с каждой стороны поддона.

На посту отделки производится заглаживание поверхности посадочного места лотка и раструба с помощью ручного или механизированного инструмента. Соответствие заглаженной поверхности проектному очертанию проверяется шаблоном.

По окончании отделки поверхность свежензготовленного лотка покрывают с помощью краскопульта раствором битума в бензине. Пост обслуживается двумя рабочими. Затем поддон со свежензготовленным лотком вывозят из-под навеса, поднимают автокраном и устанавливают для пропаривания бетона. На освободившуюся вагонетку краном устанавливают пустой поддон, и она отправляется обратно по обводному пути.

Термовлажностная обработка производится путем пуска пара во внутреннюю часть поддона при температуре  $85 \div 90^{\circ}\text{C}$  до набора бетоном лотка прочности  $300\text{—}350 \text{ кг/см}^2$  по режиму 1—3—1 (1 час — подъем температуры, 3 часа — изотермический прогрев, 1 час — остывание). Этот режим обеспечивает один оборот поддона за одну смену.

По окончании пропаривания с помощью траверсы-кантователя поддон с лотком кантуют на  $180^{\circ}$  и устанавливают в специальный кондуктор для распалубки. После распалубки поддон ставят на пустую вагонетку. К лотку приваривают стяжки и он грузится в лотковоз.

Для обеспечения бесперебойной работы полигона при изготовлении 25 армоцементных лотков высотой 600 и 800 мм, длиной 8 м в смену потребуется следующее количество материалов:

| Материал                             | Потребность |              |
|--------------------------------------|-------------|--------------|
|                                      | на 1 лоток  | на 25 лотков |
| Цемент, т                            | 0,3         | 7,5          |
| Песок, м <sup>3</sup>                | 0,6         | 15           |
| Сетка № 8—10, м <sup>2</sup>         | 33          | 830          |
| Арматурная сталь диаметром 4—6 мм, т | 0,015       | 0,375        |

Разработанная технологическая схема полигона армоцементных лотков в Садсовхозе № 1 (станция Тазтубе) была утверждена Главголодностепстроем и материалами исследований по конструкциям лотков была принята за основу при составлении проекта «Экспериментального полигона армоцементных лотков на ст. Тазтубе Главголодностепстроя» проектным институтом «Узгипростройиндустрия».

Сменная производительность запроектированного полигона — 25 лотков, годовая — 123 тыс. пог. м армоцементных лотков. Учитывая, что для орошения 1 га земли необходимо 20 пог. м лотков, выпускаемой в год продукции полигона будет достаточно для орошения 6 тыс. га.

Стоимость полигона составляет 256,2 тыс. руб., в том числе (тыс. руб.):

|                                                                     |       |
|---------------------------------------------------------------------|-------|
| Объекты основного производственного назначения                      | 42,6  |
| Оборудование и его монтаж                                           | 85,7  |
| Подсобные предприятия, объекты бытового назначения и прочие затраты | 127,9 |

Предполагается, что после эксплуатации опытного полигона и усовершенствования технологии производства лотков, институтом «Узгипростройиндустрия» будет составлен типовой проект межведомственного полигона по изготовлению пространственных армоцементных конструкций способом торкретирования для ирригационного, промышленного и культурно-бытового строительства.



В. Н. РЫБАКОВ

## ИСПЫТАНИЯ ОПЫТНОГО СТРУЙНОГО АППАРАТА ДЛЯ ТОРКРЕТИРОВАНИЯ

В строительстве для повышения прочности бетонных поверхностей применяют торкретирование: сухая смесь цемента с песком с помощью цемент-пушки вводится в резиновый шланг и струей сжатого воздуха по шлангу подается к месту укладки; в конце шланга сухая смесь смачивается водой, подаваемой по другому шлангу; частицы смоченной массы вылетают из сопла цемент-пушки со скоростью 100—120 м/сек и, ударяясь о бетонную поверхность, образуют на ней плотный слой торкрет-бетона. Торкретирование повышает водонепроницаемость, прочность, упругость, износостойкость, огнестойкость и кислотоупорность бетона.

В лаборатории сборных конструкций ИВПиГ АН УзССР цемент-пушка нашла применение в качестве механизма для изготовления способом торкретирования тонкостенных армоцементных конструкций.

Для процесса торкретирования применяют цемент-пушки со шлюзовым барабаном, которые имеют существенные недостатки:

- 1) отсутствие равномерного смачивания и распределения смеси на торкретируемой поверхности вследствие пульсирующего режима работы, который также вызывает образование в шланге пробок из сухой смеси;
- 2) невозможность регулирования производительности цемент-пушки;
- 3) сложность привода и быстрый износ уплотнительных резиновых дисков.

Перечисленные недостатки ограничивают возможность применения цемент-пушек для изготовления тонкостенных конструкций. В связи с этим в лаборатории сборных конструкций ИВПиГ АН УзССР нами были разработаны схема и проект опытного механизма для торкретирования, работающего по принципу струйного аппарата.

Струйные аппараты применяются в виде инжекторных горелок, водоструйных насосов и водоподъемников, аппаратов для пневматического транспорта жидкостей и сыпучих материалов и др.

При разработке схемы струйного аппарата для торкретирования за основу была принята схема струйного аппарата для пневмотранспорта твердых сыпучих материалов.

К группе струйных аппаратов для пневмотранспорта относятся такие аппараты, в которых в качестве рабочей среды используется упругая среда — газ, а инжектируемой средой является неупругая среда — сыпучее твердое тело или жидкость.



Струйный аппарат для пневмотранспорта твердых сыпучих материалов (рис. 1) работает следующим образом.

В приемную камеру 2 аппарата через воронку поступает сыпучий материал. Струя воздуха, выходящая с большой скоростью из рабочего сопла 1, увлекает за собой материал и передает ему часть своей кинетической энергии. Смесь воздуха и сыпучего материала поступает в камеру смешения 3, где происходит выравнивание поля скоростей движущегося потока и частичное повышение давления. Затем эта смесь поступает в диффузор 4, где происходит дальнейшее повышение давления движущегося потока.

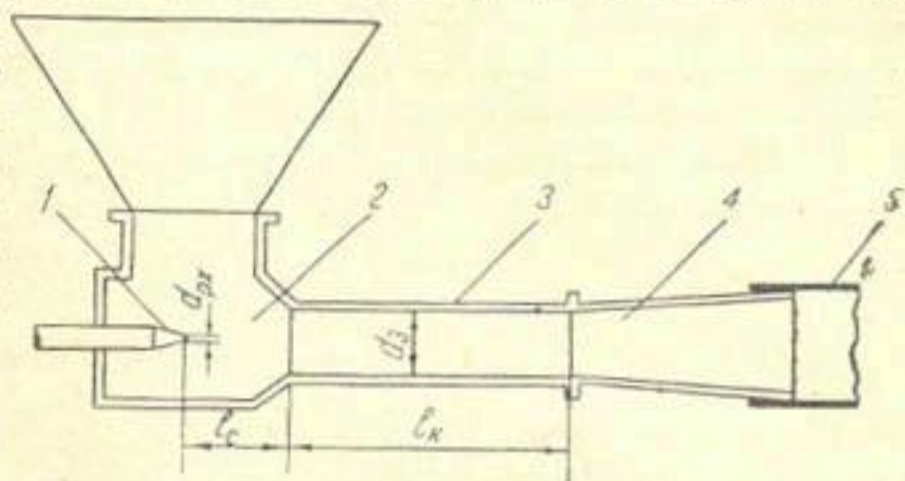


Рис. 1. Схема струйного аппарата для пневмотранспорта сыпучих материалов:

1—рабочее сопло; 2—приемная камера; 3—камера смешения; 4—диффузор; 5—шланг.

Из диффузора поток воздуха с сыпучим материалом поступает под давлением в шланг 5 для дальнейшей транспортировки.

Опытный струйный аппарат для торкретирования отличается от струйного аппарата для пневмотранспорта тем, что у него имеется шнек, который служит для подачи смеси в приемную камеру и является дозатором, а в струю воздуха с песком и цементом подается вода (рис. 2).

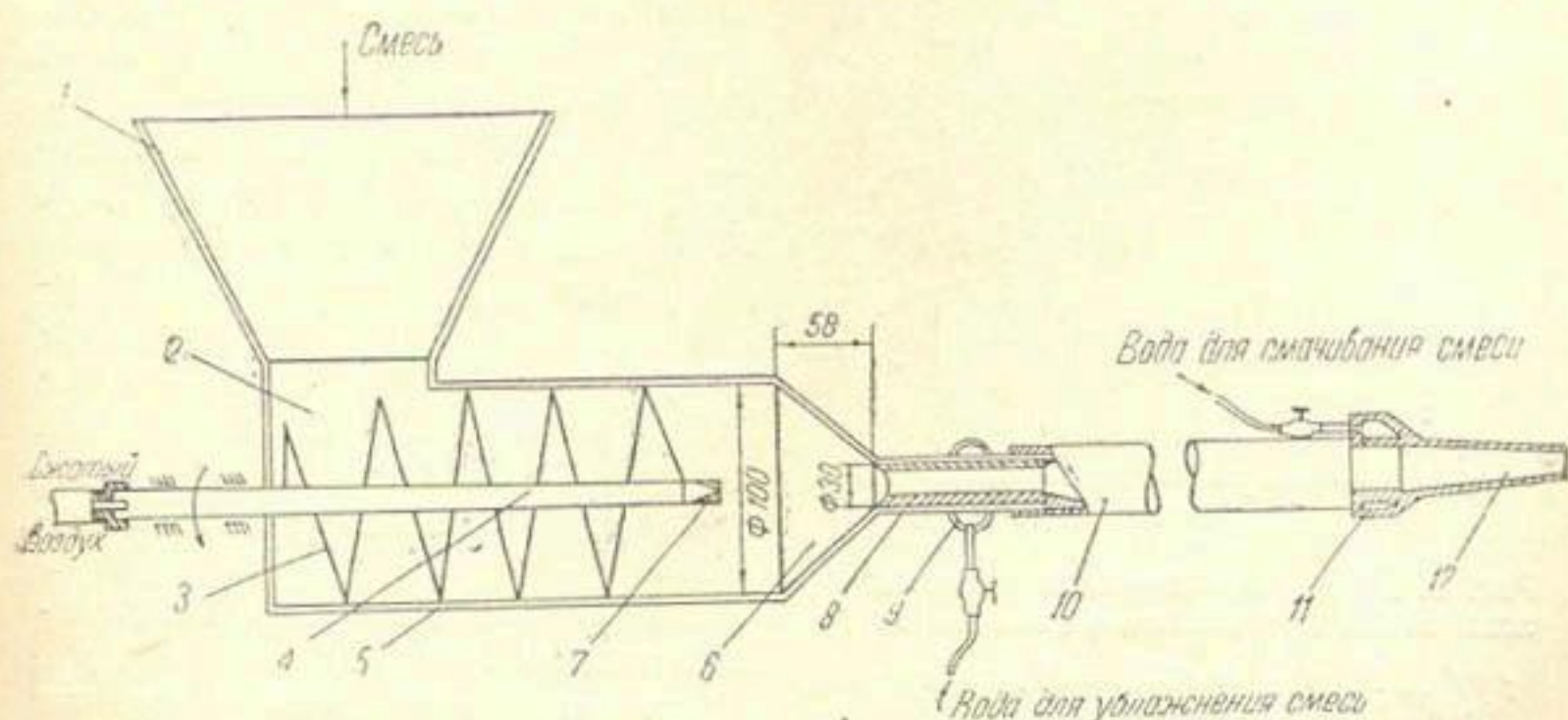


Рис. 2. Схема струйного аппарата для торкретирования:

1—бункер; 2—входная камера; 3—шнек; 4—полый вал шнека; 5—кожух шнека; 6—приемная камера; 7—рабочее сопло; 8—камера смешения; 9—кольцо ввода воды для увлажнения; 10—шланг; 11—кольцо ввода воды для смазывания; 12—форсунка.

Шнек 3, вращающийся в кожухе 5, захватывает смесь из входной камеры 2, куда она поступает из бункера 1, и непрерывно подает ее в приемную камеру 6. Сжатый воздух поступает через полый вал шнека 4 к рабочему соплу 7. Вырываясь оттуда с большой скоростью, он разрыхляет смесь и увлекает ее за собой, передавая ей часть своей кинетической энергии.

Воздух и смесь песка с цементом поступают в камеру смешения 8, где происходит выравнивание поля скоростей движущегося потока и частичное повышение давления. На конце камеры смешения находится кольцо 9 ввода воды для увлажнения смеси. Увлажненная смесь посту-



пает в диффузор и шланг 10, где происходит дальнейший рост давления. Смесь по шлангу подается к форсунке.

На конце шланга имеется форсунка 12 с кольцом 11, в котором увлажненная смесь смачивается водой, подводимой под давлением по другому шлангу до значения  $v/c = 0,25-0,32$ . Смоченная масса песка и цемента, вылетая из форсунки, направляется на формируемую поверхность, где укладывается в виде слоя раствора.

После изготовления опытного образца струйного аппарата по описанной выше схеме в лаборатории провели ряд опытов для опре-

деления эффективности его работы при использовании аппарата в качестве торкретирующего механизма. Для опытов взяли струйный аппарат с диаметром камеры смешения  $d_c = 30$  мм.

В процессе опытов необходимо было определить:

1) оптимальный диаметр рабочего сопла  $d_{px}$  и расстояние его  $l_c$  от начала камеры смешения в зависимости от производительности аппарата;

2) степень равномерности процесса торкретирования струйным аппаратом;

3) качество торкретирования струйным аппаратом;

4) производительность опытного струйного аппарата для торкретирования.

Поскольку аппарат для торкретирования работает по принципу струйного, то наибольшее давление всасывания в рабочей камере определяет и наибольшую производительность аппарата.

Величина давления всасывания зависит:

а) от отношения площади поперечного сечения камеры

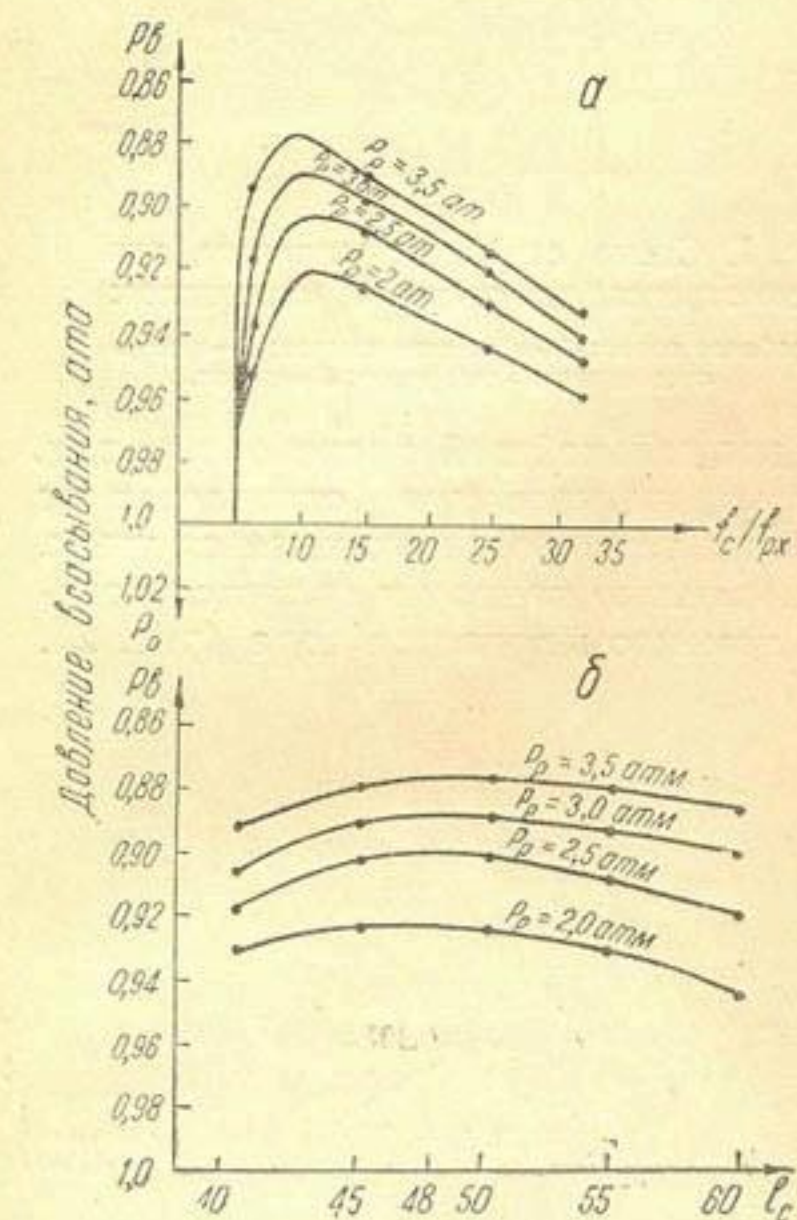


Рис. 3. График зависимости давления всасывания при различных значениях

$f_c/f_{px}$ ,  $P_p$  и  $l_c = \text{const} = 48$  мм (а)  
и  $P_p$ ,  $l_c$  и  $f_c/f_{px} = \text{const} = 10$  (б).

смешения к площади поперечного сечения рабочего сопла  $\frac{f_c}{f_{px}}$ ;

б) от расстояния между критическим сечением сопла и началом камеры смешения  $l_c$ ;

в) от величины рабочего давления воздуха  $P_p$ .

Оптимальную величину всасывания  $P_b$  для опытного аппарата определяли при постоянном диаметре камеры смешения  $d_c = 30$  мм и рабочем давлении  $P_1 = 2$  атм,  $P_2 = 2,5$  атм,  $P_3 = 3$  атм и  $P_4 = 3,5$  атм. Испытания проводили при диаметрах рабочих сопел:  $d_1 = 5$  мм;  $d_2 = 6$  мм;  $d_3 = 10$  мм;  $d_4 = 15$  мм и  $d_5 = 20$  мм.

При проведении опытов имелась возможность изменять расстояние между соплом и началом камеры смешения  $l_c$ . В приемной камере аппарата было отверстие, куда вставлялась трубка, идущая к пьезометру, по показанию которого и определяли давление.



Результаты испытаний даны на рис. 3. Как видно из рисунка при принятых исходных данных лучшими будут значения  $\frac{f_c}{f_{px}} \approx 10$ , сопло с диаметром  $d_c = 9,5$  мм и расстоянием критического сечения сопла до начала камеры смешения, равным  $l_c = 48$  мм.

Все следующие опыты проводили при найденных выше наилучших значениях  $l_c$  и  $d_{px}$ .

Для определения равномерности движения струи в струйном аппарате при торкретировании было изготовлено специальное приспособление (рис. 4).

К раме 1 на шарнирах 2 подвешивали квадратный стальной лист 3. Форсунка струйного аппарата 4 закреплялась неподвижно перпендикулярно к плоскости листа. При ударе струи о лист последний отклонялся под ее давлением на определенный угол. Для определения равномерности давления струи 5 имелся шарнирный указатель 6 с закрепленным на его конце карандашом 7.

Колебания листа под действием струи передавались указателю 6, который карандашом по движущейся сетке 8 чертил кривую колебательных движений листа. Опыт проводили без смачивания струи. При работе сопла цемент-пушки лист резко колебался от толчков струи при ее пульсации, а в опытах со струйным аппаратом для торкретирования резких колебательных движений листа не наблюдалось, и карандаш записывал только виброграмму колебаний листа.

Таким образом, было установлено, что у опытного струйного аппарата для торкретирования отсутствует пульсирующий режим работы струи.

Для определения качества мелкозернистого бетона, получаемого при помощи струйного аппарата для торкретирования, изготавливали и испытывали контрольные кубики, размером  $7 \times 7 \times 7$  см. Такие же кубики готовили и с помощью цемент-пушки. Испытание кубиков на сжатие показало, что кубики, изготовленные при помощи струйного аппарата для торкретирования, выдерживают давление на 10—15% больше кубиков, изготовленных при помощи цемент-пушки, что следует отнести за счет более равномерного смачивания сухой смеси.

Производительность струйного аппарата для торкретирования определяли после того, как для опытного аппарата была найдена наибольшая величина всасывания, так как при наибольшей величине всасывания должна быть и наибольшая производительность аппарата.

Опыт проводили при различных оборотах шнека:

$n_1 = 50$  об/мин,  $n_2 = 100$  об/мин,  $n_3 = 150$  об/мин,  $n_4 = 200$  об/мин,  $n_5 = 250$  об/мин.

Сухую смесь насыпали в бункер и при помощи секундомера определяли время, необходимое для расходования  $0,2$  м<sup>3</sup> смеси из бункера при различных значениях  $n$ .

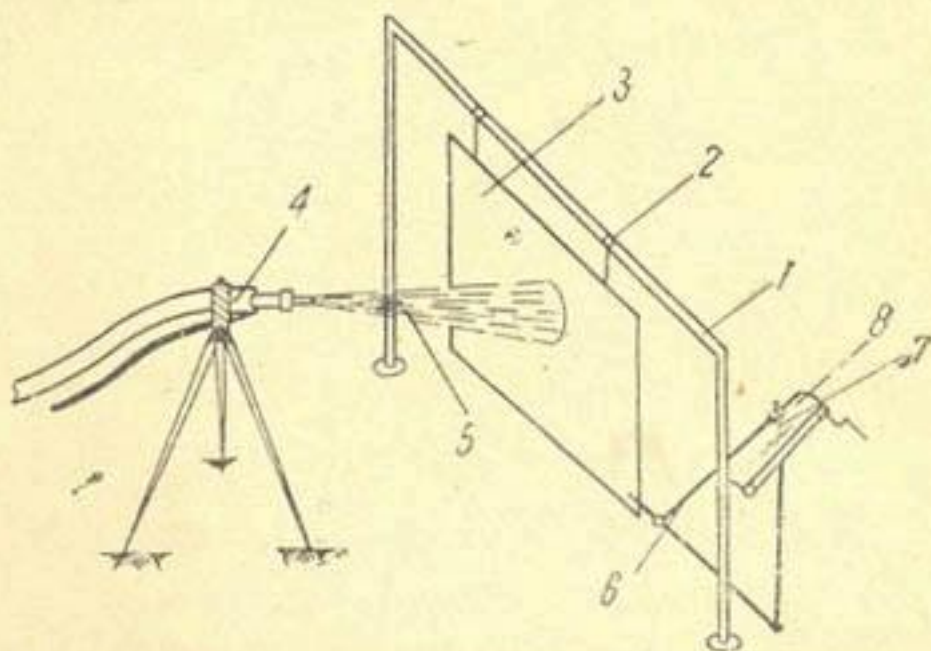


Рис. 4. Схема опыта для определения равномерности режима работы струи:

1—рама; 2—шарниры; 3—лист; 4—форсунка 5—струя воздуха с песком; 6—указатель; 7—карандаш; 8—миллиметровка.



Производительность опытного струйного аппарата видна из рис. 5. Максимальная производительность аппарата, полученная в опытах, равнялась  $1,2 \text{ м}^3/\text{час}$  при  $n = 220 \text{ об/мин}$ . При  $n$ , большем  $220 \text{ об/мин}$ , движение шнека прекращалось вследствие того, что воздушная струя не успевала полностью за- бирать смесь, поступающую в приемную камеру.

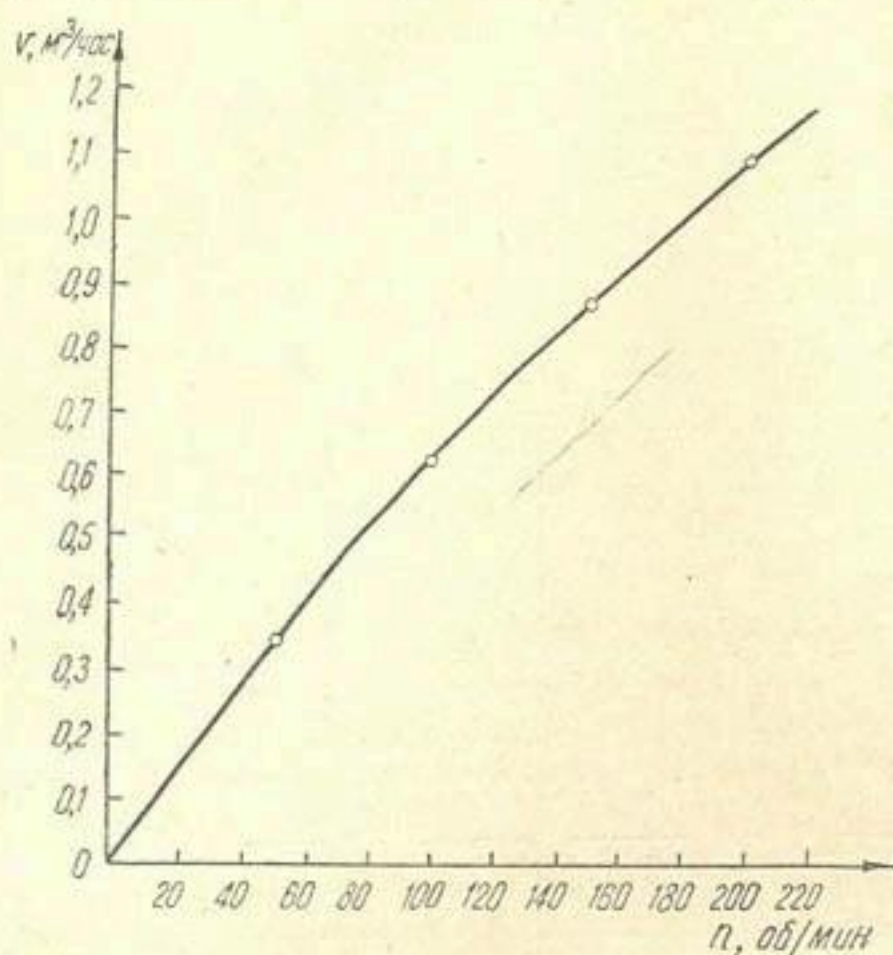


Рис. 5. График зависимости производительности опытного струйного аппарата от числа оборотов шнека,  $l_c = 48$ ,  $d_{px} = 9,5 \text{ мм}$ .

Цемент-пушка работает с песком определенной влажности. Несмотря на это, наблюдается появление цементной пыли при выходе смеси из форсунки и частое образование пробок в транспортирующем шланге. Распыление цемента объясняется тем, что вода, подводимая в форсунку цемент-пушки, не успевает равномерно смачивать всю смесь. В целях устранения этого явления в струйном аппарате для торкретирования небольшое количество воды, необходимое для увлажнения смеси, вводили в камеру смешения через кольцо, расположенное в начале транспортирующего шланга,

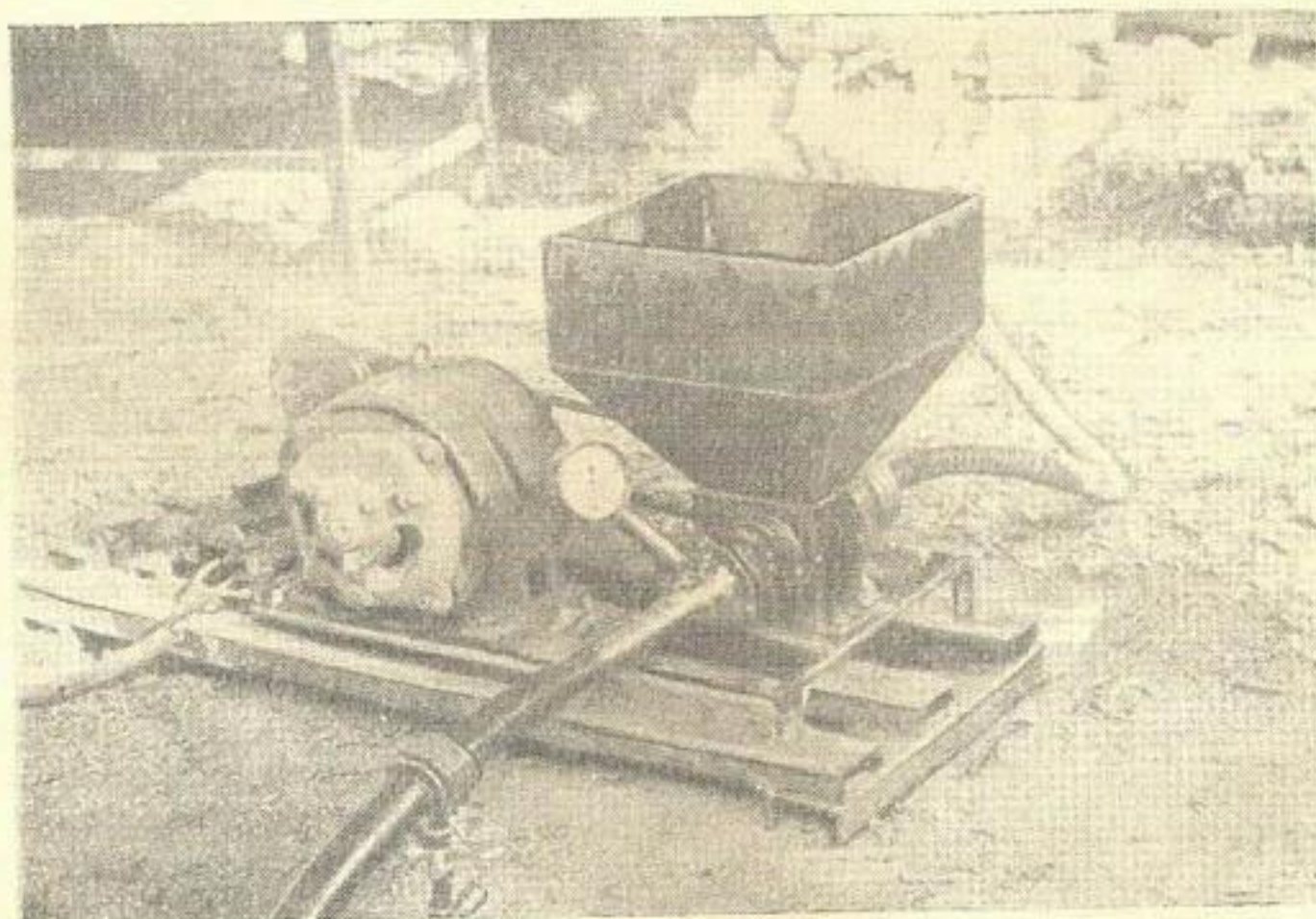


Рис. 6. Опытный струйный аппарат для торкретирования.

а воду для смачивания смеси вводили в конце его. При такой схеме распределения воды распыление цемента полностью прекращается.



Опытный струйный аппарат для торкретирования имел следующие габаритные размеры: длина — 550 мм, ширина — 250 мм, высота без бункера — 206 мм, вес — 70 кг (рис. 6).

Были также проведены проверочные расчеты производительности шнека.

Производительность шнека определяли по формуле

$$Q_{\tau} = \frac{\pi(D^2 - d^2) \lambda \cdot s \cdot n \cdot 60}{4} \text{ м}^3/\text{час},$$

где  $Q_{\tau}$  — производительность шнека,  $\text{м}^3/\text{час}$ ;

$D = 0,1 \text{ м}$  — диаметр винтовой поверхности,  $\text{м}$ ;

$d = 0,042$  — диаметр вала шнека,  $\text{м}$ ;

$\lambda = 0,3$ , — коэффициент заполнения желоба шнека для абразивного материала;

$s = 0,05 \text{ м}$  — шаг винтовой поверхности,  $\text{м}$ ;

$n$  — число оборотов шнека.

Так, например, при  $n = 100 \text{ об/мин}$  получим

$$Q_{\tau} = \frac{3,14 (0,1^2 - 0,042^2) \cdot 0,3 \cdot 0,05 \cdot 100 \cdot 60}{4} = 0,58 \text{ м}^3/\text{час}.$$

Производительность струйного аппарата для торкретирования, определенная в опытах, приближалась к расчетной. При  $n = 100 \text{ об/мин}$  она равнялась  $Q_{\tau} = 0,5 \text{ м}^3/\text{час}$ .

Следует отметить, что для более точного расчета производительности струйного аппарата для торкретирования в формулу определения производительности шнека необходимо ввести новую величину — объемный коэффициент подачи струйного аппарата для торкретирования —  $k_{с.а.}$ .

Такой коэффициент определяется отношением фактической производительности к производительности, вычисленной по формуле. Для струйного аппарата со шнеком в данном случае он равен

$$K_{с.а.} = \frac{Q_{ап}}{Q_{\tau}} = \frac{0,5}{0,58} = 0,86.$$

Таким образом, производительность струйного аппарата для торкретирования может быть выражена зависимостью.

$$Q_{с.а.} = \frac{\pi(D^2 - d^2) \cdot \lambda \cdot s \cdot k_{с.а.} \cdot n}{4} \text{ м}^3/\text{час}.$$

При проектировании и испытании струйных аппаратов для торкретирования приведенное значение  $k_{с.а.}$  необходимо будет уточнить.

### ВЫВОДЫ

1. Для торкретирования могут быть использованы струйные аппараты по предложенной конструктивной схеме. Они обеспечивают равномерный режим струи, подающей мелкозернистый бетон на торкретируемую поверхность.

2. Производительность аппарата может регулироваться в широких пределах в зависимости от числа оборотов подающего смесь шнека.

3. Простота конструкции и малый вес по сравнению с цемент-пушками позволяют считать необходимым дальнейшее изучение и внедрение в практику строительства струйных аппаратов для торкретирования.



Е. И. КОГАН

## ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПРОКЛАДКИ ДЛЯ ГИБКИХ ШВОВ СБОРНЫХ ОБЛИЦОВОК КАНАЛОВ

Битумные мастики для создания гибких швов в сборных облицовках, разработанные в лаборатории сборных конструкций ИВПиГ АН УзССР, используются на строительстве оросительных систем республик Средней Азии с 1957 г. Наблюдения и хронометраж рабочих операций по омоноличиванию конструкций, проведенные на строительстве оросительных систем в Таджикистане и Киргизии, позволили установить, что стоимость заполнения щелевых швов цементным раствором и битумной мастикой достигает 12% стоимости сборной облицовки. Процесс варки битумных мастик на трассе канала и заполнение ими вручную швов между плитами на откосах и дне канала представляет очень трудоемкую операцию, требующую квалифицированных рабочих.

Для склеивания в полости швов битумной мастики с поверхностью бетонных плит требуется предварительная окраска плит раствором битума в бензине.

При заполнении швов бетонные плиты должны быть обязательно сухими, иначе не происходит сцепления мастики с поверхностью плит и шов становится водопроницаемым. Это ограничивает производство монтажных работ по облицовкам в осенне-зимний период.

Попытка механизации процесса заполнения швов не дала положительных результатов.

После проведения в лаборатории исследований выяснилось, что дальнейшее усовершенствование конструкций (а следовательно, и снижение стоимости заполнения швов) возможно путем применения в швах упругих прокладок, являющихся деталями сборных облицовок.

На канале Северный Донец—Донбасс наклейка резиновых прокладок на поверхность плит и омоноличивание бетоном не дали положительных результатов. Устройство таких стыков весьма трудоемко (особенно процесс приклеивания резины к бетону) и обходится очень дорого, не обеспечивая герметичности шва.

Для конструкции гибкого шва были установлены следующие требования:

1) упругие гидроизоляционные прокладки должны равномерно распределяться и уплотняться по всему сечению шва и обеспечивать его водонепроницаемость при деформациях облицовок в период эксплуатации канала;

2) прокладки должны изготавливаться на заводах или полигонах и доставляться к месту монтажа облицовки так же, как и детали сборных облицовок;



3) стоимость шва с прокладкой должна быть меньше стоимости омоноличивания конструкций битумными мастиками.

Чтобы применение гидроизоляционных прокладок было возможным, шов должен представлять вертикальную полость, в которой прокладка в период монтажа должна сжиматься гранями плит и в таком положении фиксироваться (рис. 1).

Поскольку антифилтрационной частью гибкого шва является гидроизоляционная прокладка, она должна обладать водонепроницаемостью, пластичностью, способностью заполнить поры бетонной плиты в ее контактной зоне, долговечностью и устойчивостью против оплы-

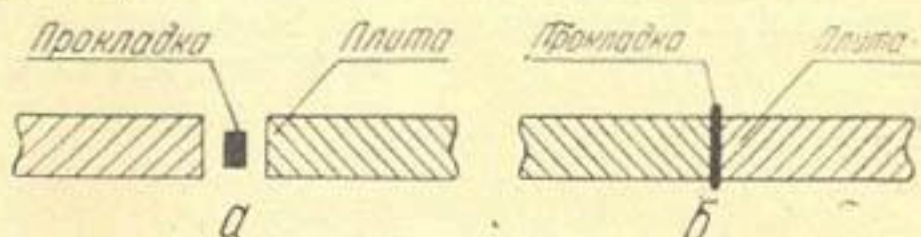


Рис. 1. Прокладка в шве до обжатия при монтаже облицовки (а) и после монтажа (б).

вания при высоких температурах в условиях жаркого климата.

Для заполнения обжатых швов в лаборатории были разработаны прокладки в виде гидроизоляционных лент. Материалами для изготовления таких лент служат нефтяные битумы марок БН-III, IV, V и минеральная вата (шлаковая вата) марки 200, применяемая в гражданском строительстве как дешевый теплоизоляционный материал. Пластичность лент повышают добавлением минеральных масел (автол, машинное масло).

В результате проведенных опытов для изготовления лент была разработана следующая технологическая схема. В разогретый при температуре 100—140°C битум при непрерывном перемешивании добавляют минеральную вату и пластификатор до получения однородной массы. Дозирование шлаковой ваты и пластификатора производят в зависимости от применяемой марки битума.

Из испытанных составов прокладок ниже приводим принятые составы для гидроизоляционных лент в зависимости от имеющихся в наличии марок битума:

| Марка битума | Содержание материала, % по весу |           |       | Температура размягчения прокладок, °C |
|--------------|---------------------------------|-----------|-------|---------------------------------------|
|              | битум                           | шлаковата | автол |                                       |
| БН-III       | 70                              | 30        | —     | 90                                    |
| БН-IV        | 48                              | 32        | 20    | Выше 90                               |
| БН-V         | 43                              | 29        | 28    |                                       |

Из приводимых данных видно, что температура размягчения таких прокладок удовлетворяет требованиям, предъявляемым к заполнителям швов в условиях жаркого климата.

Все три состава взаимозаменяемы в зависимости от имеющейся на производстве марки битума.

Испытание прокладок на водонепроницаемость проводили на специальном стенде, сконструированном для испытания швов, заполненных разными материалами.

Бетонные плиты с прокладками в швах сближали с помощью специального стяжного устройства, в которое был вмонтирован динамометр для определения величины усилия, необходимого для сжатия в шве одного погонного метра прокладки и уменьшения толщины прокладки от 2 до 1 см при изменении ее температуры от +15 до +32°C. В таком положении плиты фиксировали, а швы сверху накрывали камерами, заполненными водой, и испытывали при давлении воды  $P = 0,5 \text{ ат.}$



Фильтрации через швы, заполненные прокладками, в течение двух-трех суток не наблюдалось.

При опытах прокладка в обжатом шве и фиксаторы выполняли роль шарнира, давая возможность поворота плиты на  $15-30^\circ$ , при этом испытание на водонепроницаемость повторяли. Деформированные швы оставались водонепроницаемыми. Пластичность прокладок определяли пенетрометром Ричардсона путем погружения специаль-

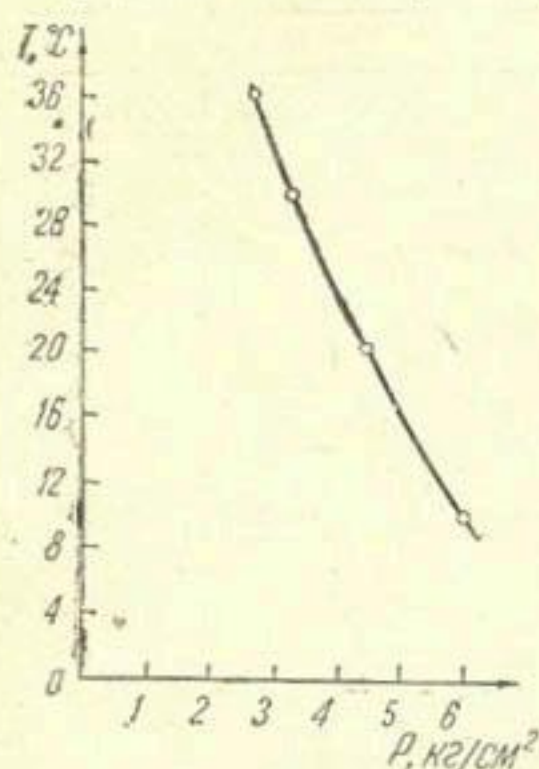


Рис. 2. График зависимости усилий для сжатия гидроизоляционной прокладки от температуры прокладки:

$T$ —температура прокладки,  
 $P$ —усилие.

ной конусной иглы с грузом в прокладку при разных ее температурах; она составляла  $21-27$  мм. При такой пенетрации лента пригодна для обжатия в швах без подогрева в пределах температуры от  $+18$  до  $+32^\circ\text{C}$ . Осмотр поверхности плит после удаления фиксаторов показал, что при такой пластичности масса прокладки, деформируясь при сжатии, целиком заполняла все поры и раковины на грани бетонной плиты и приклеивалась к ней.

Прокладки были проверены на деформацию при хранении на воздухе. Для этого их укладывали в тени и на солнце в виде лент на  $25-35$  дней. В пределах температур от  $20^\circ$  до  $37^\circ$  прокладки не деформировались.

В результате проверки установлено, что прокладки могут храниться в закрытом помещении при температуре воздуха не выше  $40^\circ\text{C}$ .

Сжимаемость битумной прокладки зависит от ее температуры и, следовательно, определяет величину усилия, необходимого для механизма, при помощи которого будет про-

изводиться обжатие прокладок в швах. Мы провели опыты по определению зависимости величины усилия, необходимого для сжатия и изменения сечения прокладки, от ее температуры. На рис. 2 приведена зависимость для прокладки, состоящей из 70% битума и БН-III и 30% шлаковой ваты. Температура воздуха, как правило, на  $8-10^\circ$  выше температуры прокладок, и первая точка кривой была взята при максимальной температуре воздуха  $+44^\circ\text{C}$ . Как видно из графика, при изменении температуры прокладки от  $+36$  до  $10^\circ\text{C}$  усилие меняется в пределах  $2,5-6$  кг/см<sup>2</sup>. Данные этой зависимости использованы при определении величины усилий для обжатия 1 пог. м прокладки в зависимости от толщины плиты.

При определении усилия сжатия следует относить его не к исходной, а к деформированной площади прокладки.

Для плит различной толщины были установлены следующие размеры исходных и деформированных сечений прокладок на битуме марки БН-III (см):

| Толщина<br>плит | Исходное сечение<br>прокладок | Деформированное сече-<br>ние прокладок | Расход материалов<br>на 1 пог. м, кг |           |
|-----------------|-------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|-----------|
|                 |                               |                                        | битум                                | шлаковата |
| 4               | $3 \times 2$                  | $4 \times 1,5$                         | 0,42                                 | 0,18      |
| 6               | $3,75 \times 2$               | $5 \times 1,5$                         | 0,63                                 | 0,27      |
| 8               | $4,50 \times 2$               | $6 \times 1,5$                         | 0,84                                 | 0,36      |
| 10              | $6 \times 2$                  | $8 \times 1,5$                         | 1,05                                 | 0,45      |

В 1961 г. на полигоне сборного железобетона совхоза № 5 в Голодной степи была уточнена технология изготовления прокладок. Про-



цесс изготовления гидроизоляционных лент состоял из следующих операций:

- 1) приготовление мастики;
- 2) смазка поверхности бетонного стенда тонким слоем глинистого раствора;
- 3) установка на стенд металлической формы из углового железа  $20 \times 20$  м и смазка стенок формы автолом;

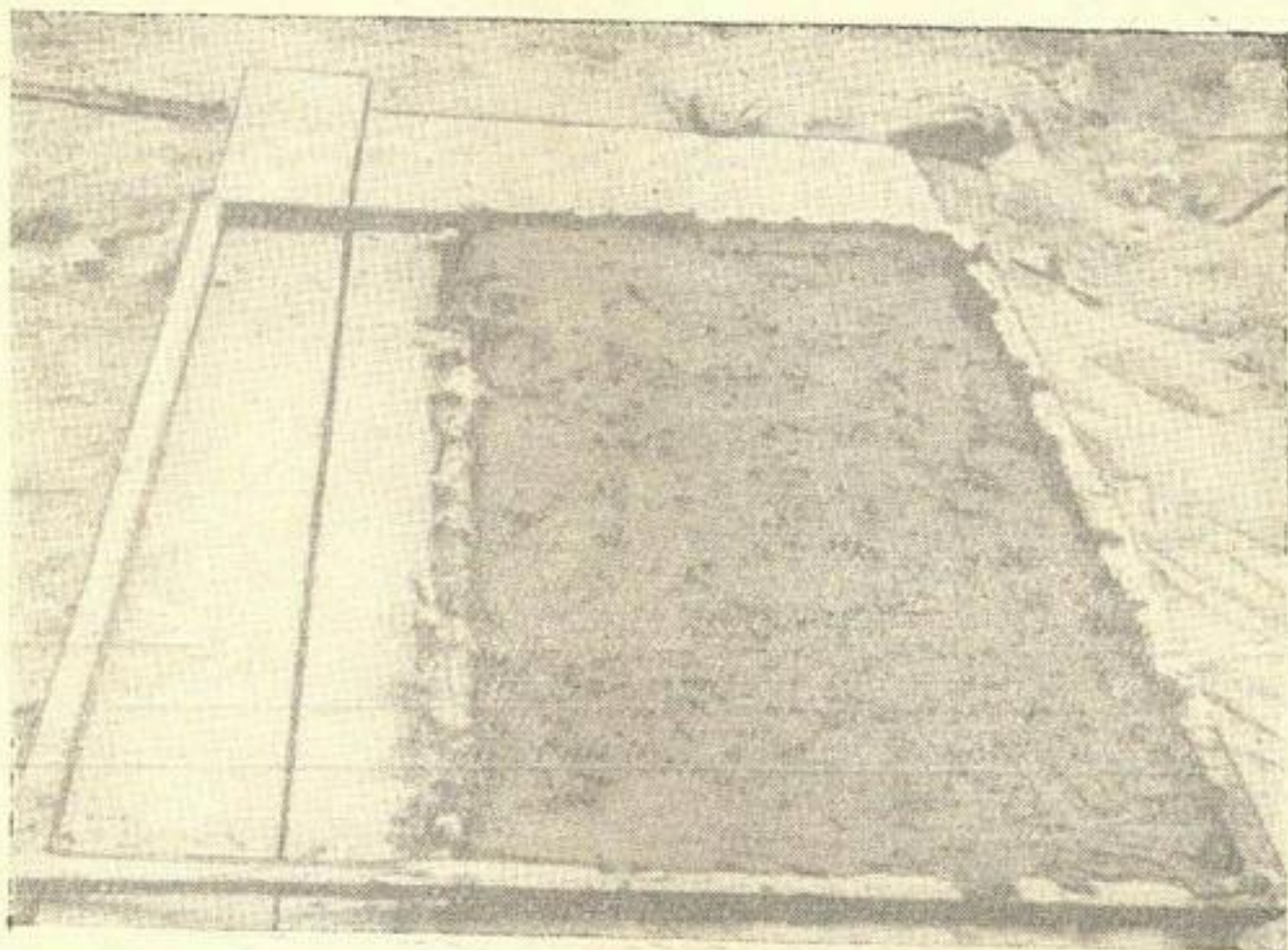


Рис. 3. Укладка приготовленной мастики в форму из углового железа  $20 \times 20$ .



Рис. 4. Нарезка лент при помощи дискового ножа.



- 4) укладка приготовленной мастики в форму с последующей прокаткой валком для ее уплотнения;
- 5) нарезка лент при помощи дискового ножа;
- 6) посыпание нарезанных лент тонким слоем пылеватого минерального порошка для предохранения лент от слипания при свертывании в рулоны.

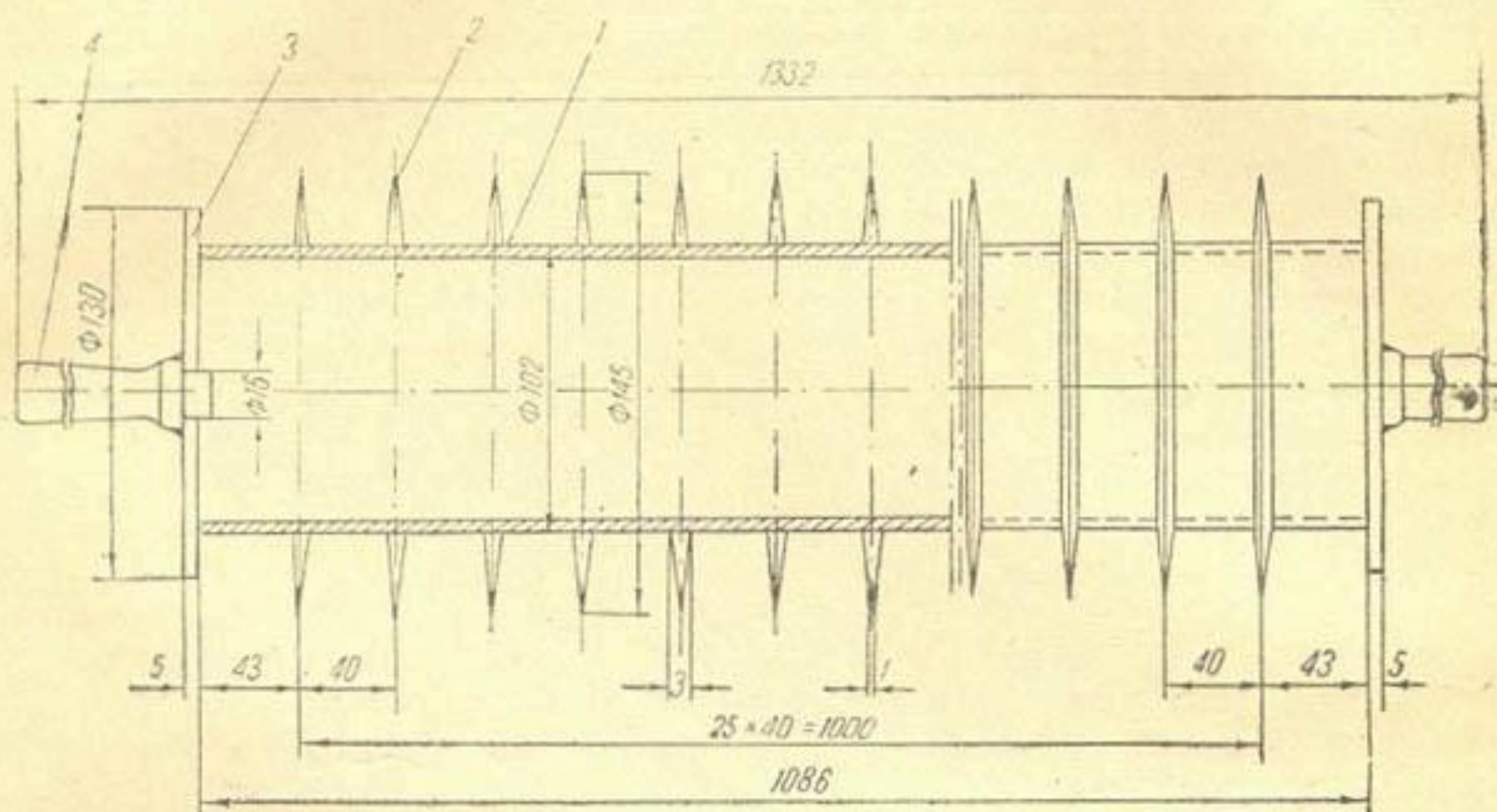


Рис. 5. Дисковый нож для резки гидроизоляционных лент:

1—труба,  $d=102$ ,  $l=1086$ , вес—5,02 кг, одна штука; 2—диск из Ст 3, вес—0,08 кг, 25 штук; 3—фланец из Ст 3, вес—0,3 кг, две штуки; 4—ручка из Ст 3, вес—0,45 кг, две штуки: боковые поверхности дисков нужно шлифовать и в местах сварки зачистить.

Изготовление лент на полигоне осуществлялось звеном из двух человек. Мастику для лент готовили в котлах и заливали в металлическую форму, представляющую собой прямоугольник сварной конструкции из углового железа (рис. 3). После того, как материал из мастики остывал, его прокатывали валком и разрезали на ленты дисковым ножом (рис. 4), изготовленным из металлической трубы  $d=100$  мм с наваренными на ней ножами (рис. 5). Нарезанные ленты посыпали пылеватым суглинком и сворачивали в рулон. По этой технологии звено из двух человек в смену готовило 300 шт. гидроизоляционных лент длиной 2,0 м. Ленты в рулонах, прикрытые фанерой, хранились в течение двух месяцев.

В производственных условиях была испытана схема механизированной сборки облицовки каналов из плит С-8 с обжатыми швами на гидроизоляционных прокладках взамен сборных облицовок со швами, заполненными мастиками [1].

При монтаже опытного участка сборной облицовки с обжатыми швами на канале 5-1-Х подтвердилось, что при температуре прокладки  $+10^{\circ}\text{C}$  обжатие ее в шве требует большего усилия. Для того чтобы усилие обжатия прокладки не зависело от температуры воздуха, лаборатория предлагает использовать прокладки только при температурах в них не ниже  $+15^{\circ}$ . Укладку прокладок при более низких температурах следует производить с предварительным их обогревом в водяной или паровой рубашке в специальном бачке.

Воду подогревают до  $70-80^{\circ}$ , и прокладки, находящиеся в меньшем цилиндре, в течение 20—30 мин. восстанавливают свои пластические качества.



Как показала опытная механизированная сборка облицовки с обжатыми прокладками на канале 5-1-X в Голодной степи, стоимость заделки 10 пог. м шва сборных бетонных облицовок с обжатыми швами на гидроизоляционных прокладках составляет 1 руб. 0,78 коп., а стоимость 10 пог. м швов, заполненных мастикой,— 1 руб. 99 коп.

Таким образом, стоимость заделки швов сборных облицовок с обжатыми гидроизоляционными прокладками снизилась на 46% по сравнению со стоимостью заполнения швов сборных облицовок битумными мастиками.

На основании сделанных в лаборатории опытов с битумными гидроизоляционными прокладками следует сделать вывод о необходимости разработки новых вариантов гидроизоляционных прокладок для обжатых швов, проведения долговременных наблюдений за работой битумных гидроизоляционных прокладок в сборных облицовках и механизации процесса изготовления прокладок на полигонах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Селимов М. М. Монтаж сборной облицовки с обжатыми швами на оросительном канале в Голодной степи, публикуется в настоящем сборнике.
  2. Сурмели Д. Д., Парфенов А. П. «Автомобильные дороги», 1960, № 6.
  3. Денисов Б., Пинус Э. «Автомобильные дороги», 1961, № 9.
  4. Пославский В. В., Гирскан С. А., Мочалов И. П. «Гидротехника и мелиорация», 1962, № 6.
-



М. М. СЕЛИМОВ

## МОНТАЖ СБОРНОЙ ОБЛИЦОВКИ С ОБЖАТЫМИ ШВАМИ НА ОРОСИТЕЛЬНОМ КАНАЛЕ В ГОЛОДНОЙ СТЕПИ

В период 1957—1961 гг. сотрудники лаборатории сборных конструкций ИВПиГ АН УзССР проводили комплексные лабораторные и производственные исследования по сборным облицовкам оросительных каналов с пропускной способностью  $Q=0,2—20 \text{ м}^3/\text{сек.}$  В этот период строительными организациями республик Средней Азии было смонтировано свыше 200 км сборных бетонных и железобетонных облицовок каналов с комбинированным заполнением щелевых швов битумными мастиками и цементным раствором. Эти конструкции были разработаны в лаборатории.

В процессе улучшения конструкций гибких облицовок оросительных каналов и наблюдений за изготовлением и монтажом сборных облицовок на стройках выявлен ряд недостатков в организации работ по заполнению щелевых швов.

После неудачных попыток механизировать процесс заделки швов и обеспечить надежный контроль их качества мы пришли к выводу, что при механизированной сборке облицовок заполнитель шва должен быть деталью облицовки, доставляемой вместе с плитами к месту монтажа.

В результате лабораторных исследований уже в 1960 г. была предложена конструкция обжатого шва с гидроизоляционной прокладкой (рис. 1). В смонтированном состоянии такой шов представляет собой щель шириной 1—1,5 см, заполненную гидроизоляционной прокладкой, обжатой и зафиксированной плитами облицовки. Поперечное сечение гидроизоляционных прокладок зависит от толщины плит облицовки; оно было принято с таким расчетом, чтобы при доведении ширины шва до 1—1,5 см была заполнена вся полость шва.

Усилие  $P$ , необходимое для стягивания плит, определяется как сумма усилий на обжатие самой прокладки —  $P_1$  и преодоление сил трения бетона плит по грунту —  $P_2$ :

$$P = P_1 + P_2,$$

где  $P_2 = 2Qf$ ;

$Q$  — вес плиты;

$f$  — коэффициент трения бетона плит по грунту ложа канала.

В лаборатории проводили опыты по определению усилий на сжатие битумных прокладок «Минизол» при уменьшении их ширины с 2 до 1—1,5 см. Найдено, что значения этих усилий колеблются в пределах от 2,6 до 6 кг/см<sup>2</sup>, или от 1 т до 2,4 т на 1 пог. м длины плиты.



Для грунтов Голодной степи было установлено, что значение коэффициента трения бетона плит по грунту равно 0,6, а усилие, необходимое для стягивания плит,— 2800 кг.

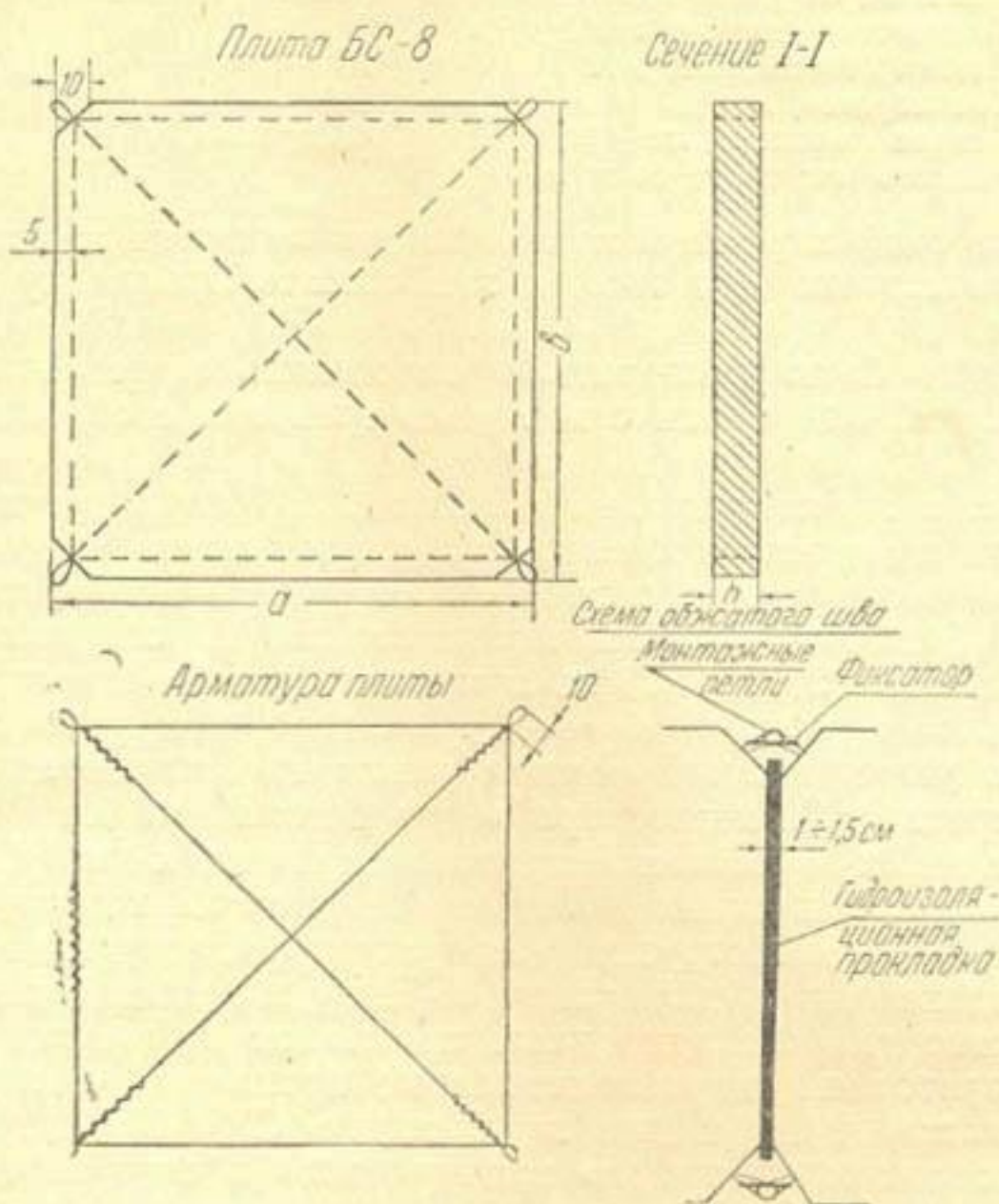


Рис. 1. Сборная бетонная плита БС-8 для облицовки каналов и схема обжатого шва:

#### Спецификация плит БС-8

| Номер п/п | Типоразмер плиты, (a×b×h) м | Площадь, м² | Диаметр монтажной арматуры, мм | Расход арматуры на плиту, кг | Расход бетона на плиту, м³ | Вес плиты, кг |
|-----------|-----------------------------|-------------|--------------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------|
| 1         | 2,25×2,25×0,08              | 5,06        | 4,0                            | 1,63                         | 0,4                        | 1000          |
| 2         | 2,0×2,0×0,08                | 4,0         | 4,0                            | 1,20                         | 0,32                       | 800           |

При лабораторных испытаниях обжатого шва с упругой гидроизоляционной прокладкой получены положительные результаты [1]. Эти данные также позволили сделать вывод о возможности механизации процесса обжатия упругих прокладок в щелевых швах сборных облицовок с помощью гидравлической системы тракторов «Беларусь» МТЗ-5Л или «Владимирец» Т-28. Эти тракторы оснащены унифицированной раздельноагрегатной гидравлической системой с выносными силовыми цилиндрами, предназначенной для регулирования работы органов различных навесных и прицепных сельскохозяйственных орудий. Основные данные по раздельноагрегатной навесной системе трактора «Владимирец» Т-28 приведены ниже:



|                                      |                      |
|--------------------------------------|----------------------|
| Тип гидронасоса                      | Шестеренчатый        |
| Марка гидронасоса                    | ГШ-4ОВ               |
| Производительность насоса, л/мин     | 40                   |
| Рабочее давление, кг/см <sup>2</sup> | 100                  |
| Тип и марка распределителя           | Золотниковый Р-40/75 |
| Количество силовых цилиндров         | 3                    |
| Диаметр цилиндров, мм                | 75                   |
| Ход поршня, мм                       | 200                  |
| Усилие на штоке, кг                  | 4000                 |
| Емкость масляного бака, л            | 10.                  |

Как видно из этой характеристики, усилия на штоке каждого из трех цилиндров достаточно для того, чтобы обжать прокладку в шве длиной 2 — 3 м.

Необходимо было проверить и определить эффективность схемы монтажа сборной облицовки с помощью трактора с силовыми цилиндрами.

В 1961 г. в хлопкосовхозе № 5 Голодной степи на канале 5-1-Х была проведена производственная проверка монтажной схемы сборной бетонной облицовки с обжатыми швами на гидроизоляционных прокладках. Опытный участок монтировали из сборных бетонных плит С-8 размером 2×2×0,08 м, армированных по диагоналям и контуру монтажной арматурой  $d=4-6$  мм с выпуском монтажных петель в срезанных углах плит. Бетонные плиты изготавливали на полигоне СМУ-3 треста «Янгирводстрой» из бетона марки БГТ-200, В-4, Мрз-50 на стендах-бассейнах и транспортировали к месту монтажа в специальных металлических контейнерах сварной конструкции в положении «на ребро». Погрузку, разгрузку и укладку плит в облицовку канала производили автокраном К-32 грузоподъемностью 3 т.

В качестве гидроизоляционных прокладок применяли рекомендованные лабораторией гидроизоляционные прокладки «Минизол». Прокладки приготавливали также на полигоне СМУ-3. Технология изготовления прокладок «Минизол» заключается в следующем. В разогретый в котлах до температуры 100—140° битум добавляли при непрерывном перемешивании минеральную вату (шлаковата) и в качестве пластификатора — автол до получения однородной массы. Дозирование материалов при изготовлении лент производили по следующей рецептуре:

| Марка битума | Содержание материалов, % по весу |           |       | Температура размягчения лент |
|--------------|----------------------------------|-----------|-------|------------------------------|
|              | битум                            | шлаковата | автол |                              |
| БН-V         | 43                               | 29        | 28    | Выше 90°                     |

Полученную массу заливали в форму в виде рамы-прямоугольника, сваренную из уголкового железа № 2. Уложенную в форму массу уплотняли прокаткой валька, а затем разрезали на ленты путем прокатки дискового ножа. Поверхность лент посыпали тонким слоем пылеватого суглинка для предотвращения слипания. Затем ленты сворачивали в рулоны и, защитив от солнечных лучей, хранили до отправки к месту монтажа (рис. 2).

Монтаж опытного участка сборной бетонной облицовки с обжатыми швами осуществляли с помощью комплексного монтажного агрегата (рис. 3), состоящего из трактора «Беларусь» МТЗ-5Л, буксирующего прицепную тракторную тележку со сварочным аппаратом постоянного тока САК-П-2, и автокрана К-32.

Работу силовых цилиндров двойного действия от гидравлической системы трактора МТЗ-5Л использовали при сближении плит сбор-



ной облицовки каналов с одновременным обжатием гидроизоляционных прокладок в швах. Обжатие прокладок при стягивании плит проводили следующим образом. К пальцам крепежных вилок выносных



Рис. 2. Гидроизоляционные прокладки.



Рис. 3. Комплексный монтажный агрегат для монтажа сборных облицовок каналов с обжатыми швами.

силовых цилиндров с одной стороны крепили два троса-тяжа с кронштейнами-захватами на конце, с другой — трос длиной 40—50 м. По длинному тросу двигался с возможностью закрепления в любом промежуточном положении специальный зажим, к которому также крепили два троса-тяжа с кронштейнами-захватами на конце. Такое сое-



динение позволяло производить стягивание 20—25 плит с одной позиции силового цилиндра, т. е. с одной стоянки трактора.

Приводим последовательность монтажа «с колес» (рис. 4).

1. С полигона к месту монтажа подвозили плиты облицовки и автокраном К-32 укладывали в предварительно спланированное по шаблону русло канала, причем донные плиты укладывали раньше откосных. Зазор между плитами равнялся 3—5 см.

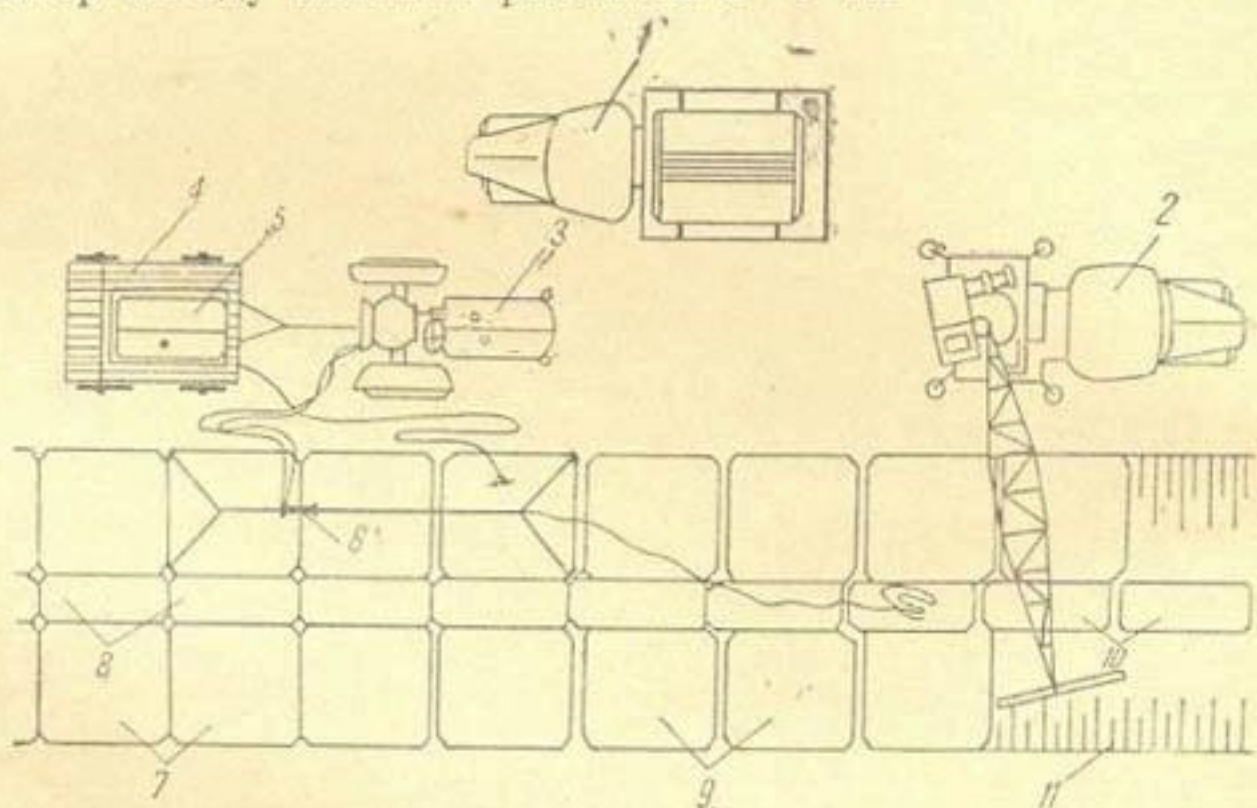


Рис. 4. Схема монтажа сборной облицовки каналов с обжатыми швами при однорядной укладке плит на откосы:

1—автомашинка с плитами; 2—автокран К-32; 3—трактор «Владимирец» Т-28; 4—тракторная тележка; 5—сварочный аппарат; 6—силовой цилиндр; 7—стянутые откосные плиты; 8—стянутые донные плиты; 9—нестянутые откосные плиты; 10—нестянутые донные плиты; 11—земляное русло канала.

2. Швы между плитами заполняли гидроизоляционными прокладками, подвезенными с полигона и смоченными на месте работ раствором битума в бензине в соотношении 1:1 (по весу).

3. На углы стягиваемых плит устанавливали кронштейны-захваты. Передвигая зажим с двумя захватами,двигающимися по длинному тросу длиной  $l=40-50$  м, производили предварительное натяжение троса для того, чтобы он не провисал.

4. Трактористу давали команду, и он, установив рукоятку регулирования работой силового цилиндра в положение «сжатие», производил сближение плит, обжимающих гидроизоляционную прокладку. Контролем при сближении плит было доведение ширины обжимаемой прокладки с 2 до 1+1,5 см. Ход поршня силового цилиндра регулировали с помощью передвижения упора на штоке цилиндра.

5. При ширине шва 1—1,5 см рукоятку управления цилиндром ставили в положение «нейтраль», фиксируя обжатое положение прокладки.

6. На монтажные петли в углах плит укладывали и приваривали стержни арматуры  $d=6$  мм и  $l=10$  см (рис. 5). Это позволяло фиксировать обжатое положение прокладки после снятия стяжного устройства.

7. Рукоятку управления цилиндром ставили в положение «обратный ход», шток выдвигался из цилиндра и тяжи расслаблялись. Зажим на тросе переставляли в следующее исходное положение и два кронштейна, соединенные с ним, перебрасывали на следующую плиту. Операции повторялись, пока хватало длины троса. После этого агрегат



передвигали по бровке канала на следующую позицию и операции повторяли в вышеизложенном порядке.

Для всего цикла заполнения и фиксации одного шва длиной 2 м с помощью монтажного агрегата требовалось 2,1 мин. Общая производительность агрегата при монтаже опытного участка составила 400 пог. м канала 5-1-X в смену.

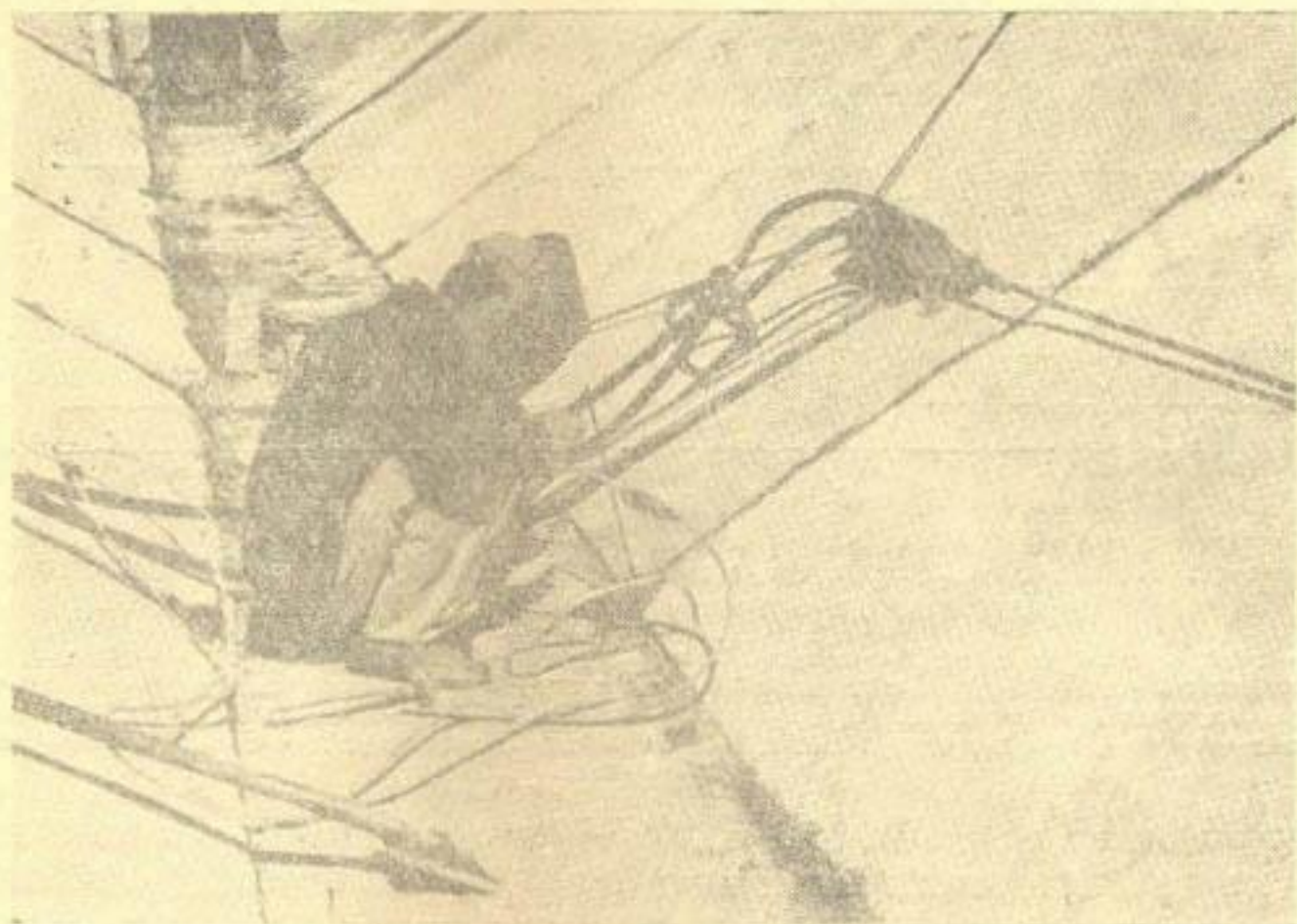


Рис. 5. Фиксация обжатого состояния шва с помощью электросварки.

После обжатия донных и откосных поперечных швов заполняли гидроизоляционными прокладками донные продольные швы. Прокладки укладывали в треугольные донные швы и прикатывали ручным катком.

Монтаж опытного участка производился бригадой из пяти человек: трех такелажников, одного электросварщика и одного тракториста.

Описанная схема относится к монтажу облицовок каналов с однорядной укладкой плит на откосы. В этом случае используют все три силовых цилиндра  $d=75$  мм с усилием на штоке 4 т. Один цилиндр работает на левом откосе, другой — на правом, третий — по дну.

При необходимости укладки на откосы двух рядов плит схема монтажа несколько меняется: при сохранении общего порядка сборки изменяется только порядок работы силовых цилиндров (рис. 6). Откосные плиты вначале стягивают попарно в поперечном направлении, а затем пары плит стягивают в продольном направлении двумя силовыми цилиндрами, параллельно соединенными с помощью тройников.

В целях организации долговременных наблюдений за работой сборной бетонной облицовки с обжатыми швами все плиты опытного участка были занивелированы в четырех угловых точках. В дальнейшем, при сравнении данных периодических нивелировок плит опытного участка, будут определять величины и характер деформаций сборных облицовок с обжатыми швами в условиях Голодной степи.



На основании хронометража изготовления деталей и монтажа сборной бетонной облицовки с обжатыми швами на гидроизоляцион-

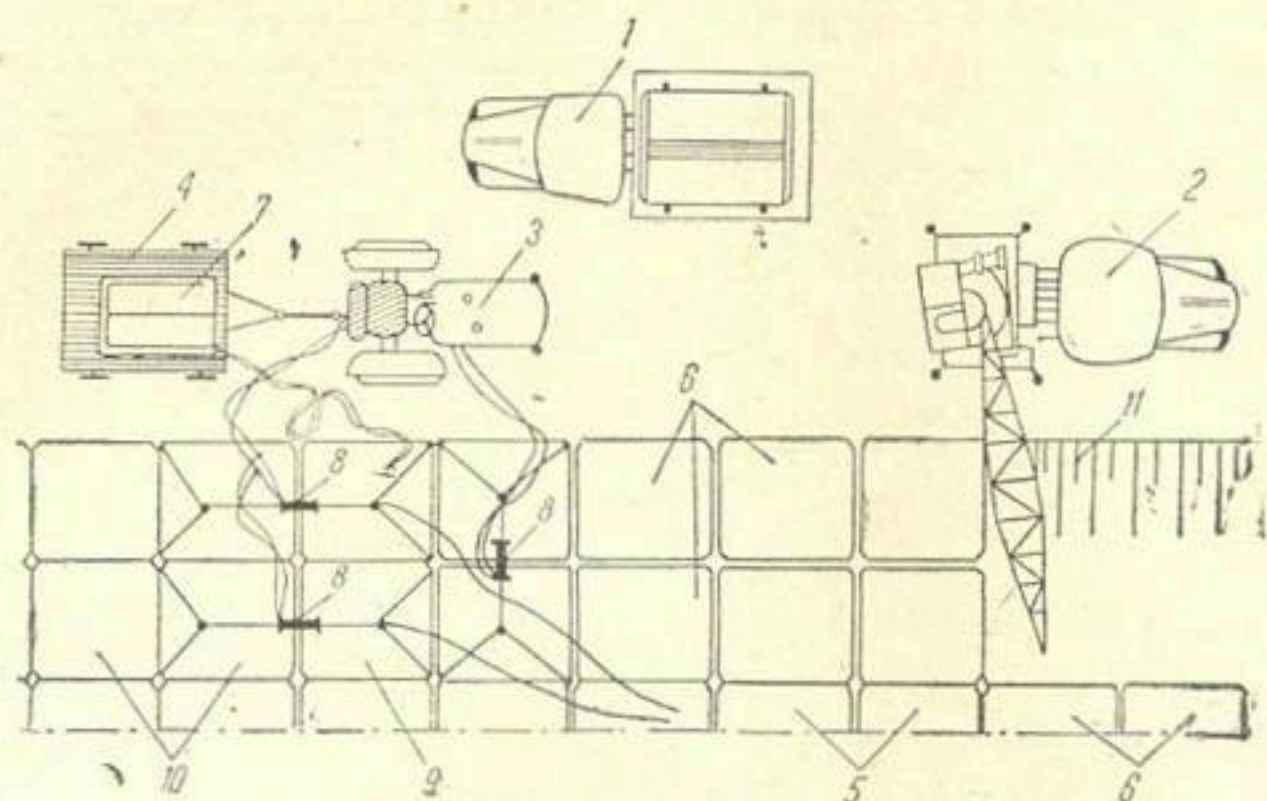


Рис. 6. Схема монтажа сборной облицовки каналов с обжатыми швами при двухрядной укладке плит на откосы:

1—автомашина с плитами; 2—автокран К-32; 3—трактор „Владимирец“ Т-28; 4—тракторная тележка; 5—стянутые донные плиты; 6—нестянутые донные и откосные плиты; 7—сварочный аппарат; 8—силовой цилиндр; 9—откосные плиты, стянутые в поперечном направлении (попарно); 10—откосные плиты, стянутые попарно в продольном направлении; 11—земляное русло канала.

ных прокладках на канале 5-1-Х была составлена калькуляция стоимости механизированной заделки 10 пог. м шва такой облицовки.

| Наименование затрат                                                        | Количество  |                   | Сумма, руб. |                   |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|
|                                                                            | обжатый шов | омоноличенный шов | обжатый шов | омоноличенный шов |
| Рабочая сила, чел/час                                                      |             |                   |             |                   |
| рабочие 5-го разряда                                                       | 0,2         | —                 | 0—063       | —                 |
| рабочие 4-го разряда                                                       | —           | 3,97              | —           | 1,04              |
| рабочие 3-го разряда                                                       | 0,8         | 0,457             | 0—178       | 0—098             |
| Материалы, кг                                                              |             |                   |             |                   |
| битум БН-V                                                                 | 3,6         | 13,5              | 0—104       | 0—38              |
| минеральная вата                                                           | 2,4         | —                 | 0—056       | —                 |
| дизельное топливо                                                          | 2,4         | 0,8               | 0—082       | 0—003             |
| цемент                                                                     | —           | 10,7              | —           | 0—155             |
| Механизмы, маш/см                                                          |             |                   |             |                   |
| комплексный агрегат для монтажа сборных облицовок каналов с обжатыми швами | 0,025       | —                 | 0—43        | —                 |
| Итого прямые расходы                                                       | —           | —                 | 0—913       | 1—68              |
| Накладные расходы                                                          | —           | —                 | 0—168       | 0—31              |
| Всего расходов                                                             | —           | —                 | 1—078       | 1—99              |

Для сравнения стоимости обжатого шва, полученной на канале 5-1-Х, со стоимостью шва, заполненного мастикой, были использованы данные, полученные на строительстве Ходжабакирганской оросительной системы в Таджикской ССР.



Сравнительная калькуляция стоимости заделки 10 пог. м обжатых и заполненных мастиками швов сборной облицовки каналов приводится в таблице.

На основании комплекса проведенных работ по проверке монтажной схемы механизированного обжатия плит на канале 5-1-X в Голодной степи можно сделать следующие выводы.

1. Внедрение сборных облицовок с обжатыми швами позволит механизировать процесс заполнения швов и обеспечить их качество.

2. Проверенную схему монтажа можно рекомендовать строительным организациям при использовании швов, заполненных гидроизоляционными прокладками.

3. Стоимость заполнения швов сборных облицовок каналов методом обжатия снижается на 46% по сравнению со стоимостью заполнения мастиками.

4. Обеспечивается контроль качества шва по заданному расстоянию между плитами после обжатия.

5. Монтаж сборных облицовок можно производить в любое время года.

6. Необходимо в производственных условиях проверить процесс механизированной сборки с двухрядной укладкой плит на откосы канала.

7. Для практики гидроизоляционных прокладок в донных продольных швах следует разработать конструкцию катка с электроприводом от сварочного аппарата.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коган Е. И. Гидроизоляционные прокладки для заполнения швов сборных облицовок каналов, публикуется в настоящем сборнике.
  2. Анохин В. Н., Болтинский В. Н., Карнаухов Н. Ф., Грознов В. Г. «Тракторы», М., 1960.
-



Б. А. ЛЕШЕНКО

**ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ  
СБОРНЫХ БЕТОННЫХ ОБЛИЦОВОК  
ТРЕУГОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ НА КАНАЛАХ  
ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННОЙ СЕТИ**

Практика проектирования и устройства сборных и монолитных бетонных облицовок мелких трапецидальных каналов оросительной сети на расход до 200 л/сек показала, что максимальная ширина по дну таких каналов не превышает 40 см, а зачастую составляет 20—30 см.

Как видно из рис. 1, в сборной облицовке трапецидального внутрихозяйственного распределителя, в которой повторяется конструкция сборной облицовки крупных каналов, резко увеличено количество швов на квадратный метр ввиду уменьшения размеров деталей, усложнена монтажная схема. Так, например, по сравнению со сборной облицовкой межхозяйственного распределителя  $Q=3-5$  м<sup>3</sup>/сек у облицовки трапецидального распределителя для  $Q=0,2$  м<sup>3</sup>/сек длина швов на один квадратный метр увеличена с 0,9 до 1,4 м, т. е. в 1,5 раза.

В настоящее время, как правило, в производственных условиях для облицовки мелких каналов применяются полуциркульные и трапецидальные железобетонные лотки; параллельно осуществляются проекты сборных облицовок трапецидальных распределителей из отдельных плит. Подобные конструкции были применены на Верхне-Самгорской (Грузинская ССР), Арни-Шамирамской (Армянская ССР), Апшеронской (Азербайджанская ССР) оросительных системах, в зоне канала Северный Донец—Донбасс (Украинская ССР), а также в республиках Средней Азии.

Таким образом, конструкции разработанных сборных облицовок распределителей можно разделить на 3 группы: 1) из отдельных плит; 2) из звеньев полуциркульных и криволинейных лотков; 3) из звеньев трапецидальных лотков.

Применение полуциркульных и трапецидальных лотков по сравнению со сборными облицовками из плит сокращает количество рабочих операций при монтаже и уменьшает длину швов, подлежащих заделке. Однако такие лотки требуют дополнительного расхода арматуры для обеспечения их транспортабельности. Работают они по схеме жесткой облицовки.

Попытка исключить арматуру из трапецидальных и полуциркульных лотков привела к необходимости иметь толщину стенок бетонного лотка не ниже 8—10 см и ограничить длину звеньев в пределах 1,2—1,4 м. Кроме того, полуциркульные и трапецидальные лотки представляют объемные детали облицовки и требуют специальной технологии их изготовления на стендах, удорожающей их стоимость.



Начиная с 1958 г. в лаборатории сборных конструкций Института водных проблем и гидротехники АН УзССР были начаты комплексные экспериментальные исследования по сборным облицовкам распределителей. В основу работ было положено условие, что наиболее эффективной сборной облицовкой распределителей внутрихозяйственной сети будет та конструкция, при которой технология изготовления деталей правильно сочетается с условиями монтажа и работой облицовки в канале при наиболее низкой стоимости всего комплекса работ.

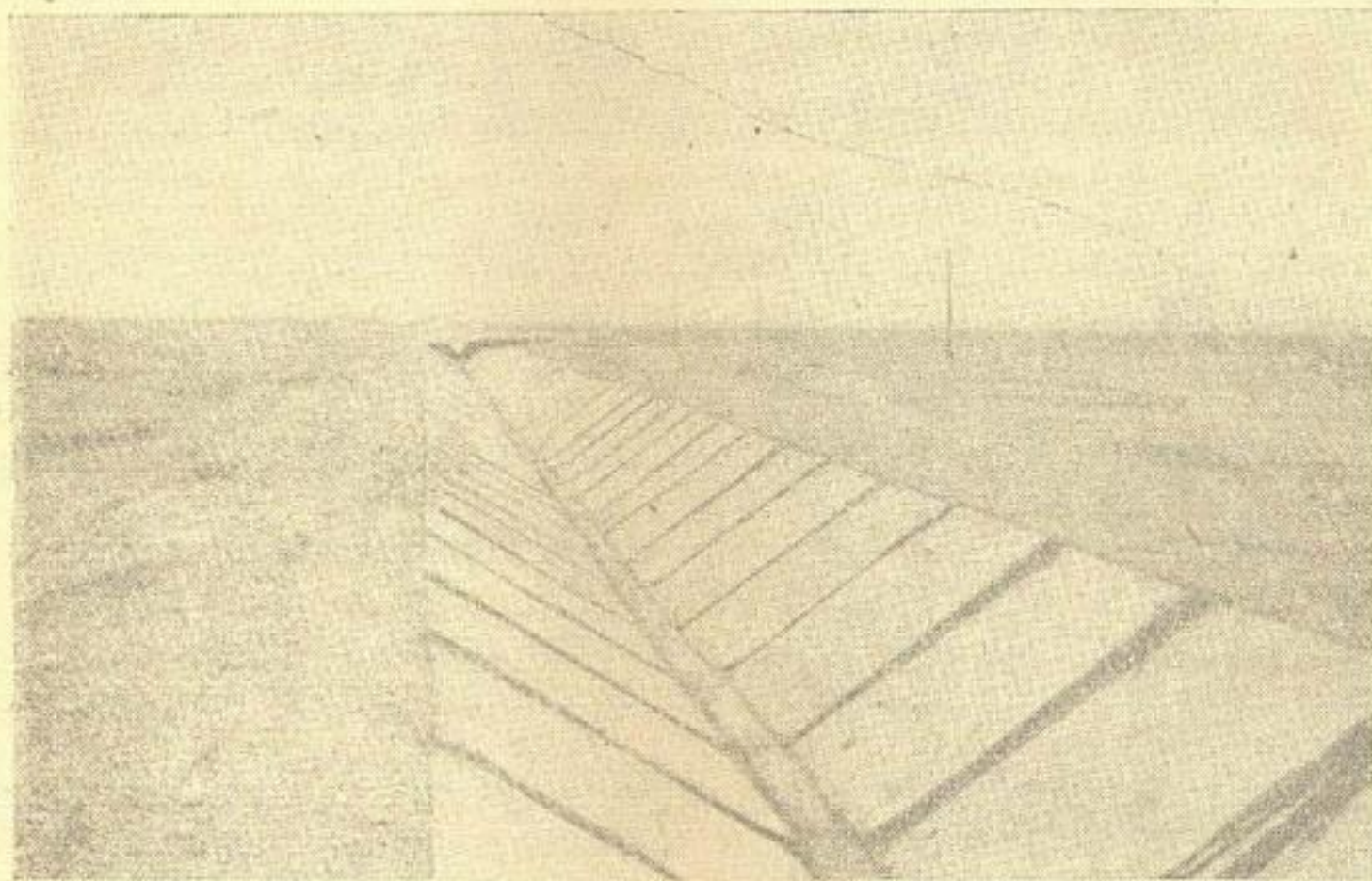


Рис. 1. Сборная облицовка трапецидального канала.

При разработке конструктивной схемы сборной облицовки для распределителей пропускной способностью до 1 000 л/сек были приняты следующие исходные условия: 1) облицовки собирают из бетонных деталей; 2) технология изготовления деталей облицовки распределителя не должна быть сложнее технологии изготовления бетонных плит С-8; 3) монтаж облицовки должен быть механизирован.

В результате комплексного решения поставленной задачи вместо трапецидального лотка был выбран треугольный.

Известно, что гидравлически наивыгоднейшей формой поперечного сечения каналов является полукруглая и наиболее невыгодной — трапецидальная. Большой расход арматуры и сложная технология изготовления лотков полукруглого или параболического поперечного сечения повышают стоимость сборной облицовки до 80 руб. за 1 м<sup>3</sup>.

При сравнительном расчете расхода материалов для трапецидальных и треугольных каналов, проведенном в лаборатории, установлено, что расход материалов для треугольных лотков будет на 10% ниже, чем для трапецидальных.

В результате пересчета Гипроводхозом расхода материалов для внутрихозяйственных каналов Самгарской оросительной сети ТаджССР с расходом от 0,282 до 0,565 м<sup>3</sup>/сек получено, что расход бетона на 1 пог. км канала при толщине плит 6 см для трапецидального поперечного сечения при заложении откосов  $m=1,5$  составляет 79 м<sup>3</sup>, а для треугольного сечения при заложении откосов  $m=1$  и  $m=1,5$  равен 59 и 71 м<sup>3</sup> соответственно. Таким образом, расход материалов для каналов треугольного поперечного сечения оказался ниже на 10—



30%. Для внутрихозяйственной распределительной сети массива «Арка» проектировщики и строители также приняли треугольное поперечное сечение каналов с заложением откосов  $m=1$ .

Как видно из приводимых сравнительных данных подсчета объемов работ для распределителей, при замене трапецеидального профиля на треугольный не наблюдается перерасхода материалов при сохранении той же пропускной способности распределителя и толщины облицовки. Для треугольных каналов изменяется форма поперечного сечения земляного русла канала, уменьшаются длина швов и количество деталей облицовки.

Для канала треугольного сечения была принята схема гибкой облицовки с приводимой ниже конструкцией пакетов бетонных плит. Производственная проверка и внедрение конструкции пакетов бетонных плит для каналов треугольного сечения проводились на строительстве оросительной сети массива «Арка» Ошской области КиргССР. Изготовление пакетов плит было организовано на существующем полигоне Ляйлякского СМУ треста «Южводстрой» КиргССР. Полигон СМУ со стендами-бассейнами для изготовления деталей сборных облицовок каналов был расположен в 40 км от внутрихозяйственной сети массива «Арка».

Комплексные исследования на строительстве оросительной сети массива «Арка» в течение 1960—1961 гг. охватили весь процесс изготовления и монтажа сборных облицовок каналов треугольного профиля и позволили изменить его в соответствии с полученными результатами.

Изготовление двойных плит для пакета на стендах-бассейнах для облицовки внутрихозяйственных распределителей треугольного профиля основано на использовании технологии изготовления бетонных плит СМБ-200 для крупных каналов. В качестве исходной была использована конструкция плиты С-6 размером  $200 \times 140$  см. Пакеты плит изготавливались в металлической форме из уголкового железа  $60 \times 60$  мм.

Пакеты бетонных плит для каналов треугольного профиля изготавливали по стендовой технологии. На подготовленный (смазанный) стенд-бассейн устанавливали бортовую опалубку и укладывали монтажные каркасы пакетов. Малоподвижную бетонную смесь с осадкой конуса 1—2 см, приготовленную на бетоносмесительном узле полигона, подвозили к стенду автосамосвалами и выгружали в формы. После разравнивания бетонной смеси и уплотнения ее площадным вибратором С-413 форму пакета плит снимали и на поверхности стенда-бассейна оставалось две бетонные плиты, соединенные между собой двумя нитями проволоки. После заполнения одного стенда-бассейна пакетами плит его наполняли водой так, чтобы слой ее над поверхностью плит был 3—4 см и выдерживали в течение 3—4 дней при температуре воздуха 20—30°C.

Монтажный каркас пакета плит состоял из проволоки диаметром 4—6 мм, проходящей по контуру отдельных плит (рис. 2) и образующей монтажные петли по четырем углам общей плиты. В середине плиты (в месте установки металлического вкладыша при бетонировании) проволоку каркаса изгибали вверх и фиксировали в таком положении. В местах отгиба монтажного каркаса (50 мм от края плиты) во вкладыше были сделаны вырезы шириной 7 мм и высотой 70 мм.

Испытания такой конструкции проволочного каркаса в теле двух плит показали, что при штабелировании она обеспечивает образование пакета плит, а благодаря отгибу проволоки вверх она распола-



гается в теле плиты так, как показано на рис. 2б. При отделении обоих звеньев бетонных плит пакета для канала треугольного сечения от поверхности стенда-бассейна они складывались в пакет и арматурный каркас из проволоки диаметром 4 мм обеспечивал отделение плит от дна стенда-бассейна.

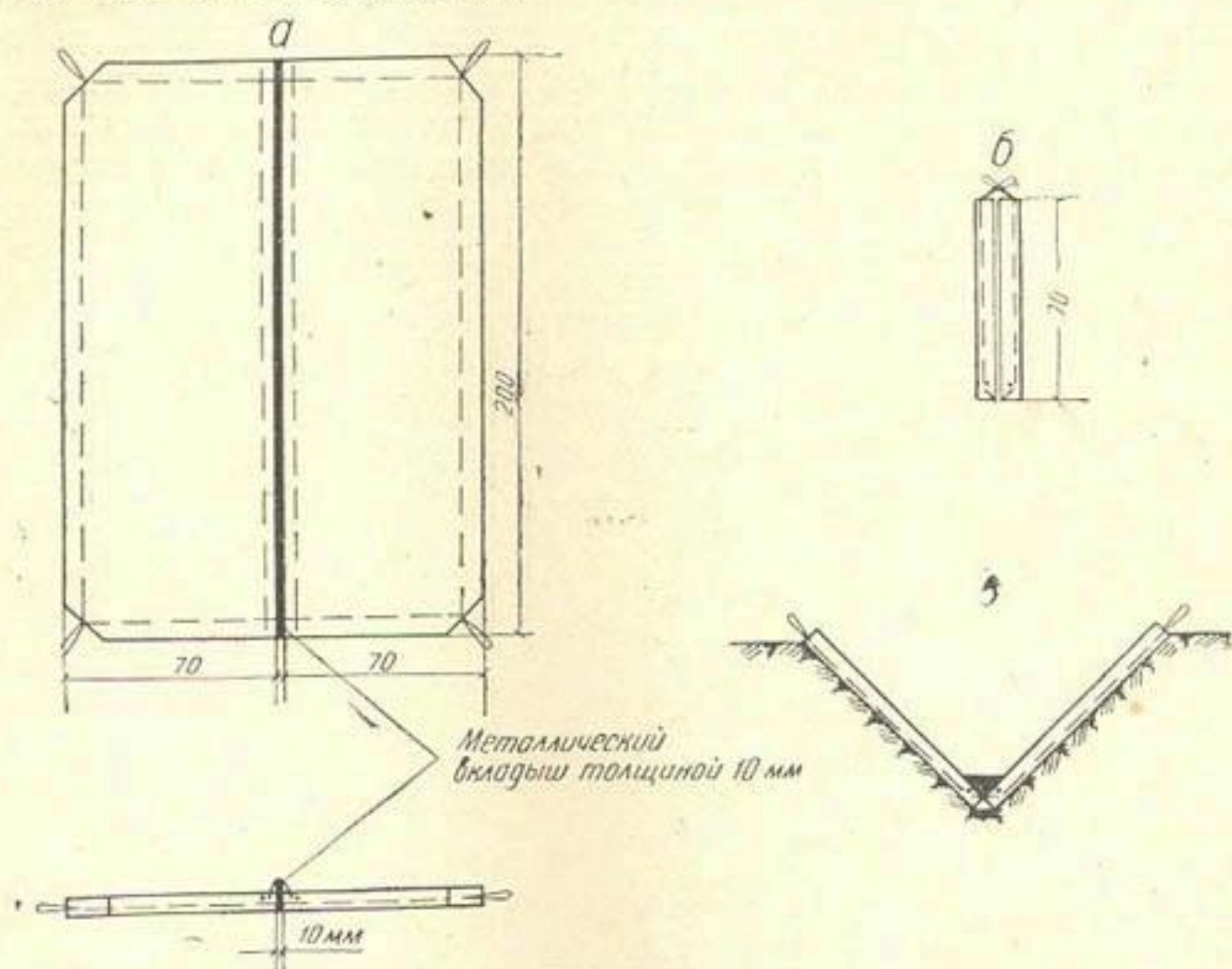


Рис. 2. Конструкция пакета плит:

*а*—плиты пакета при изготовлении; *б*—пакет плит при штабелировании; *в*—пакет плит при монтаже сборной облицовки.

Вес пакета, состоящего из двух плит, для канала треугольного сечения колебался в пределах 450—500 кг. Расход проволоки диаметром 4 мм на каждый пакет составлял 1,1 кг, или 0,4 кг на 1 м<sup>2</sup> пакета плит.

В результате испытаний отдельных плит толщиной 6 см на растяжение при изгибе найдено, что разрушающая нагрузка на 1 м<sup>2</sup> плиты равнялась 400—500 кг, а с появлением трещин плита разрушалась.

При развертке и укладке плит в каналах распределительной сети массива «Арка» проволока, работая как шарнир в месте стыка плит, обеспечивала плотное прилегание их кромок и исключала горизонтальное смещение плит в зоне треугольного донного шва. Такая конструкция стыка позволила заполнить треугольный шов без использования пространства между гранями плит. При заполнении пространства между гранями плит происходит омоноличивание звена облицовки канала треугольного профиля и исключается дополнительное увеличение угла между плоскостями плит при деформации одного из откосов канала. При заполнении треугольного шва без использования пространства между гранями плит (рис. 2 в) сохраняется возможность поворота плит, следующих за деформациями откосов.

В качестве заполнителя треугольного донного шва использовали битумную мастику, созданную и испытанную в лаборатории сборных конструкций. Полученные при лабораторных испытаниях такого шва результаты показали, что сборная облицовка треугольного канала с разработанной конструкцией сопряжения пакетов плит остается во-



донепроницаемой при возможной деформации откосов в период эксплуатации распределителей треугольного профиля (угол сопряжения плит бетонного пакета при опытах увеличивался от  $90^\circ$  до  $110^\circ$ , и фильтрации через донный треугольный шов не наблюдалось).

Толщина пакетов бетонных плит для сборной облицовки распределительных каналов массива «Арка» равнялась 6 см и была обусловлена отсутствием гравиесортировок на Ляйлякском полигоне. В период работ было установлено, что при наличии на бетоносмесительных узлах полигонов камнедробилок и механизмов для рассева естественной гравиепесчаной смеси для каналов треугольного профиля возможно изготовление пакетов плит толщиной 4 см.

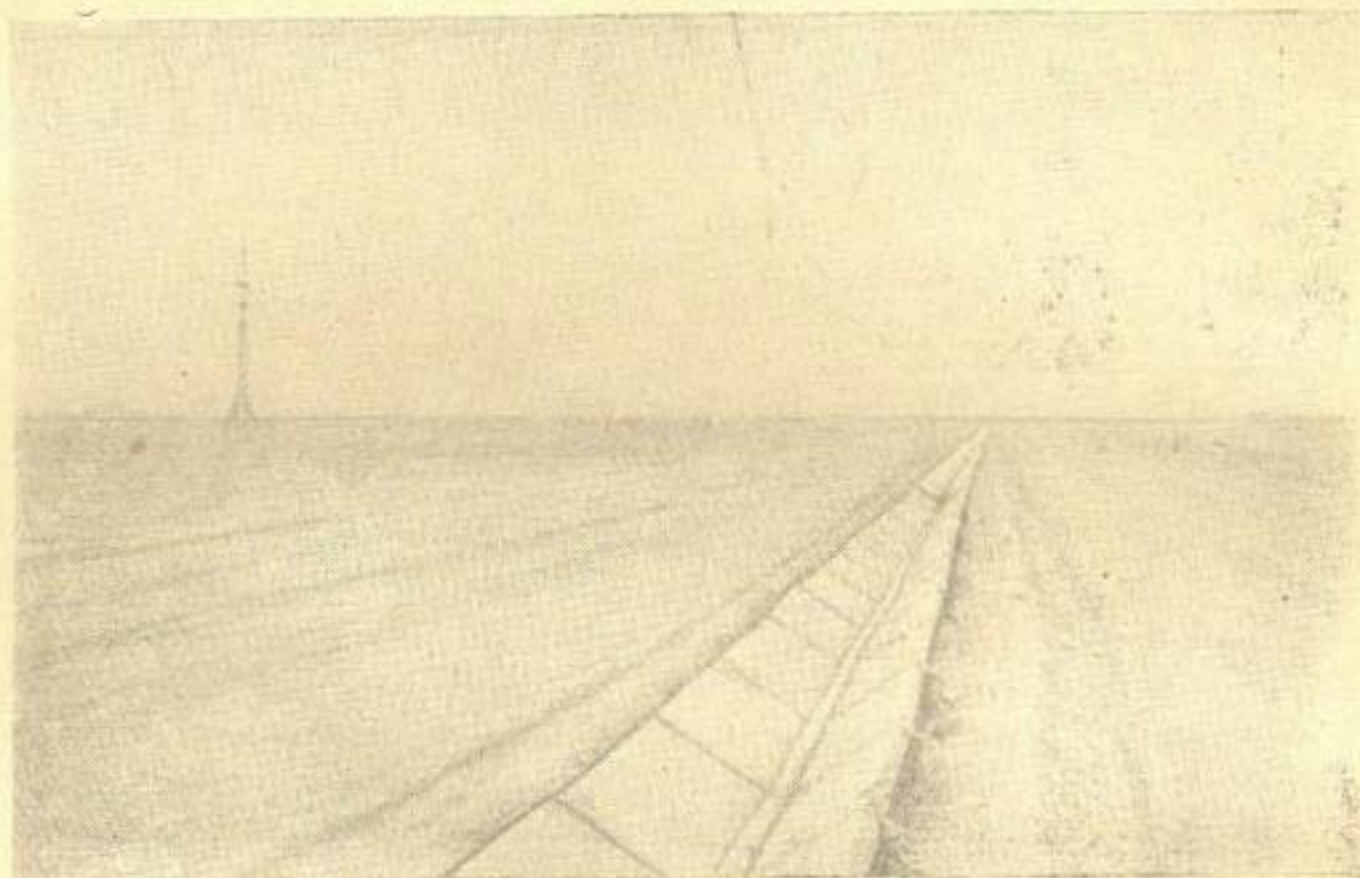


Рис. 3.

В соответствии с принятыми исходными условиями была также разработана следующая схема монтажа сборной облицовки каналов треугольного профиля:

- 1) разгрузка стендов-бассейнов от пакетов плит с одновременной погрузкой плит в автомашины;
- 2) транспортирование пакетов плит к месту их укладки;
- 3) укладка пакетов плит и развертка их на откосах каналов;
- 4) выверка плит в каналах;
- 5) заделка швов.

Разгрузка стендов-бассейнов, погрузка и укладка пакетов бетонных плит в ложе треугольного канала производилась автокраном К-32. Для транспортирования пакетов плит использовали кассетный контейнер, обеспечивающий транспортирование пакетов плит в вертикальном положении.

После отрытия русла распределителя канавокопателем и планировки откосов вручную по шаблонам треугольного профиля автокраном разгружали и укладывали пакеты плит. Строповка монтируемого пакета плит производилась подъемными крючьями траверсы за четыре монтажные петли, пакет снимали с машины и опускали на дно треугольного канала. Затем, опуская постепенно пакет плит, его раскрывали и укладывали на откосы с образованием звена бетонной облицовки треугольного канала (рис. 3).



Для заделки щелевых швов сборной облицовки каналов треугольного профиля использовали битумные мастики (см. рис. 2в). Однако в практике применения битумных мастик выяснилось, что заполнение шва мастиками не обеспечивало полной механизации монтажных работ.

Для более полной механизации, индустриализации монтажа сборных облицовок треугольных каналов и улучшения качества швов гибкой облицовки каналов был проверен на опытном участке вариант сопряжения звеньев треугольного канала из отдельных бетонных плит на гидроизоляционных прокладках. В этом случае заполнитель шва — гидроизоляционная прокладка — становился сборным элементом облицовки. Для изготовления гидроизоляционных прокладок применяли битум и шлаковату при расходе шлаковаты 3-го сорта в пределах 30—40% от веса битума. В условиях полигона гидроизоляционные прокладки изготавливали по технологии, описанной в статье М. М. Селимова, публикуемой в настоящем сборнике.

При монтаже между уложенными звеньями пакетов плит укладывали гидроизоляционную прокладку размером  $3 \times 2,5$  см, а затем с помощью приспособления стягивали пакеты так, чтобы первоначальная толщина прокладки уменьшилась в 1,5—2 раза после сближения пакетов плит. Такое положение обжатого шва фиксировалось монтажными стержнями диаметром 6 мм, привариваемыми к монтажным петлям смежных пакетов плит и к проволоке шарнира. Испытания такого шва показали, что обжатия гидроизоляционной прокладки так, чтобы ширина ее уменьшилась в 1,5—2 раза, вполне достаточно для обеспечения водонепроницаемости гибких швов сборной облицовки. Для пакетов плит толщиной 4 см достаточна прокладка размером  $3 \times 2$  см.

В качестве стяжного приспособления для обжатия швов сборной облицовки распределительных каналов треугольного профиля предлагается использовать, так же как и для крупных каналов, комплексный агрегат, состоящий из трактора «Беларусь» МТЗ-3-КЛ или «Владимирец» Т-28 с прицепной тележкой для перевозки сварочного аппарата и выносных силовых цилиндров. Тракторы «Беларусь» и «Владимирец» оснащены раздельно-агрегатной навесной системой с выносными гидравлическими (силовыми) цилиндрами двойного действия, которые и применяются для обжатия гидроизоляционных прокладок в швах сборной облицовки. Силовые цилиндры диаметром 75 мм развивают усилие на штоке до 4 000 кг, достаточное для обжатия шва. Ход поршня цилиндра 200 мм.

Донный треугольный шов распределительных каналов треугольного профиля заделывали битумной пастой, приготовленной из битума и шлаковаты с добавлением машинного масла до получения массы наилучшей удобоукладываемости, на высоту 2—3 см.

Сопряжение плит сборных облицовок треугольных каналов на гидроизоляционных прокладках имеет следующие преимущества.

1. Возможность сборки облицовки каналов треугольного профиля с обжатыми швами в любое время года.

2. Расход материалов для заделки швов на 70—80% ниже расхода на заделку швов битумными мастиками.

3. Возможность централизованного снабжения монтируемых участков сборной облицовки каналов гидроизоляционными прокладками, изготовление которых можно организовать на специально подготовленном полигоне.



4. Обеспечена механизация сборки облицовки каналов. Заполнитель шва становится сборным элементом.
5. Толщина шва сокращена до 1,5—2 см.
6. Стоимость заделки швов сборной облицовки с обжатыми прокладками снижена.

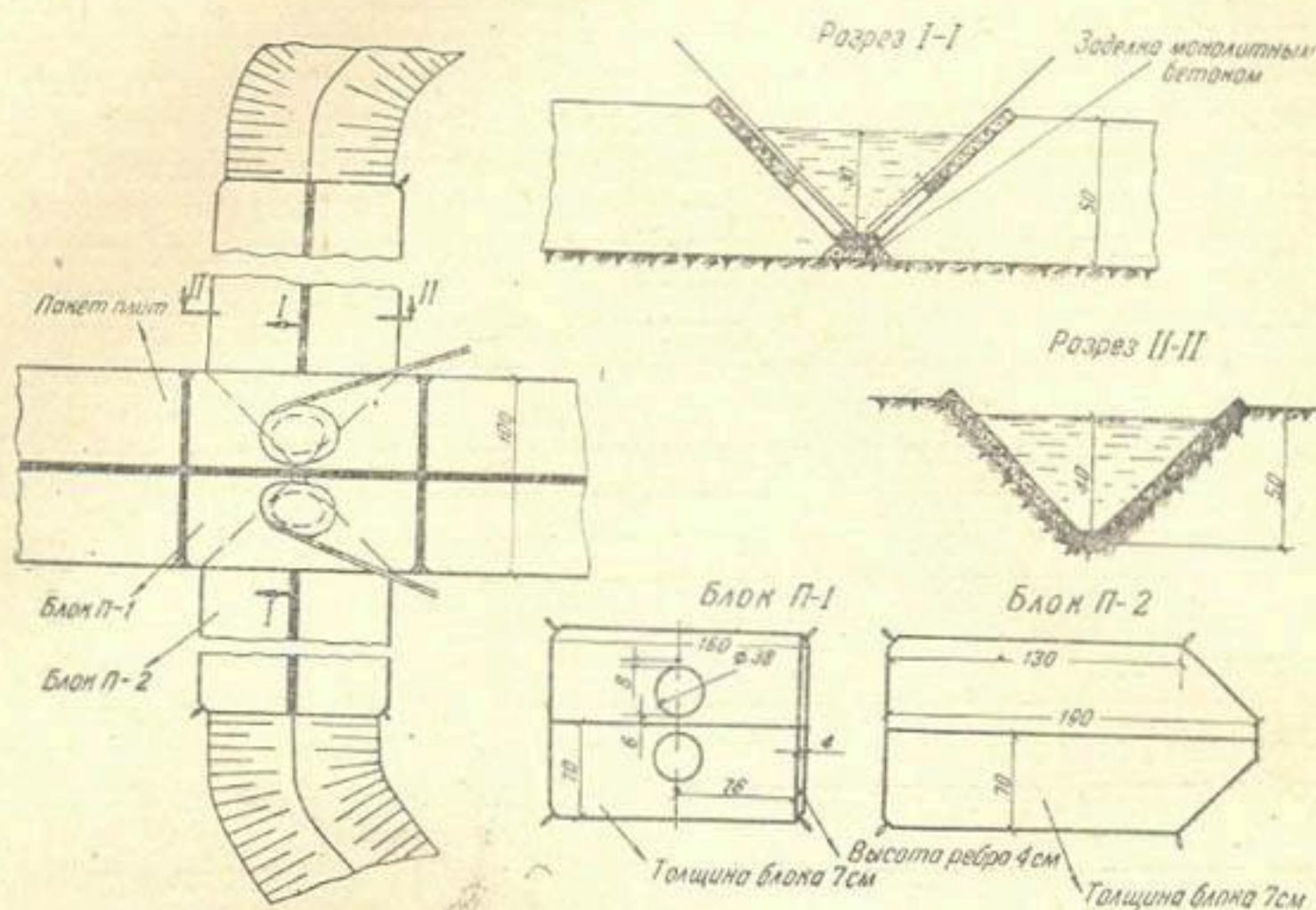


Рис. 4. Схема водовыпуска с  $Q=100$  л/сек из облицованного канала треугольного сечения.

Для армирования внутрихозяйственных распределителей треугольного профиля были разработаны, изготовлены и смонтированы водовыпуски открытого и закрытого типа с рычажным затвором конструкции В. Ф. Пояркова, работающим в плоскости облицовки распределителя. Необходимость разработки таких сооружений была вызвана отсутствием типовых проектов гидротехнических сооружений для облицованных каналов треугольного профиля внутрихозяйственной распределительной сети.

Водовыпуск открытого типа с расходом 100 л/сек для треугольного канала состоит из двух деталей (рис. 4). Первая — укороченный бетонный пакет плит канала треугольного профиля с круглыми отверстиями диаметром 380 мм для пропуска воды и смонтированным на нем рычажным затвором. Вторая деталь — открытый лоток треугольного профиля, который является началом временного оросителя. Рычажный затвор конструкции В. Ф. Пояркова крепится к плитам на полигоне и в таком виде транспортируется к месту монтажа. Уплотнение между плитой и рычажным затвором выполняется из губчатой резины размером  $30 \times 20$  мм, уложенной в паз по контуру отверстия на расстоянии 3 см от края. Шов, образуемый двумя деталями, при их монтаже заделывают цементным раствором состава 1:3 с предварительной зачеканкой его гидроизоляционной прокладкой.

Разработанная конструкция водовыпуска с рычажным затвором на расход 100 л/сек для армирования распределителей треугольного профиля была испытана на массиве «Арка» и рекомендована для использования на каналах с уклонами, меньше критических.



Отсутствие оголовка в конструкции водовыпуска, использование деталей сборной облицовки (укороченный пакет плит) в качестве детали сооружения и замена плоского вертикального щитового устройства на рычажный затвор позволили снизить расход материалов по сравнению с проектом: бетона — на 1 м<sup>3</sup>, арматуры — на 8 кг и металлоконструкций — на 10 кг на одно сооружение.

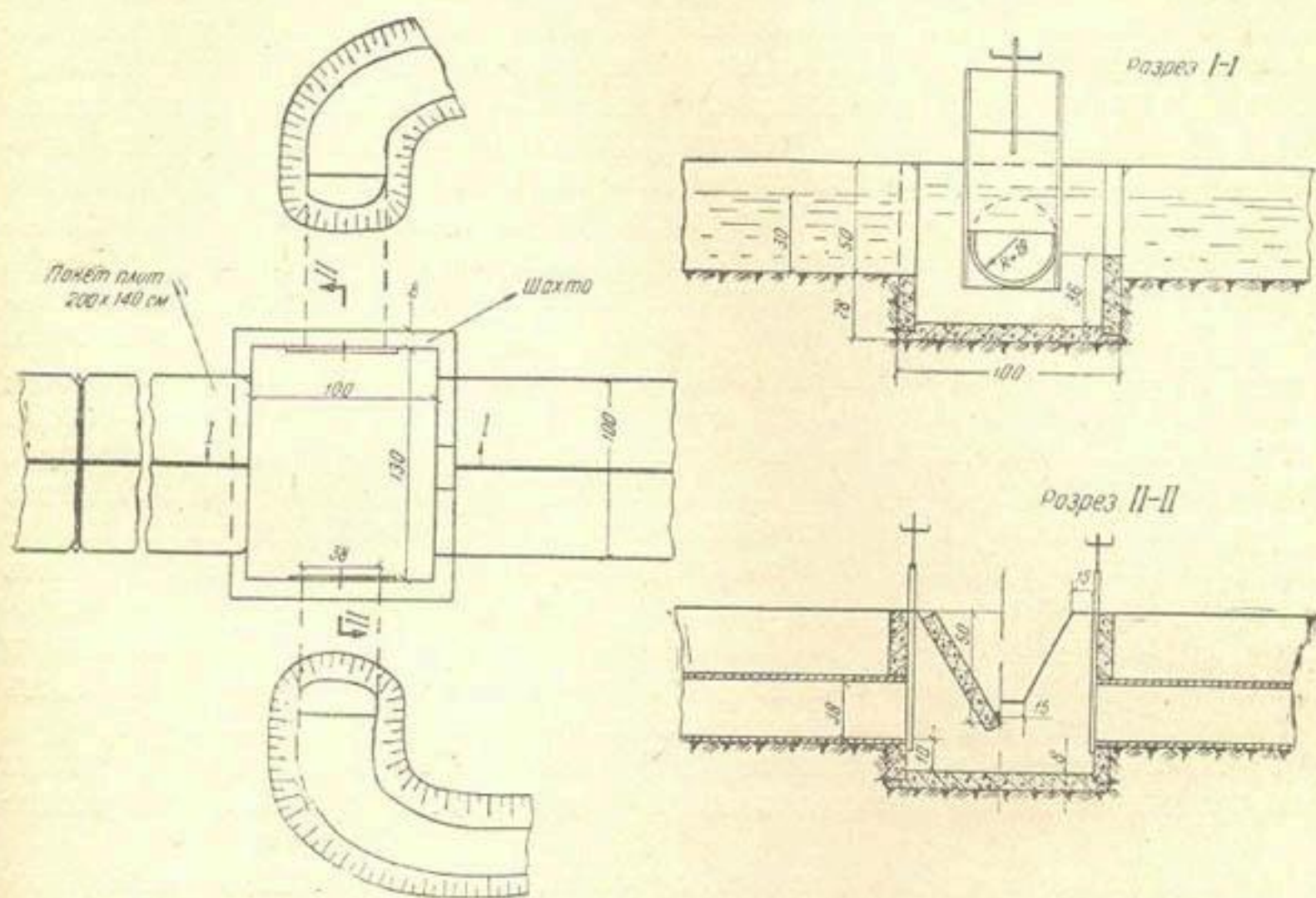


Рис. 5. Схема водовыпуска с  $Q = 200$  л/сек из облицованного канала треугольного сечения; расход материалов: бетон — 0,3 м<sup>3</sup>; арматура — 2,7 кг; металлоконструкции — 16 кг.

Для армирования водовыпусками распределителей с уклонами, больше критических, предлагается следующая конструкция водовыпуска из каналов треугольного профиля на расход до 200 л/сек. Как видно из рис. 5, в конструкции водовыпуска оголовки исключены и заменены шахтой. Водовыпуск состоит из следующих деталей: щитовой шахты с донной плитой, армированных каркасом из проволоки диаметром 6 мм, и двух асбоцементных труб. Шахта имеет два круглых отверстия диаметром по 425 мм для забора воды во временные оросители и два выреза: в передней стенке шахты — треугольного сечения, соответствующий профилю канала, в задней стенке — трапециевидального сечения, который создает 10-сантиметровый подпор. Глубина шахты 70 см. Рама щитового устройства крепится к шахте с помощью шести болтов диаметром 10 мм. Между рамой и шахтой укладывается гидроизоляционная прокладка. Сопряжение трубы и шахты осуществляется путем вставки трубы в отверстие шахты, а швы заделываются цементным раствором с предварительной зачеканкой гидроизоляционной прокладкой.

Такая конструкция водовыпуска обеспечила водозабор из каналов треугольного профиля с большими уклонами и позволила по сравнению с проектом снизить расход бетона на 0,5 м<sup>3</sup> и арматуры — на 10 кг на одно сооружение.



По разработанной технологии изготовления и монтажа сборных бетонных облицовок внутрихозяйственных каналов в течение 1960—1961 гг. на массиве «Арка» было облицовано 35 пог. км каналов с расходом до 2 м<sup>3</sup>/сек.

Накопленный опыт позволил определить себестоимость сборных бетонных облицовок внутрихозяйственных каналов. Для условий строительства оросительной сети массива «Арка» стоимость 1 м<sup>3</sup> сборной облицовки внутрихозяйственных каналов треугольного профиля равна 27 руб. 80 коп. при сметной стоимости 54 руб. 80 коп. Снижение стоимости на 50% произошло за счет перехода от железобетонной к бетонной сборной облицовке, плиты которой имели только монтажную арматуру и изготавливались на стендах-бассейнах, а также за счет механизации основных работ и усовершенствования технологии изготовления деталей сборных облицовок.

К недостаткам проведенных работ следует отнести то, что заделка швов битумными мастиками выполнялась вручную, а стоимость этих работ составила 13,5% (3 руб. 75 коп.) от стоимости 1 м<sup>3</sup> сборной облицовки каналов. При выполнении монтажных работ по схеме сопряжения пакетов плит на гидроизоляционных прокладках процесс заделки швов механизмуется и согласно опытным данным стоимость его снижается на 68% (составляет 1 руб. 56 коп.). Следовательно, себестоимость 1 м<sup>3</sup> сборной облицовки треугольных каналов может быть снижена для условий строительства оросительной сети массива «Арка» до 25 руб. Следует также отметить, что уменьшение толщины плит бетонного пакета с 6 до 4 см позволит снизить себестоимость сборных облицовок каналов треугольного профиля еще на 20%.

Проведенные комплексные исследования по сборным облицовкам внутрихозяйственных каналов дали возможность сделать следующие выводы.

1. Для внутрихозяйственной оросительной сети можно рекомендовать облицованные каналы треугольного поперечного сечения.

2. Пакеты бетонных плит С-6÷С-4 могут быть использованы для облицовки каналов треугольного профиля на внутрихозяйственной сети.

3. В качестве заполнителей швов гибкой облицовки должны использоваться гидроизоляционные прокладки.

4. Стоимость сборных бетонных облицовок каналов треугольного профиля при изготовлении и монтаже их по предлагаемой технологической схеме снижается по сравнению со сметной в два раза.

5. Необходимо продолжить производственные исследования по механизированному монтажу сборных облицовок каналов треугольного профиля на гидроизоляционных прокладках.

6. Необходимо механизировать работы по планировке откосов каналов внутрихозяйственной сети.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Богомолов В. Н., Зайдман Я. Д., Кондрашенко А. К. «Гидротехника и мелиорация», 1958 №№ 6, 7.



А. Ф. ЧИЧАЕВ, Л. Я. БОНДАРЬ

## НЕКОТОРЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЫБОР КОНСТРУКТИВНЫХ РАЗМЕРОВ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБЛИЦОВОК КАНАЛОВ

Для борьбы с потерями воды применяется бетонная одежда каналов.

Многолетним опытом строительства облицовок доказано, что бетонные и железобетонные облицовки каналов более эффективны, чем другие, известные в настоящий момент в практике мирового строительства меры защиты поверхности каналов от фильтрации. Хотя единовременные затраты на выполнение таких облицовок выше затрат на другие виды противофильтрационных защит, они окупаются при эксплуатации каналов в первые же годы.

Типы и размеры облицовок разнообразны и зависят как от индивидуальных особенностей канала, так и специфических особенностей строительства. Например, толщина облицовки деривационных каналов с расходом от 25 до 300 м<sup>3</sup>/сек обычно равна 15—25 см, т. е. изменяется не пропорционально расходам. Если расходы каналов изменяются в 12 раз, то толщина облицовки — только в 1,6—1,7. Подобный вывод можно сделать и в отношении влияния скорости течения на толщину облицовки. Для бетонных поверхностей облицовок можно допустить размывающие скорости до 10—12 м/сек. На практике эта способность облицовки полностью не используется.

Облицовка деривационных и судоходных каналов при режимах работы канала с резким и большим колебанием горизонтов воды требует устойчивости на откосе, т. е. должна противостоять обратному фильтрационному давлению воды. Толщина облицовки этих каналов должна быть больше, чем в подобных по размерам ирригационных каналах. Горизонт изменяется в них менее интенсивно. Здесь при расходах воды 20—145 м<sup>3</sup>/сек толщина облицовки колеблется в пределах 8—10 см. При нормальной эксплуатации подобные облицовки обратного фильтрационного давления почти не испытывают. Их толщина назначается из условия противофильтрационных свойств бетона облицовки или из условия ведения работ.

Ввиду того, что в бетонных облицовках моменты образования трещин и разрушения совпадают, что является большим недостатком, стали применять облицовки из железобетона. Количество арматуры проектируемых облицовок колеблется в больших пределах, разнообразны и приемы армирования. Количество арматуры часто принимается по конструктивным соображениям и в ряде случаев составляет около 0,1%. Совершенно очевидно, что в таком малом количестве она теряет свой смысл, так как не может увеличить прочности плиты или способствовать сокращению ширины трещин.



В практике отечественного и американского строительства бытует мнение, что противофильтрационные облицовки многих ирригационных каналов могут быть с успехом выполнены и без арматуры. Из проектной практики известно, что конструктивные размеры облицовки чаще всего назначаются по аналогии и порой недостаточно научно-технически обоснованы.

Экспериментальные исследования по облицовке каналов, приведенные в литературе [3], с полнотой оценивают работу облицовки при усадочных и температурных воздействиях. Не касаясь теоретических выкладок, в некоторых случаях, спорных и вызывающих сомнение, считаем, что фактический материал наблюдений может быть использован при проектировании облицовки. В частности, это относится к влиянию усадки бетона и температуры окружающей среды на работу железобетонной облицовки.

Работу облицовки необходимо рассматривать в два периода: 1-й — до заполнения канала водой, 2-й — в условиях заполненного водой канала.

По условиям работы 1-й период наиболее неблагоприятный: велико влияние усадки бетона, которая, как известно, наиболее интенсивна в раннем возрасте бетона. Напряжение в арматуре в этот период составляет 600—650 кг/см<sup>2</sup>, постепенно снижаясь до 500—100. Такая величина напряжений в арматуре подтверждается многочисленными опытами по другим железобетонным конструкциям. Влияние температуры в 1-й период значительно, так как температура бетона ненамного отличается от температуры наружного воздуха.

Во 2-й период вода охлаждает бетон и снижает его усадку.

Таким образом, можно считать, что влияние усадки резко уменьшается при заполнении канала водой.

В монолитной облицовке весь процесс усадки бетона протекает в конструкции, следовательно, в такой облицовке влияние усадки сказывается полностью. Появление усадочных трещин в этом случае неизбежно и остается только неясным, насколько они неблагоприятны.

В большинстве железобетонных конструкций усадочные трещины не влияют на прочность и, надо полагать, что это имеет место и в данном случае. Наличие трещин в облицовке, конечно, нежелательно ввиду фильтрации воды и коррозии арматуры, особенно в пределах полосы льдообразования, где в зимний период работы канала облицовка может разрушиться.

Следовательно, в монолитной облицовке появление трещин от усадки бетона неизбежно, количество и размер их зависят от качества бетона, способа его укладки и последующего ухода за ним.

В облицовке из сборных бетонных и железобетонных плит усадка бетона протекает в две стадии.

В первой стадии, когда плита еще не уложена на место, усадка наиболее интенсивна.

Во второй стадии усадка в бетоне в основном уже завершена. Плита укладывается на грунт. При заполнении канала водой можно говорить о полном прекращении усадки и даже разбухании бетона, благоприятно отражающемся на его работе.

В бетонных облицовках трещины усадки почти не появляются, так как при деформациях последних ничто не мешает их укорочениям. При правильном подборе состава бетона и назначении размеров плит облицовки, а иногда введением косвенного армирования в большинстве случаев можно избежать трещин от усадки.



С усадочными деформациями легче бороться в предварительно-напряженных конструкциях, в которых созданные в бетоне сжимающие напряжения полностью гарантируют исключение усадочных трещин. Как правило, избежать усадочных трещин в плитах из обычного железобетона не удастся.

Изменение температуры облицовки по отношению к температуре укладки и схватывания бетона вызывает деформации удлинения или укорочения ее. Наиболее опасная деформация — укорочение облицовки при понижении температуры. Колебания температуры следует разделить на два диапазона: понижение температуры до нуля (диапазон положительных температур) и ниже нуля (диапазон отрицательных температур).

В диапазоне положительных температур свободному перемещению кромок плиты при эластичных шпонках в швах препятствует только сила трения плиты по основанию. Суммарная величина этой силы, отнесенная к срединному сечению плиты, пропорциональна вертикальным нагрузкам на основание (вода, собственный вес) и вычисляется по формуле

$$T = 0,5 blf (h\gamma_b + H\gamma_v), \quad (1)$$

где  $b, l, h$  — размеры выбранной полосы плиты — соответственно ширина, длина, толщина;

$H$  — глубина воды над поверхностью плиты;

$\gamma_b, \gamma_v$  — объемный вес — соответственно бетона, воды;

$f$  — коэффициент трения бетона по грунту основания;

$T$  — суммарная величина силы трения, приходящаяся на половину плиты.

Указанная сила приложена к нижней плоскости плиты. Напряжение растяжения у нижней плоскости бетонной плиты определяется по формуле

$$\sigma = \frac{T}{bh} + \frac{6T \times 0,5h}{bh^2} = \frac{4T}{bh}. \quad (2)$$

Подставим в это выражение значение  $T$  из формулы (1) и предельное значение  $\sigma$ , равное

$$\sigma = \frac{mR_p}{K_{\tau}},$$

где  $m = 2$  для сечения  $h \leq 15$  см;

$R_p$  — прочность бетона на растяжение;

$K_{\tau}$  — коэффициент трещиностойкости облицовки;

$$\frac{mR_p}{K_{\tau}} = \frac{2lf(h\gamma_b + H\gamma_v)}{h}.$$

Отсюда можно определить предельно допустимую длину плиты, работающей в диапазоне положительных температур

$$l_{\text{пред}} = \frac{mR_p h}{2K_{\tau} f (h\gamma_b + H\gamma_v)}, \quad (3)$$

$$l_{\text{пред}} = \frac{\sigma h}{2f (2,5 h + H)}. \quad (3a)$$



(В (3а) предполагается, что объемный вес бетона  $2,5 \text{ т/м}^3$ , воды —  $1 \text{ т/м}^3$ ).

Как видно из формул (3) и (3а), для несмоченного водой откоса ( $H = 0$ ) в диапазоне положительных температур расстояние между швами плит не зависит от толщины облицовки

| $f$ | Предельное расстояние (м) между швами при $\sigma$ (кг/см <sup>2</sup> ) |    |    |    |    |
|-----|--------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|
|     | 6                                                                        | 8  | 10 | 12 | 14 |
| 0,3 | 40                                                                       | 53 | 66 | 80 | 93 |
| 0,4 | 30                                                                       | 40 | 50 | 60 | 70 |
| 0,5 | 24                                                                       | 32 | 40 | 48 | 56 |
| 0,6 | 20                                                                       | 26 | 33 | 40 | 46 |

$$l_{\text{пред}} = \frac{\sigma}{5f}. \quad (4)$$

В таблице приведены предельные расстояния между швами бетонных плит, вычисленные по формуле (4).

Приведем предельно допустимую длину плит для некоторых характерных случаев по формуле

(3а) для облицовки, работающей постоянно под водой.

Случай 1.

$$f = 0,6, \quad h = 0,05 \text{ м}, \quad \sigma = 60 \text{ т/м}^2, \quad H = 3,0 \text{ м},$$

$$H = 1,0 \text{ м}$$

$$l_{\text{пред. } H=3} = 60 \frac{0,05}{2 \times 0,6 (2,5 \times 0,05 + 3)} = 1,4 \text{ м},$$

$$l_{\text{пред. } H=1} = 60 \frac{0,05}{2 \times 0,6 (2,5 \times 0,05 + 1)} = 2,2 \text{ м}.$$

Случай 2.

$$f = 0,3, \quad h = 0,2 \text{ м}, \quad \sigma = 140 \text{ т/м}^2, \quad H = 8,0 \text{ м},$$

$$H = 3,0 \text{ м}$$

$$l_{\text{пред. } H=8} = 140 \frac{0,20}{2 \times 0,3 (2,5 \times 0,2 + 8)} = 5,5 \text{ м},$$

$$l_{\text{пред. } H=3} = 140 \frac{0,20}{2 \times 0,3 (2,5 \times 0,2 + 3)} = 10,0 \text{ м}.$$

Эти длины или в основном совпадают или больше размеров плит облицовок, выполняемых в отечественном ирригационном строительстве [14].

В диапазоне отрицательных температур свободному перемещению кромок плиты при эластичных шпонках в швах препятствуют силы трения плиты по грунту основания — собственный вес, внешние нагрузки и смерзание плиты с основанием.

С наступлением зимнего периода, когда температура ниже нуля, в охлаждаемой зоне грунтового основания возникает процесс бурной сублимации водяных паров (переход частиц водяного пара в кристаллический осадок минуя жидкую фазу), перемещающихся с нижних, более теплых, в верхние более холодные и замерзающие слои. Процесс перегонки водяных паров из нижних слоев в верхние и другие виды перераспределения глубинной влаги основания, а также фильтрационных вод проходят настолько интенсивно, что нижняя поверхность бетонной плиты, а также все поры замерзающего грунтового слоя в той или иной степени заполняются кристаллами льда. Бетонная плита оказывается спаянной с основанием настолько прочно, что не может перемещаться свободно по его поверхности.



Однако бетонную плиту и замерзшее основание нельзя принимать за однородный монолит, так как в силу различных физических свойств и характера возникающих внутренних усилий оба тела отличаются друг от друга. Если железобетонная плита при понижении температуры сокращается по размерам, то замерзающее основание при достаточном водном питании, наоборот, увеличивается в объеме и расширяется во все стороны.

По замерзшему основанию плита может переместиться только в том случае, если возникающие силы среза в состоянии вызвать разрушение ледяных кристаллов, связывающих плиту с основанием. Если замерзшее основание представляет небольшую прослойку, то силы смерзания способны переместить примерзшую часть грунта. Эти силы должны быть достаточно большими, так как плавление льда, по Жамману и Бриджмену [2], при температуре  $-5^{\circ}\text{C}$  произойдет при напряжении среза в плоскости соприкосновения льда и плиты около  $600 \text{ кг/см}^2$ , что в 15—20 раз больше сопротивления бетона растяжению.

Увеличение в объеме замерзающего грунтового основания и, следовательно, перемещение отдельных его частиц происходит во все стороны с преимуществом в сторону свободного пространства, что в течение зимнего периода приводит к поднятию облицовки.

Таким образом, возникает сложная система горизонтальных и вертикальных усилий, вызывающая в отдельных случаях образование трещин в облицовке. Ввиду сложности системы силовых воздействий трудно определить допустимое расстояние между температурными швами или наибольший размер плиты.

Имеются указания [1] по ориентировочному назначению размеров плит с учетом сил смерзания облицовки с основанием, согласно которым составлен график (рис. 1). В зависимости от марки бетона можно определить допустимый размер плиты, при котором не появятся трещины при смерзании плиты с грунтовым основанием.

Для определения длины железобетонной плиты можно использовать формулу (36). Для ее вывода примем обозначения:

$l_{ж.б.}$ ,  $l$  — длина плиты — соответственно железобетонной и бетонной;

$u_{ц.т.}$  — расстояние от растянутого волокна плиты до центра тяжести приведенного сечения плиты;

$h$  — толщина плиты;

$I$ ,  $I_{пр}$  — момент инерции и приведенный момент инерции соответственно бетонной и железобетонной плит;

$F$ ,  $F_{пр}$  — площадь поперечного сечения и приведенная площадь поперечного сечения соответственно бетонной и железобетонной плит;

$N_1$ ,  $N_2$  — силы смерзания с основанием соответственно бетонной и железобетонной плит;

$M_1$ ,  $M_2$  — изгибающие моменты в плите, вызванные силами соответственно  $N_1$  и  $N_2$ ;

$\sigma_c$  — напряжение смерзания плиты с основанием;

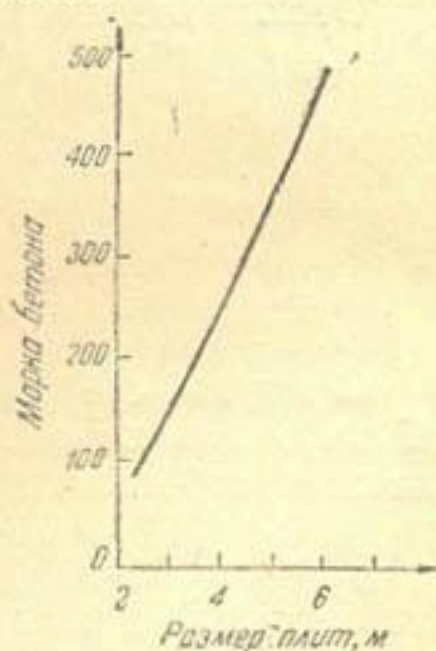


Рис. 1. График зависимости длины плиты от марки бетона при работе облицовки в диапазоне отрицательных температур.



$R_p$  — предел прочности бетона при растяжении;  
 $K_r$  — коэффициент трещиностойкости плит;  
 $m = 2$ , согласно СН 55—59.

Учитывая, что силы смерзания плиты с основанием приложены к нижней плоскости, напишем уравнение прочности железобетонной плиты, согласно СН 55—59,

$$\frac{R_p}{K_r} \gg \frac{M_2 (h - y_{ц.т})}{m I_{пр}} + \frac{N_2}{F_{пр}}.$$

Подставляя значение  $m = 2$  и принимая  $y_{ц.т} = 0,5 h$ , получим

$$\frac{R_p}{K_r} \gg \frac{0,5 M_2 h}{2 I_{пр}} + \frac{N_2}{F_{пр}} = \frac{0,5 (0,5 h N_2) h}{2 I_{пр}} + \frac{N_2}{F_{пр}} = N_2 \left( \frac{F_{пр} h^2 + 8 I_{пр}}{8 I F} \right).$$

Для бетонной плиты аналогичное уравнение прочности будет выглядеть так:

$$\frac{R_p}{K_r} \gg N_1 \left( \frac{F h^2 + 8 I}{8 I F} \right).$$

Отсюда величина силы смерзания плиты с грунтом —

$$N_2 = \frac{R_p}{K_r} \cdot \frac{8 I_{пр} F_{пр}}{F_{пр} h^2 + 8 I_{пр}},$$

$$N_1 = \frac{R_p}{K_r} \cdot \frac{8 I F}{F h^2 + 8 I}.$$

С другой стороны, сила смерзания плиты с грунтовым основанием, действующая на одну ее половину, определится из уравнения: для железобетонной плиты —

$$N_2 = 0,5 \sigma_c l_{ж.б} b,$$

для бетонной плиты —

$$N_1 = 0,5 \sigma_c l b.$$

Возьмем отношение этих сил

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{l_{ж.б}}{l} = \frac{I_{пр} F_{пр} (F h^2 + 8 I)}{I F (F_{пр} h^2 + 8 I_{пр})}.$$

Обозначим через

$$n = \frac{I_{пр} F_{пр} (F h^2 + 8 I)}{I F (F_{пр} h^2 + 8 I_{пр})},$$

тогда

$$l_{ж.б} = n l, \quad (36)$$

$$n \approx 1,03 \div 1,04.$$

Как отмечалось выше, облицовки каналов имеют различное назначение. В зависимости от этого по-разному учитывается фильтрационное давление воды на облицовку. Облицовки, предназначенные для защиты поверхности грунта от размыва, обычно имеют неплотные швы между плитами и не испытывают фильтрационного давления воды со стороны грунта. Такие облицовки устраиваются обычно на слабо фильтрующих грунтах. На сильно фильтрующих грунтах выпол-



няются противофильтрационные облицовки с водонепроницаемыми швами соединения плит между собой. В таких облицовках фильтрационное давление не представляет опасности, так как профильтровывающаяся влага поглощается грунтом.



Рис. 2. Схема расчетных нагрузок облицовки:

$N$ —взвешивающее давление,  $W_1$ —фильтрационное давление,  $P$ —вес плиты,  $T$ —сила трения плиты по грунту,  
 $N_x = h(H - \Delta H)$ ,  $N_y = h(H - \Delta H) \operatorname{ctg} \alpha$ ,  $P_x = P \sin \alpha$ ,  
 $P_y = P \cos \alpha$ ,  $T = (P_x - N_x - W_1 - W_2)f$ ,  $W_1 = \frac{H - \Delta H}{\sin \alpha} \Delta H$ ,  
 $W_2 = \frac{0,5 \Delta H^2}{\sin \alpha}$ ,  $\sin \alpha = \frac{1}{\sqrt{1+m^2}}$ ,  $\cos \alpha = \frac{m}{\sqrt{1+m^2}}$ .

На тех участках, где коэффициент фильтрации грунта мал, а канал облицован противофильтрационной облицовкой, в момент колебания уровня воды в канале возможно создание избыточного фильтрационного давления воды на облицовку.

Устойчивость облицовки на откосе обуславливается допустимым фильтрационным давлением, уклоном откоса, свойствами грунта основания, весом плит облицовки, надежностью работы дренажа за облицовкой.

Условия статического равновесия плиты на откосе в плоской задаче характеризуются тремя уравнениями статики, отражающими в нашей интерпретации соответственно устойчивость плиты на скольжение по откосу, всплывание и опрокидывание последней:

$$\left. \begin{array}{l} 1. \sum X = 0 \\ 2. \sum Y = 0 \\ 3. \sum M = 0 \end{array} \right\}. \quad (5)$$

По этим уравнениям можно определить наибольшую величину допустимого перепада горизонтов воды в канале и за облицовкой, при котором не нарушается целостность противофильтрационной облицовки и швов соединения между плитами.

Рассмотрим работу верхней плиты откоса длиной  $l$  или любой плиты откоса без продольного шва на откосе. Ширина рассматриваемой полосы принимается равной 1 пог. м.

При выбранных координатных осях (рис. 2) первое условие уравнения (5) характеризует устойчивость облицовки скольжению по откосу (прочностью швов пренебрегаем).



На облицовку действуют силы:

- 1) составляющая собственного веса  $P_x$ ;
- 2) составляющая взвешивающего давления  $N_x$ ;
- 3) сила трения облицовки по грунту  $T$ .

Силы взаимодействия с нижележащей плитой в расчет не вводятся, так как они появляются после потери устойчивости плиты верхнего яруса.

При коэффициенте устойчивости на скольжение, равном  $K_c$ , первое условие уравнения (5) имеет вид

$$\sum X = T + N_x - P_x K_c = 0.$$

Подставим сюда значение каждой силы

$$(P_y - N_y - \sum W) f + h(H - \Delta H) - PK_c \sin \alpha = 0,$$

где  $f$  — коэффициент трения бетонной плиты по мокрой поверхности откоса.

$$\left[ P \cos \alpha + h(H - \Delta H) \operatorname{ctg} \alpha - \frac{H - \Delta H}{\sin \alpha} \Delta H - \frac{0,5 \Delta H^2}{\sin \alpha} \right] f + h(H - \Delta H) - PK_c \sin \alpha = 0.$$

Приведя подобные члены и пренебрегая малыми величинами ( $f h \Delta H \cos \alpha - h \Delta H \sin \alpha$ ), получим

$$\Delta H^2 - 2H\Delta H + \left( P \sin 2\alpha - 2hH \cos \alpha + 2hH \frac{\sin \alpha}{f} - 2PK_c \frac{\sin^2 \alpha}{f} \right) = 0. \quad (6)$$

Обозначим

$$A = P \sin 2\alpha - 2hH \cos \alpha + 2hH \frac{\sin \alpha}{f} - 2PK_c \frac{\sin^2 \alpha}{f}$$

и окончательно получим уравнение в следующем виде:

$$\Delta H^2 - 2H\Delta H + A = 0, \quad (7)$$

откуда и находим значение допустимого перепада горизонтов в канале и за облицовкой

$$\Delta H = H - \sqrt{H^2 - A}. \quad (8)$$

Из уравнения (6) можно определить  $K_c$  при всех прочих известных величинах

$$K_c = \frac{\left( \Delta H^2 - 2H\Delta H + P \sin 2\alpha - 2h \cos \alpha + 2Hh \frac{\sin \alpha}{f} \right)}{2P \sin^2 \alpha}. \quad (9)$$

В частном случае для сухого откоса при  $H = \Delta H = 0$

$$K_c = \frac{f \sin 2\alpha}{2 \sin^2 \alpha} = f \operatorname{ctg} \alpha. \quad (10)$$

Как видно из этого уравнения, устойчивость плиты на скольжение по сухому откосу не зависит от веса последней, а зависит только от коэффициента трения плиты по грунту и угла наклона откоса к горизонту.

Рассматривая второе условие уравнений (5), получим

$$\sum Y = (N_y + \sum W) K_b - P_y = 0,$$



где  $K_b$  — коэффициент устойчивости плиты всплыванию. Раскроем это уравнение и приведем подобные члены

$$\Delta H^2 - 2(h \cos \alpha - H) \Delta H + 2 \left( \frac{P}{2K_b} \sin 2\alpha - hH \cos \alpha \right) = 0. \quad (11)$$

Пренебрегая малой величиной  $h \cos \alpha$  и обозначив через

$$B = 2 \left( \frac{P}{2K_b} \sin 2\alpha - hH \cos \alpha \right),$$

получим уравнение

$$\Delta H^2 + 2H \Delta H + B = 0, \quad (12)$$

откуда

$$\Delta H = -H + \sqrt{H^2 - B}. \quad (13)$$

Из уравнения (11) можно найти  $K_b$  при всех прочих известных величинах

$$K_b = \frac{-P \sin 2\alpha}{\Delta H^2 + 2(h \cos \alpha - H) \Delta H - 2Hh \cos \alpha}. \quad (14)$$

Наименьшее значение  $K$  при  $\Delta H = 0$  —

$$K_{b \min} = \frac{-P \sin \alpha}{Hh}. \quad (15)$$

Третье условие уравнения статики (5) характеризует устойчивость облицовки на опрокидывание, которое может происходить как относительно ребра у дна, так и относительно ребра у бровки канала.

На облицовку действуют силы:

- 1) составляющая собственного веса  $P_y$ ;
- 2) составляющая взвешивающего давления  $N_y$ ;
- 3) фильтрационное давление  $W_1$  и  $W_2$ .

Опрокидывающий момент относительно ребра у начала координат при коэффициенте устойчивости плит на опрокидывание  $K_0$  —

$$M'_0 = \frac{P_y l}{2} - K_0 \left[ \frac{0,5(H - \Delta H)}{\sin \alpha} (N_y + W_1) + W_2 \left( \frac{H}{\sin \alpha} - \frac{2}{3} \frac{\Delta H}{\sin \alpha} \right) \right] = 0. \quad (16)$$

Если вес плиты  $P = lh\gamma_6$ , то длина плиты —

$$l = \frac{P}{2,5h} \quad (17)$$

при  $\gamma_6 = 2,5 \text{ т/м}^3$ .

Подставим в формулу (16) значение  $P_y$ ,  $N_y$ ,  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $l$  и, освободившись от знаменателя в квадратных скобках, получим

$$\Delta H^3 - 0,855(3H - h \cos \alpha) \Delta H^2 - 0,855H(2h \cos \alpha - H) \Delta H + 0,855H^2 h \cos \alpha - \frac{P \sin 2\alpha}{5,87hK_0} \sin \alpha = 0. \quad (18)$$

Из уравнения (18) можно определить как допустимый перепад при заданном коэффициенте запаса на опрокидывание  $K_0$ , так и коэффициент запаса на опрокидывание при известном перепаде горизонтов

$$K_0 = \frac{P^2 \sin 2\alpha \sin \alpha}{5h[1,17\Delta H^3 - (3H - h \cos \alpha) \Delta H^2 - H(2h \cos \alpha - H) \Delta H + H^2 h \cos \alpha]}. \quad (19)$$



Опрокидывающий момент относительно ребра плиты у бровки канала равен

$$M_0'' = -\frac{P_y l}{2} + K_0 \left[ (N_y + W_1) \left( \frac{H - \Delta H}{2 \sin \alpha} + \frac{\Delta H}{\sin \alpha} \right) + W_2 \frac{2}{3} \frac{\Delta H}{\sin \alpha} \right] = 0.$$

Подставляя сюда значение длины плиты из (17) и освобождаясь от знаменателя в квадратных скобках, получим

$$\Delta H^3 + (h \cos \alpha + 0,667) \Delta H^2 - H^2 \Delta H - H^2 h \cos \alpha + \frac{P^2}{5hK_0} \sin 2\alpha \sin \alpha = 0, \quad (20)$$

отсюда

$$K_0 = \frac{P^2 \sin 2\alpha \sin \alpha}{[H^2 \Delta H - \Delta H^3 - (h \cos \alpha + 0,667) \Delta H^2 + H^2 h \cos \alpha] 5h}. \quad (21)$$

Наименьший коэффициент запаса — (9), (15), (19), (21) — и наименьший перепад — (8), (13), (18), (20) — расчетные.

Работа облицовки в эксплуатационных условиях зависит от ряда факторов: качества бетона, качества соединения плит, надежности основания и его геотехнических свойств.

В облицовках, предназначенных для защиты откосов от размывающего действия воды, когда коэффициент фильтрации облицовки и швов вместе взятых может быть больше коэффициента фильтрации основания, облицовка как бы «взвешивается» в воде и нагрузку от последней не несет.

В противофильтрационных облицовках, когда необходимо снизить фильтрацию воды из канала и коэффициент фильтрации облицовки и швов вместе взятых должен быть меньше коэффициента фильтрации основания, вода «прижимает» облицовку к основанию. В этом случае она является нагрузкой для облицовки.

Облицовка, покоящаяся на сплошном грунтовом основании, статически представляет собой конструкцию, работающую на упругом основании под нагрузкой собственного веса и воды над ней.

Напряжения от таких нагрузок для малогабаритных плит обычно не вызывают опасений. Например, сборная бетонная облицовка треугольных ирригационных каналов с размером плиты  $200 \times 120 \times 6$  см под эксплуатационной нагрузкой работает с восьмикратным запасом по трещиностойкости. Наиболее опасно напряжение от осадки откосов и местной просадки грунта основания под облицовкой. Величину и характер напряжения от этих деформаций можно выявить только экспериментальным путем.

Следует оговориться, что такие напряжения не должны быть лимитирующими в выборе параметров облицовки, поскольку они возникают от особого сочетания нагрузок и должны учитываться с меньшими коэффициентами запаса.

При деформации откосов плита облицовки следует за ними, но осадка откоса воспринимается не полностью плитами и не может быть расчетной. При осадке откоса разрезные плиты, соединенные эластичными шпонками, частично следуют за откосом без прогибов, частично деформации откосов смягчаются раскрытием деформационного шва и только некоторая доля осадки откоса компенсируется изгибом плит.

Прочность облицовки зависит от характера грунтов и качества выполнения насыпей. Хорошо выполненная облицовка деформируется при всякого рода просадках грунтов, и в таком случае желательно, чтобы она могла следовать за просадками, не вызывая появления трещин. Это обеспечивается при минимальной толщине облицовки.



обладающей наибольшей гибкостью. Всякое утолщение бетонной облицовки влечет за собой резкое увеличение ее жесткости. Более правильно добиваться повышения прочности и трещиностойчивости облицовки за счет принятия высоких марок бетона или создания в бетоне предварительных напряжений сжатия.

Для сравнения проанализируем и сравним работу монолитной железобетонной облицовки и облицовки сборной с применением предварительно-напряженного железобетона. Примем толщину монолитной облицовки  $h = 10$  см, предварительно-напряженной сборной —  $h = 5$  см, марки бетона соответственно «200» и «400», предварительное напряжение порядка  $40 \text{ кг/см}^2$ <sup>1</sup>.

Облицовка лежит на земляном откосе, и при осадках грунта край плиты может оказаться на весу. В этом случае плита работает как консоль с прогибом на конце, соответствующим величине осадки. Вследствие этого возникают растягивающие напряжения в бетоне облицовки, а при величине, превышающей прочность бетона на растяжение, неизбежно появление трещин.

Абсолютно одинаковое явление будет или может иметь место как при монолитной облицовке, так и при облицовке из сборных предварительно-напряженных плит. Однако деформации этих облицовок будут различны. Если предположить, что полная осадка грунта равна  $\Delta$ , то облицовка, стремясь получить прогиб  $f \leq \Delta$ , будет работать как консоль от нагрузки собственного веса. Прогиб консоли —

$$f = \frac{ql^4}{8EI},$$

где  $q$  — вес квадратной единицы плиты;

$l$  — длина консоли;

$E$  — модуль упругости бетона;

$I$  — момент инерции сечения.

Для монолитной облицовки  $E_1 = 220\,000 \text{ кг/см}^2$

$$I_1 = \frac{h_1^3}{12} \text{ при } b = 1,$$

для сборной —  $E_2 = 325\,000 \text{ кг/см}^2 \approx 1,5E_1$ ,

$$q_2 = 0,5q_1,$$

$$I_2 = \frac{h_2^3}{12} = \frac{(0,5h_1)^3}{12} = 0,125I_1.$$

Тогда для монолитной облицовки —

$$f_1 = \frac{q_1 l_1^4}{8E_1 I_1},$$

для сборной —

$$f_2 = \frac{q_2 l_2^4}{8E_2 I_2} = \frac{0,5q_1 l_2^4}{8 \times 1,5E_1 \times 0,125I_1} = \frac{q_1 l_2^4}{3E_1 I_1}.$$

Приравнявая прогибы  $f_1 = f_2$ , имеем

$$l_1 = \sqrt[4]{\frac{8}{3}} l_2 = 1,25l_2.$$

<sup>1</sup> Такие конструкции рассматривались при выборе облицовки для канала Северный Донец—Донбасс



Следовательно, при одинаковых прогибах вылет консоли в сборной облицовке в 1,25 раза меньше, чем при монолитной, т. е. сборная облицовка гибче монолитной и лучше следует за деформациями откоса.

Из уравнений прогибов облицовок определим вылет консоли для монолитной облицовки

$$l_1^4 = \frac{8E_1 I_1}{q_1} f_1,$$

для сборной —

$$l_2^4 = \frac{3E_1 I_1}{q_1} f_2.$$

Приравнивая вылет  $l_1 = l_2$  и сокращая, получим

$$8f_1 = 3f_2, \text{ откуда } f_2 \approx 2,7l_1.$$

Таким образом, при одинаковых вылетах консоли сборная облицовка допускает прогиб в 2,7 раза больше, чем монолитная.

Изгибающие моменты в облицовке от сил собственного веса при этом для монолитной —

$$M_1 = \frac{q_1 l_1^2}{2},$$

для сборной —

$$M_2 = \frac{q_2 l_2^2}{2}.$$

Тогда

$$M_2 = \frac{0,5q_1 l_1^2}{2 \times 1,25^2} = 0,31 \frac{q_1 l_1^2}{2} = 0,31 M_1,$$

т. е. при одних и тех же деформациях изгибающий момент облицовки при сборных плитах в 3 раза меньше, чем при монолитной.

Напряжение, возникающее в облицовке, составит:  
в монолитной

$$\sigma_1 = \frac{6M_1}{h_1^2},$$

в сборной —

$$\sigma_2 = \frac{6M_2}{h_2^2} = \frac{6 \times 0,31 M_1}{(0,5h_1)^2} = 1,25 \sigma_1.$$

При достижении в монолитной облицовке напряжений, вызывающих первые трещины,

$$R_{\text{пр}} = 1,67, R = 1,67 \times 17 = 28 \text{ кг/см}^2,$$

$$\sigma_2 = 1,25 \times 28 = 35 \text{ кг/см}^2.$$

Первые трещины сборной облицовки могут возникнуть при напряжении

$$\sigma_p = R_{2\text{пр}} + \sigma_{\text{пр}} = 1,67 \times 27 + 40 = 85 \text{ кг/см}^2.$$

Следовательно, при одних и тех же деформациях, вызывающих появление трещин в бетоне монолитной облицовки, сборная облицовка будет работать с коэффициентом запаса  $K = 85/35 = 2,4$ . Из этого следует, что при сборной предварительно-напряженной облицовке, имеющей меньшую толщину, но большую прочность, осадки могут быть допущены значительно большими, чем при монолитной.



## ВЫВОДЫ

1. Длина и ширина бетонных плит, работающих в надводной части в диапазоне положительных температур, должны назначаться из условия исключения трещин от усадочных напряжений (таблица). Эти размеры зависят не от толщины плит, а от прочности бетона на растяжение.

2. Длина и ширина плит, работающих постоянно под водой, должны назначаться с учетом действия эксплуатационных нагрузок от воды и собственного веса.

3. Размеры плит и бетонных облицовок, в которых возможно смерзание с основанием, могут назначаться в пределах 2,5—6 м при марке бетона БГТ «100—500». Тогда в них не появятся трещины. Размеры железобетонных плит можно увеличить на 3—4% при насыщении их арматурой до 0,6%.

4. Наименьшая толщина облицовки теоретически не может быть ограничена. Целесообразно трещиностойчивость железобетонной облицовки повышать не за счет увеличения толщины, а за счет увеличения марки бетона или использования предварительных напряжений сжатия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. «Автомобильные дороги», 1956, № 4.
  2. Вейнберг Б. П. Лед, М., Техиздат, 1940.
  3. Выгодский С. Я. Исследование работы железобетонных облицовок деривационных каналов, М., Госэнергоиздат, 1953.
  4. «Гидротехническое строительство», 1938, № 3.
  5. «Гидротехническое строительство», 1956, № 5.
  6. «Гидротехническое строительство», 1956, № 8.
  7. «Гидротехническое строительство», 1958, № 6, 7.
  8. Канал «Северный Донец — Донбасс», Сборная железобетонная облицовка канала, ОКБ Гидропроекта МЭС, 1958.
  9. Канал «Северный Донец — Донбасс», Технический проект облицовки откосов и дна канала, ОКБ Гидропроекта МЭС, 1957.
  10. Королев А. И. Каналы гидроэлектрических станций, М., Госэнергоиздат, 1937.
  11. Макридин А. В. Одежда каналов, как средство борьбы с фильтрацией, М., ОНТИ, 1936.
  12. Шварц Р. М. Применение бетона в борьбе с фильтрацией из оросительных каналов, М., Гипроводхоз, 1959.
-



---

Б. И. МИНКЕВИЧ, М. Н. САВЧЕНКО, И. УСМАНОВ

## О НОВЫХ МАТЕРИАЛАХ ДЛЯ ТРУБ ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА

Для устройства закрытых дрен в настоящее время применяют главным образом гончарные трубы [1], изготовление которых связано с такими трудоемкими операциями, как формовка, сушка и обжиг. Деревянные трубы используют в торфяных грунтах, где обеспечивается постоянный приток грунтовых вод, так как в противном случае дерево быстро загнивает. Бетонные трубы чувствительны к агрессивной водной среде. Более стойки в этом отношении асбестоцементные трубы, но они очень дороги.

В последние годы появились предложения изготавливать пористые дренажные трубы, которые принимают воду по всей своей длине, а не только через стыки, как в дренаже из плотных гончарных труб. Применение пористых дренажных труб улучшает гидравлику работы дрен и дает положительный экономический эффект благодаря отказу от фильтрующей обоймы [3].

Пористые трубы [4] изготавливают в основном из глиняного шнура, глины с примесью 10% опилок 5% древесного угля, крупнопористого бетона и битума (песчано-битумные трубы) [5]. Наиболее широкое применение нашли песчано-битумные трубы. Они стойки к агрессивной водной среде и обладают гидрофобностью (несмачиваемостью), что предотвращает заиляемость пористого материала труб и обеспечивает эффективную стабильную работу дренажа.

Исследования песчано-битумных растворов, проведенные ИВПиГ АН УзССР и МВХ УзССР, выявили и недостатки этого материала. В лаборатории подбирали песчано-битумные растворы, приготовленные на заполнителях различного гранулометрического состава, на битумах марок IV и V. Испытания показали, что песчано-битумные растворы не теплостойки. Опытные образцы труб, хранившиеся при температуре 50°C, начали размягчаться и деформироваться через 60 мин., а при температуре 25°C — через 3,5 часа. Малая теплостойкость и прочность затрудняют их хранение, транспортировку и укладку в условиях жаркого среднеазиатского климата.

Вскрытие опытных дрен из песчано-битумных труб, уложенных в 1960 г. ГСКБ по ирригации в Ферганской области и на Хашимкульском массиве (г. Канибадам), показало, что некоторые трубы сплюснуты и разрушены, вследствие чего дренаж в нескольких местах забит грунтом.



Технология приготовления песчано-битумных труб складывается из многих трудоемких операций: промывка и рассев заполнителей на нужные фракции, разогрев отмеренных количеств заполнителей и битума, тщательное перемешивание смеси при строгом контроле ее температуры. Особо следует отметить формовку труб, которая исключает послойную укладку и уплотнение песчано-битумной смеси в форме. Песчано-битумная смесь должна загружаться и уплотняться непрерывно, в противном случае между отдельными укладываемыми слоями смеси образуются слабые стыки в трубе. Незначительные отклонения в дозировке вяжущего и изменение гранулометрического состава заполнителей, перегрев песчано-битумной смеси, неравномерное уплотнение ее в форме резко изменяют свойства и качества труб.

В 1961 г. лаборатория строительных материалов ИВПиГ УзССР и МВХ УзССР начала проводить опыты по разработке экономического и стойкого к агрессивной водной среде материала для изготовления дренажных труб на базе местных вяжущих. В 1962 г. для изготовления плотных дренажных труб взамен гончарных стали применять гипсовые растворы и для пористых — отходы нефтепродуктов с добавками мономера «ФА».

Дренажные трубы из гипса могут быть весьма стойкими к действию агрессивных вод, содержащих сульфаты, поскольку гипс сам является сернокислой солью кальция, но он не водостоек и готовить из него дренажные трубы можно будет только в том случае, если затвердевшему гипсовому камню будет придана необходимая водостойкость.

Над повышением водостойкости гипса работали многие исследователи [2, 5]. Водостойкость гипса может быть повышена за счет ввода в него извести и цемента с гидравлическими добавками; водостойкие гипсовые изделия можно получить на основе добавок к гипсу некоторых полимерных веществ [6].

В Московском инженерно-строительном институте им. В. В. Куйбышева под руководством проф. А. В. Волженского проведены исследования, которые показали, что активные гидравлические добавки, вводимые в надлежащем количестве в системы гипс + портланд-цемент + вода, связывают сульфаты и алюминаты кальция в комплексные соли (сульфоалюминаты, сульфодерриты, сульфосиликоалюминаты и т. д.) менее растворимы, чем исходные материалы. Это изменяет характер твердения гипсоцементных композиций, которые приобретают способность к гидравлическому твердению и повышают свою прочность и водостойкость.

В лаборатории строительных материалов определяли возможность получения водостойких гипсовых растворов на основе местных гидравлических добавок (опока, глиеж) и добавок извести и цемента, а также исследовали стойкость этих растворов к агрессивной водной среде.

В опытах был применен строительный гипс 1-го сорта, полученный с Ташкентского гипсового завода. Из гипсового теста нормальной густоты, содержащего различные добавки, делали образцы-кубики ( $3 \times 3 \times 3$  см), балочки ( $4 \times 4 \times 16$  см) и стандартные восьмерки. Одну часть образцов хранили на воздухе, вторую — в воде, третью — в агрессивной водной среде. Агрессивная водная среда была приготовлена на основании данных анализа проб грунтовой воды, взятой в районе Голодной степи (совхоз № 4). В одном литре воды содержалось: 20,74 г хлористого натрия, 14,61 сернокислого натрия, 11,25 сернокислого магния и 0,53 г сернокислого кальция.



Образцы после различного срока хранения испытывали на сжатие, изгиб и разрыв. Лучшие результаты были получены при испытании образцов, приготовленных из гипсового теста, содержащего 20% (от веса гипса) портланд-цемента и 20% местной гидравлической добавки — опоки (табл. 1), состоящей из 85,10%  $\text{SiO}_2$ , 5,92  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 1,49  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 1,88  $\text{CaO}$ , 1,02  $\text{MgO}$ , 0,19  $\text{SO}_3$ , 1,43  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ , 2,61% п. п. п.

В воду образцы помещали через сутки после изготовления и испытывали во влажном состоянии.

Образцы из гипса с указанными добавками твердеют не только на воздухе, но и в воде и стойки к агрессивному действию грунтовой воды.

Образцы, пролежавшие в агрессивной водной среде в течение 90 дней, не изменили свою форму и размеры, а также не понизили прочности.

Таблица 1

| Возраст образцов, сутки | Образцы, хранившиеся на воздухе |                              | Образцы, хранившиеся в воде |                             |                              |
|-------------------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
|                         | предел прочности при сжатии     | предел прочности при разрыве | предел прочности при сжатии | предел прочности при изгибе | предел прочности при разрыве |
|                         | $\text{кг/см}^2$                |                              |                             |                             |                              |
| 3                       | 73,8                            | 11                           | 52,2                        | 16,8                        | 9,0                          |
| 7                       | 87,2                            | 22                           | 72,9                        | 28,6                        | 13,8                         |
| 28                      | 93,2                            | 24,7                         | 105,5                       | 45,0                        | 18,1                         |

Растворы, предназначенные для формовки пористых дренажных труб, готовили на продуктах переработки нефти (отходы дифенильной смолы) с добавлением в них 50% (по весу) мономера «ФА».

Таблица 2

| Возраст образцов, сутки | Предел прочности, $\text{кг/см}^2$ |            |             |
|-------------------------|------------------------------------|------------|-------------|
|                         | при сжатии                         | при изгибе | при разрыве |
| 7                       | 132                                | 39,0       | 14,8        |
| 28                      | 145                                | —          | 18,5        |
| 60                      | 157                                | 50,0       | 22,0        |

В качестве заполнителя раствора использовали речной песок крупностью от 5 до 0,6 мм с добавлением в него небольшого количества (4% по весу) молотого кварцевого песка.

Наиболее оптимальное количество вяжущего составляет 5—6% от веса заполнителя. Отвердителя (катализатора полимеризации) — бензолсульфоокислоты — необходимо вводить 30% от веса вяжущего,

при этом получается пористый материал, обладающий хорошей фильтрующей способностью и достаточно высокой прочностью (табл. 2).

Пористые растворы на речном песке и вяжущем — смеси отходов дифенильной смолы с мономером — стойки к сульфатной водной агрессии, прочны и не размягчаются при высоких летних температурах.

Пористые дренажные трубы, изготовленные из этого раствора, будут экономичны, поскольку в качестве вяжущего в растворах используется смесь дорогостоящего мономера «ФА» с дешевыми отходами дифенильной смолы.

Изготовление труб может осуществляться путем укладки и уплотнения холодных растворов в формы, как это делается при изготовлении труб из бетона.



Для изготовления и использования дренажных труб из предлагаемых материалов необходимо разработать конструкции труб и провести их испытания, детально изучить долговечность материалов и провести опытную укладку труб в производственных условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Адриянцайте Е. «Гидротехника и мелиорация», 1961, № 7.
  2. Волженский А. В., Роговой М. И., Стамбулко В. И. Гипсоцементные и гипсошлаковые вяжущие и изделия, М., Госстройиздат, 1960.
  3. Джафаров Г. Т., Здобков Е. Н., Степанян Е. С., Ахундов Г. А. «Гидротехника и мелиорация», 1961, № 1.
  4. Зенков М. В. «Гидротехническое строительство», 1960, № 10.
  5. Климушкин М. «Строительные материалы», 1958, № 12.
  6. Матвеев М. А., Ткаченко К. М. Водостойчивость гипсовых строительных изделий и ее повышение, М., Промстройиздат, 1951.
  7. Юнkevич Д. П., Левин М. Г. «Гидротехника и мелиорация», 1956, № 5.
-



---

Х. А. АСКАРОВ, Р. К. КЕНДЖАЕВ

### ПРОСАДОЧНОСТЬ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ ПЛОТИНЫ ДЖИЗАКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

В решениях январского (1961 г.) Пленума ЦК КПСС большое внимание уделено гидротехническому строительству в южных и восточных районах Советского Союза с благоприятными условиями для дальнейшего развития хлопководства и других сельскохозяйственных культур.

Однако новоосваиваемые земли юга СССР в основном сложены просадочными грунтами, что значительно осложняет строительство гидротехнических сооружений, поскольку требуется тщательная подготовка их основания.

До настоящего времени нет достаточно апробированного и научно обоснованного метода подготовки оснований, сложенных из просадочных грунтов. Перед проектировщиками, строителями и научными работниками встал вопрос о разработке рациональных методов строительства гидросооружений в условиях просадочных грунтов, предусматривающих специальные мероприятия, обеспечивающие прочность и устойчивость возводимых сооружений.

Мероприятия по ликвидации или смягчению просадочных деформаций базировались на изучении строительных свойств просадочных грунтов различных генетических районов республики. В результате была разработана схема составления прогноза ожидаемых просадочных деформаций грунтов.

За предыдущие годы лабораторией грунтоведения проведены полевые исследования для разработки мероприятий по подготовке оснований земляных плотин и каналов в условиях просадочных грунтов. Однако методика прогнозирования ожидаемых величин просадок грунтовых толщ, являющихся основанием крупных земляных гидротехнических сооружений, а также рекомендованные нами мероприятия по подготовке грунтов основания требуют проверки в различных районах с различными генетическими типами лессовых грунтов.

Проведенные с этой целью натурные исследования в районе строительства земляной плотины Чимкурганского водохранилища подтвердили правильность лабораторного прогноза ожидаемых просадок толщи грунтов и рекомендованных лабораторией мероприятий. Кроме того, были выяснены и уточнены отдельные рекомендации по строительству плотин на просадочных грунтах. Например, ранее мы указывали на недоуплотненность верхней толщи грунтов (3—5 м от дневной поверхности) после предварительной замочки. Для грунтов Чимкурганского водохранилища недеформируемый слой — 7 м. Недоуплот-



нение верхнего слоя грунтов до 7 м даже после 3—4-месячной замочки свидетельствует об опасности оставления этого слоя в основании плотины.

Для обобщения опыта строительства земляных крупных водохранилищных плотин в республике и за ее пределами в 1961—1963 гг. мы продолжили изучение этого вопроса на грунтах района строительства плотины Джизакского водохранилища в Сырдарьинской области. Проведение исследований на указанном объекте вызвано спорностью вопроса о величине ожидаемой просадки грунтов основания.

Ось плотины представлена ломаной линией, состоящей из трех отрезков. Основанием центральной части плотины, т. е. участка, который займет дно сая, будут служить современные аллювиальные отложения, представленные серым средним суглинком. Мощность его 2,0 м. На остальной части створ плотины расположится на четвертичных пролювиальных отложениях, сложенных лессовидным суглинком. Вскрытая мощность суглинка 50 м.

Горизонт грунтовых вод в верхнем бьефе плотины на склонах сая (скв. 45) по отношению к горизонту воды в дне сая выше на 11,32 м. Зеркало грунтовых вод, кроме основного уклона на север, со стороны г. Джизака имеет уклон в сторону Джаильмасая. Просадочные грунты находятся по бортам сая.

Склоны чаши водохранилища, водоразделы сая, а также прилегающие к ним пространства сильно расчлененной волнистой равнины сложены пролювиальными четвертичными отложениями, представленными лессовидными суглинками. Разведанная мощность этой толщи более 50 м.

По данным химических анализов, грунтовые воды слабоминерализованные. Содержание сухого остатка колеблется от 0,74 до 2,5 г/л.

В лабораторных условиях с грунтами плотины Джизакского водохранилища проведены следующие опыты<sup>1</sup>. Определены влажность, объемный вес, механический состав, состав соляно-кислых и водных вытяжек, размокаемость, коэффициент фильтрации, пределы пластичности, удельный вес и величина относительной просадочности (100 компрессионных испытаний продолжительностью 13—16 дней).

В результате получены экспериментальный материал, характеризующий физико-механические и строительные свойства подопытных грунтов в районе основания плотины (шурфы 33, 34, 35).

В процессе специальных исследований уточнена склонность грунтов к просадочным деформациям, получены также данные о величине возможных деформаций в грунтах.

Лабораторные исследования послужили основанием для назначения срока предварительной замочки и выбора слоя переработки, а также для выяснения ожидаемой величины просадки и послепросадочной осадки грунтов основания. Кроме того, они позволяют выбрать способ производства работ при возведении земляной плотины.

Ниже приводим результаты лабораторных исследований.

Естественная влажность подопытных грунтов по всем шурфам в верхней зоне очень низкая. По мере приближения к уровню грунтовых вод она возрастает.

По отдельным шурфам она колеблется в следующих интервалах: шурф 33 от 5,0 до 19,0%, шурф 34 от 4,0 до 22,0, шурф 35 от 4,0 до 20,0% (табл. 1).

<sup>1</sup> Исследования проведены под руководством Е. Д. Рождественского.



Низкая естественная влажность грунтов, залегающих выше зоны капиллярного увлажнения, свидетельствует о дефиците их влажности и возможной деформации при увлажнении.

Таблица 1.

| Расположение шурфа | Номер шурфа | Глубина, м | Естественная влажность, % | Объемный вес влажного грунта, т/м <sup>3</sup> | Объемный вес скелета грунта, т/м <sup>3</sup> | Удельный вес, т/м <sup>3</sup> | Пористость, % | Коэффициент пористости | Предел пластичности |        | Число пластичности |
|--------------------|-------------|------------|---------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------|---------------|------------------------|---------------------|--------|--------------------|
|                    |             |            |                           |                                                |                                               |                                |               |                        | верхний             | нижний |                    |
| Правый берег       | 33          | 1,0        | —                         | —                                              | —                                             | —                              | —             | —                      | —                   | —      | —                  |
|                    |             | 2,0        | 11,0                      | 1,70                                           | 1,47                                          | 2,74                           | 46,4          | 0,866                  | 22                  | 18     | 4                  |
|                    |             | 3,0        | 5,0                       | 1,36                                           | 1,29                                          | 2,72                           | 52,6          | 1,110                  | 27                  | 23     | 4                  |
|                    |             | 4,0        | 4,0                       | 1,38                                           | 1,32                                          | 2,73                           | 51,6          | 1,068                  | 25                  | 23     | 2                  |
|                    |             | 5,0        | 5,0                       | 1,41                                           | 1,34                                          | 2,71                           | 50,5          | 1,020                  | 25                  | 22     | 3                  |
|                    |             | 6,0        | 5,0                       | 1,50                                           | 1,42                                          | 2,69                           | 47,2          | 0,894                  | 35                  | 20     | 15                 |
|                    |             | 7,0        | 8,0                       | 1,52                                           | 1,42                                          | —                              | 48,9          | 0,954                  | 25                  | 18     | 7                  |
|                    |             | 8,0        | 9,0                       | 1,52                                           | 1,40                                          | 2,74                           | 48,2          | 0,931                  | 27                  | 14     | 13                 |
|                    |             | 9,0        | 9,0                       | 1,56                                           | 1,42                                          | 2,74                           | 47,8          | 0,916                  | 26                  | 17     | 6                  |
|                    |             | 10,0       | —                         | —                                              | —                                             | —                              | 43,6          | 0,713                  | 25                  | 17     | 8                  |
|                    |             | 11,0       | 9,0                       | 1,54                                           | 1,42                                          | 2,72                           | 43,3          | 0,764                  | 25                  | 16     | 9                  |
|                    |             | 12,0       | 10,0                      | 1,70                                           | 1,54                                          | 2,73                           | 44,3          | 0,795                  | 21                  | 16     | 5                  |
|                    |             | 13,0       | 11,0                      | 1,70                                           | 1,53                                          | 2,70                           | 41,0          | 0,695                  | 24                  | 19     | 2                  |
|                    |             | 14,0       | 14,0                      | 1,73                                           | 1,52                                          | 2,73                           | 38,8          | 0,634                  | 22                  | 20     | 2                  |
|                    |             | 15,0       | 19,0                      | 1,87                                           | 1,57                                          | 2,66                           | —             | —                      | 25                  | 18     | 7                  |
|                    |             | 16,0       | 19,0                      | 1,99                                           | 1,67                                          | 2,73                           | —             | —                      | 23                  | 16     | 7                  |
| Правый берег       | 34          | 1,0        | 4,0                       | 1,48                                           | 1,42                                          | 2,65                           | 46,4          | 0,866                  | 25                  | 21     | 4                  |
|                    |             | 2,0        | 7,0                       | 1,51                                           | 1,40                                          | 2,70                           | 48,1          | 0,927                  | 24                  | 22     | 2                  |
|                    |             | 3,0        | 10,0                      | 1,55                                           | 1,40                                          | 2,73                           | 48,7          | 0,949                  | 25                  | 17     | 8                  |
|                    |             | 4,0        | 15,0                      | 1,68                                           | 1,45                                          | 2,72                           | 46,7          | 0,876                  | 23                  | 20     | 3                  |
|                    |             | 5,0        | 22,0                      | 1,73                                           | 1,44                                          | 2,60                           | 44,6          | 0,805                  | 25                  | 22     | 3                  |
| Левый берег        | 35          | 1,0        | 5,0                       | 1,40                                           | 1,34                                          | 2,72                           | 50,7          | 1,028                  | 27                  | 20     | 7                  |
|                    |             | 2,0        | 4,0                       | 1,34                                           | 1,28                                          | 2,70                           | 52,6          | 1,110                  | 26                  | 20     | 6                  |
|                    |             | 3,0        | 4,0                       | 1,39                                           | 1,33                                          | 2,70                           | 50,7          | 1,028                  | 26                  | 20     | 6                  |
|                    |             | 4,0        | 6,0                       | 1,45                                           | 1,37                                          | 2,64                           | 48,1          | 0,927                  | 22                  | 17     | 5                  |
|                    |             | 5,0        | 5,0                       | 1,42                                           | 1,36                                          | 2,70                           | 49,6          | 0,984                  | 26                  | 21     | 5                  |
|                    |             | 6,0        | 5,0                       | 1,47                                           | 1,40                                          | 2,65                           | 47,2          | 0,984                  | 35                  | 24     | 11                 |
|                    |             | 7,0        | 4,0                       | 1,39                                           | 1,33                                          | 2,71                           | 50,9          | 1,037                  | 23                  | 17     | 6                  |
|                    |             | 8,0        | 11,0                      | 1,50                                           | 1,35                                          | 2,67                           | 49,4          | 0,976                  | 24                  | 19     | 5                  |
|                    |             | 9,0        | 14,0                      | 1,51                                           | 1,32                                          | 2,73                           | 51,6          | 1,068                  | 24                  | 20     | 4                  |
|                    |             | 10,0       | 19,0                      | 1,77                                           | 1,58                                          | 2,68                           | 41,0          | 0,695                  | 23                  | 19     | 4                  |
|                    |             | 11,0       | 20,0                      | 1,94                                           | 1,62                                          | 2,71                           | 40,4          | 0,672                  | 22                  | 17     | 5                  |

Объемный вес скелета грунтов, как известно, — один из основных показателей, характеризующих их склонность к деформациям при создании для этого определенных условий (влажности и нагрузки). По шурфам он составляет от 1,32 до 1,67 (шурф 33), от 1,40 до 1,45 (шурф 34) и от 1,28 до 1,62 т/м<sup>3</sup> (шурф 35).

По шурфу 33 просадка грунтов может распространяться до 1,0 м, по шурфу 34 — на всю глубину шурфа (5,0 м), а по шурфу 35 — до 9,0 м. Слои просадочных грунтов встречаются и на больших глубинах.

Верхние слои грунтовой толщи при их промачивании под бытовым давлением не дают значительных просадочных деформаций [1, 2].

Гранулометрический состав грунтов определен комбинированным способом (ситовым методом — фракции 1,0—0,25 и



0,25—0,10 мм, методом Сабанина—0,10—0,25 и 0,05—0,01 мм, методом пипетки Робинзона—0,01—0,005, 0,005—0,001 и 0,001 мм). В качестве стабилизатора применяли 10%-ный раствор аммиака. За 100% принято содержание грунта с отмытыми гипсом и водорастворимыми

Таблица 2

| Но-<br>мер<br>шур-<br>фа | Глу-<br>бина<br>отбо-<br>ра<br>про-<br>бы,<br>м | Содержание фракций, % |             |              |              |              |               |                |          | Отмы-<br>тые<br>соли,<br>% |
|--------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------|----------------------------|
|                          |                                                 | на ситах              |             |              | по Сабанину  |              | по Робинзону  |                |          |                            |
|                          |                                                 | 0,5 мм                | 0,5—0,25 мм | 0,25—0,10 мм | 0,10—0,05 мм | 0,05—0,01 мм | 0,01—0,005 мм | 0,005—0,001 мм | 0,001 мм |                            |
| 35                       | 1,0                                             | 1,23                  | 0,32        | 1,81         | 26,52        | 49,73        | 6,83          | 5,46           | 7,32     | 0,78                       |
|                          | 2,0                                             | 0,36                  | 0,06        | 0,16         | 21,14        | 60,41        | 8,55          | 3,76           | 4,80     | 0,76                       |
|                          | 3,0                                             | 0,01                  | 0,02        | 0,33         | 17,21        | 62,40        | 9,39          | 2,25           | 7,63     | 0,76                       |
|                          | 4,0                                             | 0,01                  | 0,02        | 0,22         | 15,18        | 63,14        | 9,81          | 4,34           | 6,67     | 0,61                       |
|                          | 5,0                                             | 0,01                  | 0,05        | 0,42         | 25,58        | 56,16        | 7,03          | 2,65           | 7,55     | 0,55                       |
|                          | 6,0                                             | 0,03                  | 0,06        | 0,27         | 16,76        | 62,32        | 7,89          | 6,57           | 5,13     | 0,97                       |
|                          | 7,0                                             | 0,05                  | 0,02        | 0,23         | 24,27        | 59,63        | 5,96          | 1,55           | 7,51     | 0,78                       |
|                          | 7,0                                             | 0,21                  | 0,05        | 0,26         | 19,33        | 54,76        | 4,54          | 9,62           | 10,3     | 40,89                      |
|                          | 8,5                                             | 0,40                  | 0,90        | 1,32         | 20,48        | 57,75        | 8,34          | 5,36           | 3,73     | 1,22                       |
|                          | 9,0                                             | 0,37                  | 0,12        | 0,34         | 16,63        | 59,90        | 8,88          | 4,22           | 8,59     | 0,59                       |
|                          | 10,0                                            | 0,17                  | 0,06        | 0,13         | 12,93        | —            | 9,88          | 8,01           | 6,62     | 0,59                       |
| 11,0                     | 0,36                                            | 0,30                  | 0,49        | 16,72        | 61,56        | 9,41         | 11,17         | 6,73           | 1,93     |                            |
| 34                       | 1,0                                             | 0,88                  | 0,36        | 0,53         | 22,76        | 54,22        | 7,73          | 7,65           | 5,87     | —                          |
|                          | 2,0                                             | 0,04                  | 0,07        | 0,18         | 28,00        | 55,38        | 7,45          | 3,47           | 5,08     | 0,33                       |
|                          | 3,0                                             | 0,38                  | 0,23        | 0,22         | 18,56        | 64,41        | 4,43          | 5,36           | 5,92     | 0,46                       |
|                          | 4,0                                             | 0,01                  | 0,05        | 0,30         | 21,86        | 55,20        | 9,08          | 8,29           | 4,67     | 0,59                       |
|                          | 5,0                                             | 0,05                  | 0,04        | 0,13         | 20,03        | 60,74        | 6,77          | 5,37           | 6,09     | 0,78                       |
| 33                       | 2,0                                             | 0,38                  | 0,31        | 1,78         | 33,23        | 42,94        | 8,25          | 6,96           | 5,66     | 0,49                       |
|                          | 3,0                                             | 0,01                  | 0,02        | 0,18         | 24,96        | 56,91        | 6,93          | 5,73           | 5,26     | —                          |
|                          | 4,0                                             | 0,03                  | 0,02        | 0,18         | 14,49        | 63,73        | 8,05          | 7,36           | 4,34     | 1,80                       |
|                          | 5,0                                             | 0,02                  | 0,11        | 0,40         | 12,54        | 62,02        | 10,25         | 7,54           | 7,00     | 0,12                       |
|                          | 6,0                                             | 0,06                  | 0,12        | 0,47         | 9,55         | 61,77        | 10,98         | 9,83           | 7,05     | 0,17                       |
|                          | 6,0                                             | 0,04                  | 0,23        | 0,29         | 9,66         | 61,81        | 9,74          | 10,07          | 7,99     | 0,17                       |
|                          | 8,0                                             | 2,53                  | 1,40        | 0,89         | 10,95        | 56,64        | 10,70         | 6,61           | 7,06     | 3,22                       |
|                          | 9,0                                             | 0,46                  | 0,29        | 1,39         | 14,26        | 53,84        | 17,39         | 12,37          | 9,88     | 0,12                       |
|                          | 10,0                                            | 3,02                  | 0,38        | 1,13         | 14,79        | 53,26        | 9,60          | 8,93           | 8,62     | 0,27                       |
|                          | 11,0                                            | 0,95                  | 0,20        | 0,71         | 21,13        | 59,86        | 6,57          | 4,16           | 6,32     | 0,10                       |
|                          | 12,0                                            | 0,42                  | 0,32        | 1,92         | 34,01        | 43,04        | 7,85          | 5,36           | 6,86     | 0,22                       |
|                          | 13,0                                            | 0,07                  | 0,06        | 0,31         | 24,83        | 58,85        | 6,13          | 3,53           | 6,05     | 0,17                       |
|                          | 14,0                                            | 0,01                  | 0,06        | 0,36         | 19,25        | 63,76        | 8,74          | 1,93           | 5,89     | —                          |
|                          | 15,0                                            | —                     | 0,05        | 0,25         | 19,11        | 63,50        | 4,23          | 5,74           | 7,12     | —                          |
|                          | 16,0                                            | 0,07                  | 0,17        | 0,47         | 14,71        | 65,14        | 6,63          | 4,35           | 8,46     | —                          |

солями. Гранулометрическому анализу подвергнуты образцы грунта, взятые с каждого метра из всех шурфов (табл. 2). Они относятся к категории пылеватых суглинков. Выявлена слабая неоднородность грунтов по глубине залегания.

О солевом составе грунтов можно судить по данным анализов водных и соляно-кислых вытяжек, свидетельствующих о том, что солевой комплекс грунта представлен в основном труднорастворимым гипсом (2,4—7,8%) и практически нерастворимым углекислым



кальцием (17,1—23,4%) при почти полном отсутствии легкорастворимых солей.

Размокаемость подопытных грунтов характеризует устойчивость их структуры по отношению к воде (увлажнению), что должно сказаться на деформации этих грунтов. Опыты на размокаемость проведены с кубиками грунта размером  $3,0 \times 3,0 \times 3,0$  см. Характер разрушения образца во времени фиксировали визуально.

Таблица 3

| Шурф | Глубина,<br>м | Влажность, %      |                    | Объемный<br>вес влаж-<br>ного грунта,<br>т/м <sup>3</sup> | Размокаемость                                                | Набуха-<br>ние, % |
|------|---------------|-------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------|
|      |               | до набуха-<br>ния | после<br>набухания |                                                           |                                                              |                   |
| 33   | 2,0           | 4                 | 41                 | 1,47                                                      | 1 мин. 35 сек.                                               | 10                |
|      | 3,0           | 5                 | 43                 | 1,31                                                      | 25 сек.                                                      | 12                |
|      | 4,0           | 4                 | 51                 | 1,37                                                      | 30 сек.                                                      | 9                 |
|      | 5,0           | 4                 | 42                 | 1,40                                                      | 6 мин. 30 сек.                                               | 14                |
|      | 6,0           | 4                 | 38                 | 1,47                                                      | 2 мин. 47 сек.                                               | 17                |
|      | 7,0           | 7                 | 35                 | 1,41                                                      | 1 час. 30 мин.                                               | 3                 |
|      | 8,0           | 7                 | 34                 | 1,51                                                      | 3 мин.                                                       | 4                 |
|      | 9,0           | 9                 | 33                 | 1,55                                                      | 3 мин. 3 сек.                                                | 9                 |
|      | 10,0          | 7                 | 35                 | 1,58                                                      | 1 час.                                                       | 8                 |
|      | 11,0          | 9                 | 35                 | 1,52                                                      | 1 час.                                                       | 6                 |
|      | 12,0          | 10                | 32                 | 1,60                                                      | 30 сек.                                                      | 7                 |
|      | 13,0          | 10                | 37                 | 1,65                                                      | 1 мин. 25 сек.                                               | 14                |
|      | 14,0          | 14                | 34                 | 1,75                                                      | 30 мин.                                                      | 14                |
|      | 15,0          | 18                | 32                 | 1,82                                                      | 1 мин. 8 сек.                                                | 12                |
|      | 16,0          | 24                | 30                 | 1,91                                                      | 2 мин. 30 сек.                                               | 3                 |
| 35   | 1,0           | 4                 | 41                 | 1,38                                                      | 1 мин. 10 сек.                                               | 6                 |
|      | 2,0           | 4                 | 45                 | 1,33                                                      | 1 мин.                                                       | 15                |
|      | 3,0           | 3                 | 40                 | 1,38                                                      | 40 сек.                                                      | 19                |
|      | 4,0           | 5                 | 39                 | 1,38                                                      | 1 мин.                                                       | 12                |
|      | 5,0           | 4                 | 38                 | 1,41                                                      | 1 мин.                                                       | 13                |
|      | 6,0           | 5                 | 36                 | 1,43                                                      | 55 сек.                                                      | 12                |
|      | 7,0           | 4                 | 36                 | 1,38                                                      | 35 сек.                                                      | 12                |
|      |               |                   |                    |                                                           | Очень водоустой-<br>чив, местами с<br>конкрециями со-<br>лей |                   |
|      | 8,0           | 9                 | 33                 | 1,48                                                      | 45 сек. (разру-<br>шался непол-<br>ностью)                   | 7                 |
|      | 9,0           | 14                | 35                 | 1,56                                                      | 30 сек.                                                      | 9                 |
|      | 10,0          | 19                | 35                 | 1,74                                                      | 1 час. (не разру-<br>шился)                                  | 2                 |
| 34   | 1,0           | 5                 | 35                 | 1,40                                                      | 55 сек.                                                      | 7                 |
|      | 2,0           | 8                 | 42                 | 1,43                                                      | 1 мин.                                                       | 12                |
|      | 3,0           | 13                | 30                 | 1,62                                                      | 35 сек.                                                      | 14                |
|      | 4,0           | 16                | 36                 | 1,59                                                      | 40 сек.                                                      | 15                |
|      | 5,0           | 21                | 37                 | 1,72                                                      | 25 сек.                                                      | 8                 |

Результаты опытов (более 100) показывают, что грунты основания Джизакской плотины (по глубине) различны по характеру и интенсивности размокания. Водоустойчивыми оказались слои грунта по шурфу 33 на глубине 7, 9, и 11 м, по шурфу 35 — 8 и 11, неводоустойчивы грунты по шурфу 33 на глубинах 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 16 м, по шурфу 34 — на глубинах 1, 2, 3, 4, 5, по шурфу 35 — на глубинах 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10 м.



Характер набухания (при отсутствии нагрузки) грунтов основания плотины по глубине также не имеет определенной закономерности. Набухание грунтов колеблется от 2 до 18% (табл. 3).

Корреляции между набуханием, плотностью и естественной влажностью для грунтов ненарушенной структуры данного района не установлено.

Характерные влажности грунтов определяли по стандартной методике: верхнего предела — методом чашки и конуса, нижнего — раскатыванием.

Наибольшее число пластичности — 15 (шурф 33, глубина 6,0 м). Встречаются непластичные грунты, что указывает на наличие в толще песчаных слоев (табл. 1).

При классификации грунтов по числу пластичности их следует отнести к категории мелких песков, супесей и легких суглинков, что не соответствует классификации их по гранулометрическому составу, согласно которому грунты представлены более глинистыми категориями. Мы разделяем мнение Е. Д. Рождественского, считающего более убедительной характеристикой грунта число пластичности, поскольку гранулометрический анализ страдает некоторыми недостатками в методике [4]. Это несоответствие кроется в самом свойстве грунтов: грунты, содержащие много песчаных и пылеватых фракций, а также конкреций гипса, несмотря на достаточное количество глинистых фракций, малопластичны.

Удельный вес подопытных грунтов 2,65—2,74 т/м<sup>3</sup>.

Значения пористости получены для каждого метра глубины всех шурфов (табл. 1). Величина пористости по глубине не подчиняется какой-либо закономерности, что обусловлено переслаиванием грунтов различного типа. Если показателем просадочности считать пористость грунта, равную 45% (как это считают многие исследователи), то грунты верхних слоев (4—5 м) исследованного района следует отнести к просадочным. Однако просадочные грунты встречаются и в более глубоких зонах (шурф 35, глубина 9,0 м и др.).

По-видимому, именно последние слои, находясь под большим давлением, обуславливают основную часть просадочных деформаций. Известно [2], что верхние грунты под действием бытового давления не дают просадок, но под действием более высоких нагрузок (сверх бытового) у них неизбежны большие деформации.

Фильтрационная способность грунтов. Коэффициент фильтрации грунтов определен на приборе ПВ<sup>1</sup>. Цель опытов — выяснить возможную величину коэффициента фильтрации грунтов основания, а также тела плотины. Величину  $K$  определяли для грунтов ненарушенного и нарушенного сложения с несколькими значениями объемного веса. Важное значение при этом имеет определение коэффициента фильтрации грунтов, уплотненных до объемного веса 1,45 и 1,65 т/м<sup>3</sup><sup>2</sup>. Коэффициент фильтрации грунтов естественного залегания 0,06—0,02 м/сутки, а уплотненного — 0,02—0,006 (табл. 4). Наблюдается закономерное падение  $K$  с ростом объемного веса.

Следовательно, если плотность грунтов тела плотины 1,65 т/м<sup>3</sup>, то  $K$  при этом 0,006 м/сутки, т. е. тело плотины имеет очень малую водопроницаемость.

Просадочность подопытных грунтов. Степень просадочности грунтов основания плотины определяли при помощи ком-

<sup>1</sup> Опыты проведены Г. Л. Урмановой.

<sup>2</sup> Образцы грунта с нарушенной структурой уплотняли при оптимальной влажности — 16%.



прессионных испытаний, проводимых по методике, разработанной в лаборатории, — «методом двух кривых» [4].

В табл. 5 даны значения модуля сжатия, или относительной просадочности, грунтов для каждого метра глубины трех шурфов исследованного района.

Таблица 4

| Глубина отбора пробы, м                                           | Объемный вес скелета грунта, г/см <sup>3</sup> | Коэффициент фильтрации, $K_{10}$ |                      |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------|
|                                                                   |                                                | м/сутки                          | см/сек               |
| Ненарушенное сложение                                             |                                                |                                  |                      |
| 8                                                                 | 1,38                                           | 0,0609                           | $7,05 \cdot 10^{-5}$ |
|                                                                   | 1,45                                           | 0,0383                           | $4,43 \cdot 10^{-5}$ |
| 15                                                                | 1,56                                           | 0,0220                           | $2,55 \cdot 10^{-5}$ |
| Нарушенное сложение (грунт уплотнен при $W_{\text{опт}} = 16\%$ ) |                                                |                                  |                      |
| 8                                                                 | 1,45                                           | 0,0269                           | $3,11 \cdot 10^{-5}$ |
| 15                                                                | 1,65                                           | 0,0057                           | $6,60 \cdot 10^{-6}$ |

Результаты исследований показывают, что верхние слои грунтов под природным давлением при замочке не дают резких просадок. Так, по шурфу 33 (правый берег) самый верхний слой с глубины 1,0 м при увлажнении под собственным весом вместо осадки незначительно набухает. Ниже этого слоя (2—3 м) грунты имеют высокую пористость, но не дают просадок при увлажнении под собственным весом.

Общая ожидаемая просадка для всей толщи по шурфу 33—53,0 см.

Компрессионные испытания грунтов по шурфу 34 (левый борт) дают иную картину. В этом шурфе грунты изучены на глубину до 5 м. Ниже грунты водонасыщены и поэтому в них отсутствует просадочность. Общая ожидаемая просадка этой толщи—5,5 см.

Кроме указанных выше шурфов, на ПК 23 + 50 левого борта плотины задан шурф 35, грунты из которого просадочны от 2 до 10 м. Согласно опытным данным, суммарная ожидаемая просадка всей толщи в районе шурфа 35 около 40 см.

Необходимо выделить следующие виды деформаций:

а) осадка грунта естественной структуры и влажности, вызываемой давлением сооружения, строящегося на предварительно незамоchenном основании;

б) чистая просадка, вызываемая увлажнением грунта под бытовым давлением;

в) осадка провального характера, вызванная увлажнением грунта, являющегося основанием сооружений, построенных без предварительного замачивания;

г) доуплотнение водонасыщенного грунта (сжимаемой активной зоны), находящегося ниже уровня грунтовых вод за счет увеличения бытового давления вышележащих слоев при их увлажнении сверху вниз;



д) уплотнение тех же грунтов, залегающих ниже уровня грунтовых вод за счет увеличения нагрузок в процессе строительства на них сооружения (под действием внешних давлений);

Таблица 5

| Но-<br>мер<br>шур-<br>фа | Глубина<br>взятия,<br>м | Естест-<br>венная<br>влаж-<br>ность, % | Объем-<br>ный вес<br>скелета,<br>т/м <sup>3</sup> | По-<br>рис-<br>тость,<br>% | Кoeffи-<br>циент по-<br>ристости | Кoeffици-<br>ент порис-<br>тости под<br>бытовым<br>давлением |                     | Кoeffи-<br>циент<br>макропо-<br>ристости | Величина<br>относи-<br>тельной<br>проса-<br>дочности,<br>мм/м |
|--------------------------|-------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
|                          |                         |                                        |                                                   |                            |                                  | до за-<br>мочки                                              | при<br>за-<br>мочке |                                          |                                                               |
| 33                       | 1,0                     | 4,30                                   | 1,36                                              | 49,3                       | 0,974                            | 0,971                                                        | 0,972               | 0,001                                    | 0,00                                                          |
|                          | 2,0                     | 3,14                                   | 1,34                                              | 50,0                       | 0,984                            | 0,983                                                        | 0,975               | 0,008                                    | 4,03                                                          |
|                          | 3,0                     | 4,14                                   | 1,24                                              | 53,7                       | 1,160                            | 1,127                                                        | 1,060               | 0,067                                    | 31,01                                                         |
|                          | 4,0                     | 4,68                                   | 1,30                                              | 51,5                       | 1,055                            | 1,036                                                        | 0,871               | 0,157                                    | 77,00                                                         |
|                          | 5,0                     | 5,13                                   | 1,34                                              | 50,0                       | 1,000                            | 0,976                                                        | 0,878               | 0,098                                    | 45,50                                                         |
|                          | 6,0                     | 5,30                                   | 1,38                                              | 48,5                       | 0,948                            | 0,930                                                        | 0,823               | 0,097                                    | 45,00                                                         |
|                          | 7,0                     | 6,72                                   | 1,36                                              | 49,2                       | 0,984                            | 0,948                                                        | 0,802               | 0,146                                    | 75,00                                                         |
|                          | 8,0                     | 6,85                                   | 1,41                                              | 47,4                       | 0,910                            | 0,889                                                        | 0,826               | 0,062                                    | 32,80                                                         |
|                          | 9,0                     | 8,62                                   | 1,37                                              | 49,0                       | 0,973                            | 0,959                                                        | 0,905               | 0,054                                    | 27,70                                                         |
|                          | 10,0                    | 7,60                                   | 1,38                                              | 48,0                       | 0,948                            | 0,897                                                        | 0,783               | 0,110                                    | 58,00                                                         |
|                          | 11,0                    | 4,05                                   | 1,27                                              | 52,6                       | 1,112                            | 1,095                                                        | 0,842               | 0,262                                    | 125,60                                                        |
|                          | 12,0                    | 8,20                                   | 1,48                                              | 45,2                       | 0,851                            | 0,794                                                        | 0,785               | 0,009                                    | 4,60                                                          |
|                          | 13,0                    | 9,70                                   | 1,48                                              | 44,8                       | 0,828                            | 0,799                                                        | 0,795               | 0,004                                    | 2,20                                                          |
|                          | 14,0                    | 13,00                                  | 1,53                                              | 43,0                       | 0,748                            | 0,725                                                        | 0,724               | 0,001                                    | 0,50                                                          |
|                          | 15,0                    | 17,20                                  | 1,56                                              | 41,8                       | 0,724                            | 0,701                                                        | 0,699               | 0,002                                    | 1,00                                                          |

Суммарная ожидаемая просадка 53,0 см

|    |     |       |      |      |       |       |       |       |       |
|----|-----|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 34 | 1,0 | 3,70  | 1,38 | 48,5 | 0,928 | 0,928 | 0,906 | 0,022 | 11,21 |
|    | 2,0 | 7,33  | 1,33 | 50,7 | 1,021 | 1,005 | 1,003 | 0,002 | 1,01  |
|    | 3,0 | 10,70 | 1,35 | 49,6 | 0,986 | 0,969 | 0,942 | 0,027 | 13,70 |
|    | 4,0 | 15,40 | 1,40 | 47,8 | 0,918 | 0,908 | 0,906 | 0,002 | 1,05  |
|    | 5,0 | 23,30 | 1,36 | 47,3 | 0,898 | 0,849 | 0,796 | 0,053 | 28,60 |

Суммарная ожидаемая просадка 5,3 см

|    |      |       |      |      |       |       |       |       |       |
|----|------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 35 | 1,0  | 4,50  | 1,29 | 51,2 | 1,30  | 1,020 | 1,016 | 0,004 | 2,0   |
|    | 2,0  | 3,50  | 1,20 | 53,6 | 1,160 | 1,150 | 1,022 | 0,128 | 65,0  |
|    | 3,0  | 3,80  | 1,28 | 50,2 | 1,013 | 1,003 | 0,920 | 0,083 | 39,0  |
|    | 4,0  | 4,70  | 1,32 | 49,4 | 0,974 | 0,962 | 0,896 | 0,066 | 34,0  |
|    | 5,0  | 3,70  | 1,28 | 48,0 | 0,924 | 0,910 | 0,705 | 0,205 | 107,0 |
|    | 6,0  | 5,20  | 1,39 | 48,0 | 0,923 | 0,912 | 0,867 | 0,045 | 23,0  |
|    | 7,0  | 7,30  | 1,35 | 51,5 | 1,060 | 1,048 | 0,933 | 0,115 | 59,0  |
|    | 8,0  | 9,70  | 1,35 | 50,0 | 1,000 | 0,975 | 0,932 | 0,043 | 22,0  |
|    | 9,0  | 14,50 | 1,43 | 50,0 | 1,000 | 0,955 | 0,935 | 0,020 | 3,15  |
|    | 10,0 | 18,60 | 1,35 | 49,4 | 0,974 | 0,914 | 0,830 | 0,084 | 1,51  |
|    | 11,0 | 20,00 | 1,55 | 42,7 | 0,774 | 0,720 | 0,716 | 0,004 | 0,70  |

Суммарная ожидаемая просадка 40,5 см

е) осадка грунтов (водонасыщенных), залегающих выше уровня грунтовых вод, под действием давления, приложенного сверх бытового (послепросадочная деформация).

Мы поставили задачу определить возможные виды деформаций в грунтах, описанных в пунктах а, б, в, е. Для установления величины этих деформаций на основании компрессионных испытаний строится график зависимости коэффициента пористости от давления для каждой глубины шурфов.



На каждом графике две кривые: одна из них — для грунта естественной влажности, а вторая — для грунта, обжатого до бытового давления с естественной влажностью и замоченного под бытовым давлением и обжатого сверх бытового ступенями нагрузок.

Необходимые данные о размерах деформаций, указанных в пунктах а, б, в, е, получают по этим графикам.

Прогноз просадки грунтовых толщ получен суммированием просадки метровых толщ по всей глубине шурфа (табл. 5). В основании плотины следует ожидать неравномерную просадку. Учитывая величину дополнительной осадки основания плотины и ее значительную неравномерность, рекомендуем отказаться от возведения тела плотины методом послойной укатки. Для получения более эластичного состояния тела плотины, способного следовать за деформацией основания, более целесообразно возводить ее методом отсыпки грунта в воду.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аскарлов Х. А. ДАН УзССР, 1958, № 11.
2. Аскарлов Х. А. О соответствии прогнозов просадочной деформации толщ лесовых грунтов, полученных в лаборатории, натурным, «Вопросы гидротехники», вып. 8, Ташкент, АН УзССР, 1962.
3. Аскарлов Х. А., Урманова Г. Л. О просадочности грунтов района центральной части Голодной степи, Материалы по производительным силам Узбекистана, вып. 15, Ташкент, АН УзССР, 1960.
4. Рождественский Е. Д. «Изв. АН УзССР», сер. техн. наук, 1962, № 2.



Х. А. АСКАРОВ, Х. Н. ХАМИДОВ

## ПРОСАДОЧНЫЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ ПЛОТИНЫ ЧИМКУРГАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА

Плотина Чимкурганского водохранилища относится к смешанному земляному типу — ядро из мелкозема (лессовый грунт), а верховые и низовые упорные призмы — из гравелисто-песчаного грунта.

Лессовое ядро почти на всей протяженности плотины возводится укатанным способом.

Пойма реки (от ПК 30 + 00 до ПК 32 + 00) сложена гравелисто-песчаными грунтами.

В центральной части плотины (от ПК 32 + 00 до ПК 55 + 00) основание сложено плотнослежавшимися тяжелыми и средними суглинками II и III террас. Борта водохранилища (от ПК 0 + 00 до ПК 30 + 00 и от ПК 55 + 00 до ПК 74 + 00) состоят из лессовых грунтов IV и V террас р. Кашкадарьи.

V терраса, возвышающаяся в районе строительства водохранилища над поймой реки на 30 м, на глубину 50 м сложена преимущественно средним пылеватым суглинком, содержащим до 78% пылеватых (0,05—0,005 мм) фракций. В верхней, 15-метровой части толщи, грунт макропористый со средним объемным весом 1,35 т/м<sup>3</sup> и пористостью до 49%.

IV терраса на глубину около 20 м сложена пылеватыми средними и тяжелыми суглинками с прослойками глин и пылеватых песков. Плотность этих грунтов выше плотности грунтов V террасы. Только верхняя 6-метровая часть их макропористая со средним объемным весом до 1,42 т/м<sup>3</sup>.

### ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГРУНТОВ ЧИМКУРГАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Изучение физико-технических свойств грунтов имеет большое значение в решении практических вопросов строительства гидросооружений, особенно тех, основание и материал которых сложены из лессовых просадочных грунтов. Именно таким сооружением и является плотина Чимкурганского водохранилища, поскольку основание ее на протяжении 5 км (что составляет 2/3 общей длины плотины) состоит из просадочных грунтов.

Естественная влажность грунтов района плотины Чимкурганского водохранилища подчиняется общей закономерности: невысокая в верхних слоях, она возрастает по мере углубления (приближения к грунтовым водам). Выявленная закономерность объясняется прежде всего однородностью грунтовой толщи.



Естественная влажность грунтов основания левого борта водохранилища колеблется от 1,01 до 14,92%, а правого — от 4,36 до 24,91%.

**Объемный вес** грунтов определяли методами режущих колец и парафинированием. Полученные величины объемных весов скелета грунта колеблются от 1,31 до 1,73 т/м<sup>3</sup> для левого борта водохранилища и от 1,44 до 1,78 т/м<sup>3</sup> — для правого. Изменение величины объемного веса скелета по глубине приведено ниже.

**Пластичность грунтов.** Верхний предел пластичности определен методом чашки, нижний — раскатыванием.

В результате лабораторных исследований установлено, что величина верхнего предела пластичности колеблется от 23 до 29%, нижнего — от 19 до 25% и число пластичности — от 4 до 7; наибольшая величина числа пластичности доходит до 7. Следовательно, грунты относятся к малопластичным.

Если грунты классифицировать по числу пластичности, то они попадут в рубрику супесей и легких суглинков.

**Максимальная молекулярная влагоемкость.** При изучении грунтов максимальную молекулярную влагоемкость принято рассматривать в качестве физического показателя, но при анализе просадочности грунтов ей нужно придать специфическое значение.

Поскольку из исследований прошлых лет [1, 2] известно, что наибольшее развитие просадочных процессов наблюдается при влажности, превышающей величину максимальной молекулярной влагоемкости, она выступает в роли определенной критической влажности.

Максимальную молекулярную влагоемкость подопытных грунтов определяли по методу «влагоемких сред», предложенному А. Ф. Лебедевым и модифицированному А. В. Васильевым<sup>1</sup>.

Величина максимальной молекулярной влагоемкости исследуемых грунтов находится в пределах 11—15%.

**Удельный вес** подопытных грунтов определяли обычным способом (при помощи пикнометра).

Величины удельных весов изменяются от 2,62 до 2,72 т/м<sup>3</sup>, т. е. в пределах изменений, обычных для лессовых грунтов.

**Пористость** лессовых грунтов, как известно, является одним из показателей их просадочности. Пористость исследуемой толщи грунта варьирует в довольно широком диапазоне: грунтов левого борта водохранилища — от 43 до 54%, правого борта — от 40 до 49%.

**Набухание** грунтов определяли в связи с изучением просадочности основания плотины Чимкурганского водохранилища.

Обычно при замочке в просадочном грунте одновременно происходят процессы набухания и просадки.

Было проведено 110 опытов по определению набухания. Следует отметить, что опыты производили при отсутствии нагрузки на образцы грунта (свободное набухание).

В ходе опытов зафиксировано, что величина набухания подопытных грунтов при таком методе доходит до 14% (рисунок).

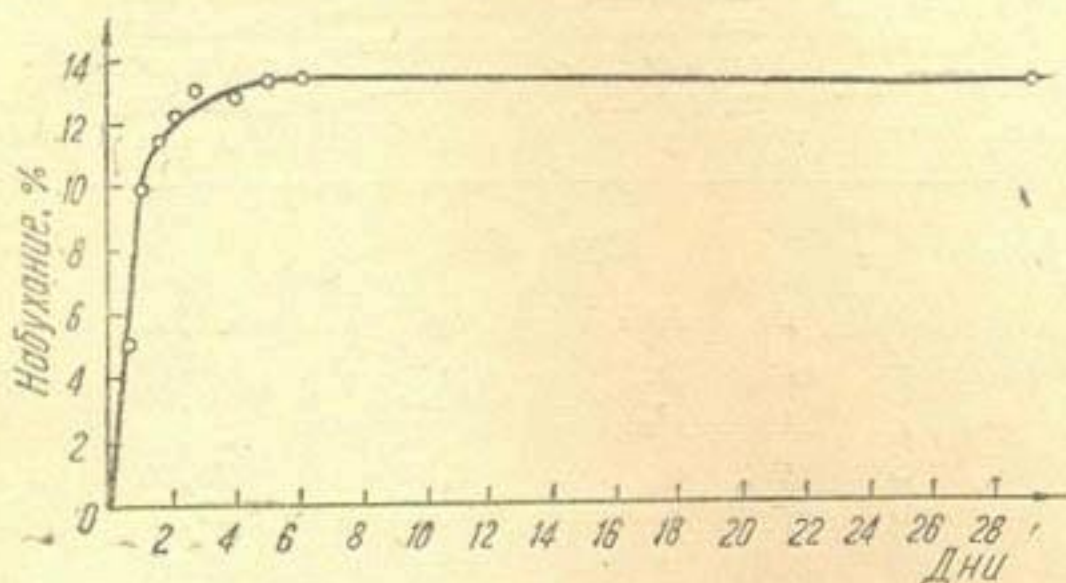
Однако надо иметь в виду, что условия в натуре иные, поскольку там грунт находится под бытовым давлением.

При проведении опытов установлено, что хотя в недоуплотнении верхней 5—7-метровой толщи основную роль играет малое бытовое давление, но известное значение имеет и набухание. При увлажнении грунта склонность его к набуханию проявляется в тех слоях, где давление набухания преобладает над бытовым давлением. В тех случаях,

<sup>1</sup> Давление — 66 кг/см<sup>2</sup>, продолжительность прессования — 10 мин.



когда давление бытовое и набухание уравниваются, набухание будет равно нулю. А с преобладанием бытового давления над давлением набухания грунт под сжимающим усилием водонасыщенных вышележащих слоев подвергнется деформации (просадке).



Кривая набухания грунта района Чимкурганского водохранилища; шурф № 1, глубина 9 м (влажность: до опыта — 3,05%, после опыта — 38,9%; объемный вес скелета грунта до опыта — 1,45 т/м³).

**Размокание.** Подопытные грунты характеризуются быстрой размокаемостью. Из 36 опытов в 27 образцы грунта размокли за время от 50 сек. до 2 мин. 47 сек., 5 образцов — от 3 мин. до 3 мин. 52 сек., 2 образца — от 4 мин. до 4 мин. 32 сек., 1 — за 21 мин. и 1 — за 1 час.

Как видно, изученные грунты в водной среде быстро теряют свою прочность.

**Засоленность.** С целью определения степени засоления и характера солевого комплекса подопытных грунтов были выполнены химические анализы водных и соляно-кислых вытяжек.

На основании анализа экспериментального материала приходим к выводу, что чимкурганские грунты содержат незначительное количество воднорастворимых солей, но в отдельных горизонтах грунтовой толщи встречаются прослойки загипсованного грунта, где содержание гипса достигает 2%.

#### ПРОСАДОЧНОСТЬ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ ПЛОТИНЫ ЧИМКУРГАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Основной задачей при лабораторных исследованиях просадочных грунтов было установление размеров ожидаемых просадочных деформаций (составление прогноза просадки) основания плотины и определение мощности просадочной толщи. С этой целью был выполнен целый ряд компрессионных испытаний образцов грунтов левого и правого бортов водохранилища. Компрессионные испытания проводили по методике, разработанной в грунтовой лаборатории ИВПиГ АН УзССР, подробное описание которой опубликовано [3].

На основании полученного экспериментального материала (таблица) составлен прогноз просадки толщи грунта, равной 19 м при общей мощности 31 м на левом борту и 25 м на правом борту Чимкурганского водохранилища.

Подсчитанная таким образом величина ожидаемой деформации для изученной мощности (19 м) составила для просадочных грунтов левого борта 53 см, правого — 16 см.



**Средние величины относительной просадочности грунтов плотины Чимкурганского водохранилища**

| Глубина<br>взятия<br>образца,<br><i>м</i> | Естественная влажность<br>образца грунта,<br><i>%</i> | Объемный<br>вес скелета<br>грунта,<br><i>т/м³</i> | Величина<br>относительной<br>просадочности,<br><i>мм/м</i> |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Шурф № 1                                  |                                                       |                                                   |                                                            |
| 1                                         | 1,01                                                  | 1,41                                              | 43,00                                                      |
| 2                                         | 3,78                                                  | 1,49                                              | 7,00                                                       |
| 3                                         | 8,76                                                  | 1,25                                              | 8,00                                                       |
| 4                                         | 4,46                                                  | 1,32                                              | 19,19                                                      |
| 5                                         | 4,29                                                  | 1,34                                              | 26,00                                                      |
| 6                                         | 5,54                                                  | 1,39                                              | 13,00                                                      |
| 7                                         | 4,84                                                  | 1,60                                              | 13,70                                                      |
| 8                                         | 6,17                                                  | 1,39                                              | 36,90                                                      |
| 9                                         | 6,52                                                  | 1,38                                              | 23,90                                                      |
| 10                                        | 9,05                                                  | 1,41                                              | 43,90                                                      |
| 11                                        | 10,82                                                 | 1,36                                              | 14,40                                                      |
| 12                                        | 11,00                                                 | 1,41                                              | 43,60                                                      |
| 13                                        | 11,50                                                 | 1,38                                              | 33,10                                                      |
| 14                                        | 12,86                                                 | 1,33                                              | 52,17                                                      |
| 15                                        | 13,51                                                 | 1,31                                              | 32,50                                                      |
| 16                                        | 11,56                                                 | 1,41                                              | 32,60                                                      |
| 17                                        | 12,00                                                 | 1,50                                              | 38,80                                                      |
| 18                                        | 12,14                                                 | 1,53                                              | 32,00                                                      |
| 19                                        | 14,92                                                 | 1,73                                              | 13,40                                                      |
|                                           |                                                       |                                                   | Σ527,16 <i>мм</i> ,<br>или ~53 <i>см</i>                   |

|        |       |      |                                            |
|--------|-------|------|--------------------------------------------|
| Шурф 2 |       |      |                                            |
| 1      | 4,51  | 1,44 | 6,47                                       |
| 2      | 4,95  | 1,47 | 14,63                                      |
| 3      | 4,36  | 1,39 | 10,88                                      |
| 4      | 4,88  | 1,45 | 5,80                                       |
| 5      | 4,82  | 1,44 | 5,94                                       |
| 6      | 5,22  | 1,46 | 2,4                                        |
| 7      | 5,10  | 1,46 | 8,25                                       |
| 8      | 5,46  | 1,54 | 9,98                                       |
| 9      | 5,49  | 1,42 | 14,77                                      |
| 10     | 6,07  | 1,46 | 11,84                                      |
| 11     | 7,96  | 1,50 | 6,92                                       |
| 12     | 9,31  | 1,53 | 11,45                                      |
| 13     | 9,72  | 1,52 | 14,45                                      |
| 14     | 12,86 | 1,58 | 9,8                                        |
| 15     | 15,72 | 1,65 | 1,79                                       |
| 16     | 16,81 | 1,78 | 1,07                                       |
| 17     | 17,13 | 1,56 | 0,31                                       |
| 18     | 19,20 | 1,75 | 12,3                                       |
| 19     | 24,91 | 1,54 | 3,7                                        |
|        |       |      | Σ152,75 <i>мм</i> ,<br>или ~15,3 <i>см</i> |



## ВЫВОДЫ

1. Грунты левого борта водохранилища до глубины 19 м, а правого — до глубины 10 м (на пятой террасе) относятся к просадочным. Следует отметить, что грунты левого борта водохранилища более склонны к просадкам.

2. Величина ожидаемой просадочной деформации левого борта водохранилища оказалась равной 53 см, правого — 16 см (без учета второго этапа просадки, вызываемой длительной фильтрацией воды через толщу грунтов).

3. В связи с наличием в чимкурганских грунтах второго этапа просадочных деформаций произведена длительная (более трех месяцев) замочка основания и ведутся наблюдения за развитием просадочных деформаций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рождественский Е. Д. Физико-технические свойства лессовых грунтов Узбекистана, Ташкент, АН УзССР, 1960.
  2. Аскар ов Х. А. Строительные свойства лессовидных просадочных грунтов района Северного Ташкентского канала, Автореферат канд. дисс., Ташкент, 1955.
  3. Аскар ов Х. А. О просадочности грунтов центральной части Голодной степи, В кн. «Материалы по производительным силам Узбекистана», вып. 16, Ташкент, АН УзССР, 1960.
-



И. М. ШЕЙХЕТ

### НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ УДАРНОГО УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВ В КАНАЛАХ В ЦЕЛЯХ СОЗДАНИЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО ЭКРАНА

В результате опытов, проведенных в различных зонах СССР, установлено, что уплотнение тяжелыми трамбовками связных грунтов, слагающих ложе каналов, намного снижает потери воды из них. Достоинством такого метода борьбы с фильтрацией является сравнительно невысокая стоимость работ по уплотнению, не требующих каких-либо специальных материалов, а также возможность выполнения их в условиях полной механизации. Однако внедрение этого метода тормозится из-за отсутствия высокоэффективных средств механизации и неизученности вопросов долговечности уплотненных экранов [10].

В настоящей статье приводятся некоторые результаты исследований вопросов эффективности антифильтрационных экранов, созданных методом ударного уплотнения ложа каналов. Исследования проведены под руководством Е. Д. Рождественского. Полевые опыты выполнены в совхозе № 6 Голодной степи.

Теоретической базой для наших исследований послужил твердо установленный факт, что водопроницаемость грунтов зависит не столько от общей пористости, сколько от размеров пор, обуславливаемых формой и величиной частиц [2, 8, 11 и др.]. Чем мельче поры при одинаковой общей пористости, тем большая часть их занята пленочной водой и тем меньше та часть, через которую вода могла бы свободно фильтровать.

Снижение водопроницаемости грунта в результате его уплотнения происходит не только из-за уменьшения его общей пористости, но также вследствие его дезагрегации, сопровождаемой изменением размера и формы пор. Этим можно объяснить отсутствие во многих случаях прямой зависимости между изменением объемного веса грунта и коэффициента фильтрации [6, 7, 13]. Отсутствие такой зависимости подтверждено Г. Л. Урмановой в результате опытов в лаборатории грунтоведения ИВПиГ АН УзССР с лессовыми грунтами, взятыми непосредственно с опытного полигона в совхозе № 6.

Установлено, что при уплотнении грунта с высокой влажностью до некоторого объемного веса скелета можно достигнуть более низкого коэффициента фильтрации, чем при уплотнении до более высокого объемного веса, но при низкой влажности. Из этого можно сделать вывод, что эффективная влажность с точки зрения получения низкого



коэффициента фильтрации значительно выше оптимальной влажности с точки зрения повышения плотности<sup>1</sup>.

Однако, как и следовало ожидать, наши опыты показали, что грунты, уплотненные при высокой влажности, больше подвержены растрескиванию в результате усадки, чем при низкой. ММВ является критической влажностью в процессах трещинообразования; при более низкой влажности трещин не образуется [15]. При влажности, превышающей по величине ММВ, уплотнение грунта сверх некоторой критической плотности сопровождается уменьшением предельных напряжений. Это также может вызвать увеличение усадочных трещин. Влажность грунта в момент уплотнения оказывает решающее влияние на его набухание: чем больше исходная влажность, тем меньше набухание. Оно равно нулю при исходной влажности, равной влажности набухания.

Таким образом, чтобы достигнуть большей степени дезагрегации грунта и большего снижения его водопроницаемости, эффективная влажность уплотнения  $W_e$  должна быть выше ММВ и близка к влажности набухания. Но  $W_e$  не должна быть слишком высокой во избежание большого развития усадочных трещин. Этим требованиям в достаточной мере удовлетворяет влажность.

$$W_e = \text{ММВ} + 4, \%^2.$$

Для уменьшения размеров усадочных трещин в экранах не следует стремиться к уплотнению грунтов до максимального объемного веса при данной влажности (до состояния грунтовой массы), оптимальный объемный вес скелета грунта в экране может быть выражен формулой.

$$\delta_0 = \frac{a \cdot \gamma(1-n)}{1 + \gamma W_e},$$

где  $\gamma$  — удельный вес грунта;

$n$  — поправка, учитывающая объем пор, заполненных заземленным воздухом ( $n = 0,04 \div 0,02$ );

$a$  — коэффициент, учитывающий снижение величины  $\delta_0$  по сравнению с максимально возможным объемным весом скелета грунта при эффективной влажности  $W_e$ . Наши опыты показывают, что для верхней зоны экрана можно принять  $a = 0,97$ , для нижней —  $a = 0,94$ .

Результаты лабораторных опытов, выявившие влияние влажности грунта в момент уплотнения на его водопроницаемость, были учтены при постановке полевых исследований эффективности метода ударного уплотнения грунтов как антифильтрационного мероприятия в ирригационных каналах. Грунты участка, на котором расположен опытный полигон, представлены в основном пылеватыми суглинками и супесями. Текстура грунтов очень неоднородная.

Опыты проводили в 9 отсеках трапецеидального сечения глубиной 1,7 — 1,8 м, шириной по дну 3,0 м и длиной 30 м с заложением откосов 1:1,5. Ввиду низкой естественной влажности грунтов до их уплотнения отсеки заполняли водой.

После полного опорожнения от воды отсеки выдерживались в течение некоторого времени для уменьшения влажности их грунтов до

<sup>1</sup> Для лессовых грунтов оптимальная влажность с точки зрения повышения плотности равна по величине максимальной молекулярной влагоемкости (ММВ)

<sup>2</sup> Такую же влажность уплотнения экранов рекомендует С. Г. Хлебников [14].



18—22%. Отсеки уплотнялись цилиндрической (вальцовой) трамбовкой, сконструированной АзНИИГиМ и усовершенствованной отделом механизации ИВПиГ АН УзССР. Диаметр трамбовки  $d = 1400$  мм, длина ее  $l = 2500$  мм, вес  $Q = 3600$  кг. Трамбовку подвешивали к стреле экскаватора — драглайна Э-801. Уплотнение отсеков производили при постоянной высоте падения трамбовки ( $H = 4,0$  м) и разным числом ударов (2, 4 и 6) по одному месту согласно технологии, разработанной отделом механизации ИВПиГ АН УзССР [9]. Два отсека были использованы как эталоны: в них определяли скорость фильтрации без уплотнения, один (№ 9) — для предварительного изучения режима уплотнения; он был разделен на 4 части, каждую уплотняли разным количеством ударов трамбовки (2, 4, 6 и 10 ударов). В этом отсеке были заложены шурфы до и после уплотнения и через каждые 20 см на глубину до 2,5 м отобраны монолиты для изучения толщи грунтов, подвергнувшейся уплотнению.

Сравнение объемных весов скелета грунта показало, что шестью ударами вальцовой трамбовки можно создать антифильтрационный экран толщиной  $1,2 \div 1,4$  м с соотношением объемных весов скелета грунта после и до уплотнения, равным от 1,14 до 1,06. На участках, уплотненных двумя и четырьмя ударами, толщина экрана и степень его уплотнения оказались меньшими.

В результате опытов в отсеке 9 установлена нецелесообразность уплотнения с числом ударов трамбовки выше шести.

Фильтрацию из шести отсеков, уплотненных 2, 4 и 6 ударами трамбовки, и двух неуплотненных определяли методом периодического заполнения их водой и опорожнения от уровня 1250 до 1100 мм.

Периодическое заполнение каждого из отсеков и сработку горизонта воды производили до тех пор, пока три-четыре следующих один за другим цикла опытов не показывали примерно одинаковое время сработки горизонта. При этом условии фильтрацию воды из отсеков можно считать квазиустановившейся.

Анализ формул для определения фильтрационных потерь из каналов в случае подпертой фильтрации из каналов с естественным руслом [5] и антифильтрационным экраном [3, 4, 13 и др.] показывает, что потери зависят от глубины наполнения канала. Методика наших опытов основана на установлении средних потерь на фильтрацию с  $1$  м<sup>2</sup> зеркала воды в опытных отсеках при переменной глубине наполнения (от  $h_0 = 1250$  мм до  $h_0 = 1100$  мм). Пользуясь указанными выше формулами, мы подсчитали, что такое изменение глубины наполнения влечет за собой изменение фильтрационных потерь с  $1$  пог. м канала не более чем на 12%. Таким образом, неточность определения средних потерь (при  $h_0 = 1175$  мм) по принятой нами методике не превышает 6%. Фактически она еще меньше, так как определение потерь производилось с  $1$  м<sup>2</sup> поверхности воды, а не с  $1$  пог. м канала, как это предусмотрено формулами, и изменение ширины канала по урезу воды в связи с изменением глубины наполнения не оказывало влияния на наши определения.

Данные о фильтрации воды из уплотненных и неуплотненных отсеков (табл. 1) показывают, что экраны, созданные шестью ударами трамбовки, снизили потери воды на фильтрацию по сравнению с неуплотненными отсеками в среднем в 15 раз (непосредственно после уплотнения).

Эффективность антифильтрационного мероприятия нужно оценивать не только с точки зрения уменьшения потерь воды. Как и следовало ожидать, с изменением фильтрации воды из отсеков после их



уплотнения изменился режим подъема уровня грунтовых вод под отсеками. В результате наблюдений за створами скважин, оборудованных у одного из неуплотненных и одного из уплотненных (четырьмя ударами) отсеков, установлено следующее. Заполнение водой отсеков без предварительного уплотнения сопровождается резким подъемом уровня грунтовых вод под ними. Уже через 8 дней после пуска воды в отсек грунтовая вода под ним поднялась на 6,30 м и сомкнулась с водой в отсеке.

Таблица 1

| Количество ударов трамбовкой | Номер отсека | Фильтрационный расход, л/сутки                    |                   |                                       |                       |                       |                       |
|------------------------------|--------------|---------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                              |              | XI—XII 1960 г.                                    |                   | V—VI 1961 г.                          | X—XI 1961 г.          | IV—V 1962 г.          | X—XI 1962 г.          |
|                              |              | Фактическая температура воды $t_{cp} = 3,3^\circ$ |                   | $t_{cp} = 23,0^\circ$                 | $t_{cp} = 15,4^\circ$ | $t_{cp} = 19,3^\circ$ | $t_{cp} = 10,7^\circ$ |
|                              |              | с 1 м <sup>2</sup> водной поверхности             | с 1 поз. м отсека | с 1 м <sup>2</sup> водной поверхности |                       |                       |                       |
| Без уплотнения               | 1            |                                                   |                   |                                       |                       |                       |                       |
|                              | 2            | 498                                               | 3550              | 225                                   | 268                   | 224                   | 209                   |
| 2                            | 5            | 493                                               |                   | 252                                   | 262                   | 218                   | 278                   |
|                              | 8            | 68                                                | 480               | 80                                    | 78                    | 96                    | 33                    |
| 4                            | 6            | 71                                                |                   | 83                                    | 87                    | 82                    | 69                    |
|                              | 6            | 65                                                | 440               | 60                                    | 59                    | 60                    | 58                    |
| 6                            | 4            | 39                                                |                   | 47                                    | 46                    | 49                    | 45                    |
|                              | 7            | 27                                                | 225               | 33                                    | 36                    | 35                    | 34                    |

- Примечания. 1. Фильтрационный расход приведен к температуре воды  $t=10^\circ$  по формуле Хазена  $\tau=0,7+0,03 t$ .  
 2. Перед заполнением водой осенью 1962 г. с откосов и дна отсека 2 был удален верхний слой грунта толщиной 5 см.  
 3. Перед заполнением водой отсеки 4 и 5 были повторно уплотнены 6 ударами вальцовой трамбовки.

Совершенно другая картина наблюдается при заполнении водой отсека 6, уплотненного четырьмя ударами трамбовки. Через 46 дней после заполнения отсека водой уровень грунтовой воды под ним поднялся всего лишь на 70 см.

Наблюдения за долговечностью антифильтрационных свойств уплотненных экранов показали, что после того как отсеки перезимовали, в мае—июне 1961 г. из отсеков, уплотненных шестью ударами трамбовки, в среднем фильтровалось 40 л/сутки с 1 м<sup>2</sup> поверхности воды. Фильтрация увеличилась по сравнению с потерями из этих отсеков непосредственно после их уплотнения на 18%, но по сравнению с фильтрацией в начале опыта из отсеков неуплотненных оказалась ниже в 12,4 раза.

В процессе третьего определения фильтрационного расхода осенью 1961 г. и четвертого и пятого весной и осенью 1962 г. не обнаружено какого-либо существенного увеличения фильтрационной способности уплотненных экранов по сравнению с весенним опытом 1961 г.

Несмотря на незначительные изменения во времени фильтрационных свойств уплотненных экранов, соотношение между фильтрацией из неуплотненных и уплотненных отсеков уменьшилось главным образом за счет снижения фильтрации из неуплотненных отсеков. Причиной уменьшения фильтрации из неуплотненных отсеков является разруше-



ние водой структуры верхнего слоя грунта (размокание) и самоуплотнение этого слоя во время сушки и усадки после опорожнения отсеков. Для подтверждения этого перед опытом в октябре 1962 г. с откосов и дна неуплотненного отсека 2 был удален верхний слой грунта толщиной около 5 см. Ранее фильтрация из отсека 2 очень мало отличалась от фильтрации из такого же отсека 1. Удаление верхнего слоя привело к увеличению на 33% потерь воды из отсека 2 по сравнению с потерями из отсека 1.

Таблица 2

| Средняя влажность                       | Глубина отбора проб, м |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|-----------------------------------------|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
|                                         | 0,00                   | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,75 | 1,00 | 1,25 | 1,50 | 1,75 |  |
| <b>Уплотненные отсеки</b>               |                        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| Непосредственно после опорожнения (май) | 44,0                   | 26,0 | 24,0 | 24,2 | 24,0 | 24,3 | 24,7 | 26,1 | 27,8 | 28,2 | 25,0 |  |
| После сушки в течение лета (октябрь)    | 10,9                   | 13,7 | 14,5 | 18,8 | 22,3 | 22,7 | 20,8 | 23,6 | 24,3 | 26,0 | 24,5 |  |
| <b>Неуплотненные отсеки</b>             |                        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| Непосредственно после опорожнения (май) | 36,0                   | 32,3 | 32,6 | 32,4 | 29,9 | 28,6 | —    | —    | —    | —    | —    |  |
| После сушки в течение лета (октябрь)    | 13,3                   | 16,1 | 18,3 | 11,0 | 17,1 | 19,1 | 21,2 | 17,6 | 25,7 | 22,6 | 19,3 |  |

На уменьшение фильтрации из отсеков 1 и 2 оказал также влияние общий подъем уровня грунтовых вод под полигоном, начавшийся весной 1961 г. в связи с пуском канала ЮР-16 и началом полива хлопчатника вокруг полигона.

Периодический отбор проб грунта на плотность из различных глубин экрана показал, что в верхней зоне экранов до глубины около 20 см имеет место разуплотнение грунта, которое является причиной увеличения фильтрации из отсеков по сравнению с исходными потерями. На глубине ниже 0,20 м разуплотнения грунта в течение двух лет практически не наблюдалось.

Прогноз развития процесса разуплотнения экрана можно составить, исходя из следующих соображений:

1) несмотря на то, что отсеки находились без воды все лето, существенное уменьшение влажности экранов за этот период по сравнению с влажностью после опорожнения отсеков отмечалось только на глубине от 0 до 0,3 м (табл. 2). Влажность основной толщи грунтов ниже 0,3 м от поверхности экрана мало изменилась;

2) по данным Управления гидрометеорологической службы УзССР, максимальная глубина промерзания почвы в Голодной степи (по Мирзачульской станции) за последние 13 лет не превышала 24 см (табл. 3).

В Голодной степи и районах с климатом, похожим на голодностепский, не следует ожидать разуплотнения экранов из-за их промерзания или же из-за резких колебаний влажности на глубине, превышающей 25—30 см.

Грунты участка, на котором расположен опытный полигон, сильно загипсованы. За время опытов (с 1960 по 1962 г.) содержание гипса в уплотненных экранах уменьшилось приблизительно на 20%, однако это не повлияло на фильтрацию из отсеков. Наши наблюдения пока-



зали, что выщелачивание гипса протекает очень медленно, следовательно, можно не ожидать скорого ухудшения антифильтрационных свойств экранов.

Таблица 3

| Годы      | Максимальная глубина промерзания, мм | Годы      | Максимальная глубина промерзания, мм | Годы      | Максимальная глубина промерзания, мм |
|-----------|--------------------------------------|-----------|--------------------------------------|-----------|--------------------------------------|
| 1948—1949 | 21                                   | 1952—1953 | 4                                    | 1956—1957 | 4                                    |
| 1949—1950 | 17                                   | 1953—1954 | 0                                    | 1957—1958 | 5                                    |
| 1950—1951 | 24                                   | 1954—1955 | 16                                   | 1958—1959 | 6                                    |
| 1951—1952 | 0                                    | 1955—1956 | 17                                   | 1959—1960 | 18                                   |
|           |                                      |           |                                      | 1960—1961 | 7                                    |

На основании имеющихся данных пока не представляется возможным определить достаточно точно срок службы уплотненных экранов. Однако наши наблюдения дают право предполагать, что он составит не менее 5 лет. До более точной производственной апробации этот срок службы экрана может быть принят в качестве основы для установления технико-экономической эффективности метода ударного уплотнения как антифильтрационного мероприятия.

Для экономической оценки антифильтрационного мероприятия примем предложенную Г. В. Абелишвили [1] методику расчета затрат на сбережение 1 м<sup>3</sup> воды:

$$\Pi = \frac{\beta C \cdot S}{T(\beta Q_{\phi} - Q_{\phi})} \text{ руб/м}^3,$$

где  $\beta$  — показатель, отражающий кратность уменьшения потерь воды благодаря данной одежде;

$C$  — стоимость 1 м<sup>2</sup> поверхности одежды (руб/м<sup>2</sup>);

$S$  — площадь, на которой осуществляется мероприятие (м<sup>2</sup>);

$Q_{\phi}$  — потери воды из канала (без мероприятий) за поливной сезон (м<sup>3</sup>);

$T$  — срок службы экрана (годы).

Экономическую эффективность метода ударного уплотнения рассмотрим на конкретном примере уплотнения канала ЮР-16 в Голодной степи и сравним ее с эффективностью облицовки этого же канала монолитным бетоном и сборными железобетонными плитами (табл. 4).

Кратность уменьшения потерь воды в результате уплотнения канала шестью ударами трамбовки принята равной 6. Это среднеарифметическая величина за 5 лет. Размер фильтрации в четвертый и пятый год эксплуатации канала взят ориентировочно с учетом возможного дальнейшего снижения соотношения между фильтрацией из неуплотненного и уплотненного канала.

Кратность уменьшения потерь воды на фильтрацию из каналов, облицованных бетоном и железобетонными плитами, по сравнению с необлицованными, в соответствии с имеющимися данными [1], принята нами для расчетов равной 10. Фактически эта величина часто меньше. Доказательством могут служить проведенные нами наблюдения. Рядом с опытным полигоном, на участке канала ЮР-16, облицованном монолитным бетоном толщиной 15 см, были заложены скважины в таком же порядке, как у отсека 6. Наблюдения за подъемом уровня грунтовых вод в скважинах после пуска воды в канал и отсек 6 показывают, что при средней глубине наполнения воды в канале ( $h_0 = 61$  см) за 20 дней со дня пуска воды в канал (с 14. V по 4. VI 1962 г.) вода в первой скважине у канала поднялась на 137 см. За такое же время (с 17. IV



по 7. V 1962 г.) при  $h_0 = 95$  см вода в первой скважине у отсека 6 поднялась на 95 см, а с 16. X по 6. XI 1962 г. — на 76 см (при  $h_0 = 118$  см). Кратность уменьшения потерь в отсеке 6 равнялась 3, 7. Из приведенных данных можно сделать вывод, что кратность уменьшения потерь из рассматриваемого нами участка канала, облицованного бетоном, не больше 3–3,5.

Таблица 4

| Показатель                                                                      | Антифильтрационные мероприятия                       |                         |                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|                                                                                 | уплотнение<br>ложе канала<br>тяжелыми<br>трамбовками | бетонная об-<br>лицовка | сборная<br>железобе-<br>тонная об-<br>лицовка тол-<br>щиной<br>80 мм |
| Потери воды из канала без антифильтрационных мероприятий за 1 год, млн. $m^3$   | 4,06                                                 | 4,06                    | 4,06                                                                 |
| Кратность уменьшения потерь ( $\beta$ )                                         | 6                                                    | 10                      | 10                                                                   |
| Объем сберегаемой воды за 1 год в результате применения мероприятия, млн. $m^3$ | 3,38                                                 | 3,66                    | 3,66                                                                 |
| Срок службы экрана, годы (Т)                                                    | 5                                                    | 17                      | 40                                                                   |
| Затраты на 1 $m^2$ одежды, руб. (С)                                             | 0,15                                                 | 3,30                    | 6,22                                                                 |
| Полная стоимость мероприятия, тыс. руб.                                         | 10,0                                                 | 220,0                   | 414,0                                                                |
| Норма амортизации, % от стоимости                                               | 20,0                                                 | 6,0                     | 2,5                                                                  |
| Ежегодные затраты на текущий ремонт, % от стоимости                             | 10,0                                                 | 1,0                     | 0,5                                                                  |
| Ежегодные затраты на амортизацию и ремонт одежды, тыс. руб.                     | 3,0                                                  | 15,4                    | 12,4                                                                 |
| Затраты на сбережение 1 $m^3$ воды, коп/ $m^3$ (П)                              | 0,089                                                | 0,42                    | 0,34                                                                 |

Примечания. 1. Данные о сроке службы экрана, норме амортизации и расходах на текущий ремонт для бетонных и железобетонных облицовок взяты из сб. „Материалы к техническим условиям и нормам проектирования оросительных систем“. Нормы отчислений на амортизацию, текущий ремонт сооружений и оборудования, М., Гипроводхоз, 1957.

2. Стоимость 1  $m^2$  бетонной и железобетонной облицовок взята из смет „Средазгипроводхлопка“ для Голодной степи.

Учитывая близость расположения опытного полигона от канала ЮР-16, можно предположить, что геологические условия канала и опытного полигона сходны и все данные о фильтрации, полученные на опытном полигоне, можно распространить и на канал ЮР-16.

Потери на фильтрацию из канала (с 1 пог. м) в случае отсутствия каких-либо противофильтрационных мероприятий приняты равными потерям из неуплотненных отсеков (с 1 пог. м) после того, как в них произошло естественное уменьшение фильтрации. При этом учтено, что средняя годовая продолжительность работы канала — 200 суток (с 1. V по 16. XI) и средняя температура воды за время работы канала 20°.

При расчете стоимости ударного уплотнения 1  $m^2$  канала мы учли стоимость как машиносмены уплотняющего механизма (экскаватора Э-801 с вальцовой трамбовкой), так и дополнительных земляных работ, вызванных необходимостью уширения приканальных дамб высотой  $> 0,5$  м для прохождения по ним экскаватора. Общая стоимость уплотнения 1  $m^2$  русла канала (С) равна 0,15 руб.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Естественно, что использование более совершенного уплотняющего механизма с большей производительностью и при отсутствии необходимости уширения дамб значительно снизит стоимость работ по уплотнению.



Сравнивая стоимость сберегаемой оросительной воды в результате ударного уплотнения и устройства бетонной или железобетонной облицовок, видим, что первый метод эффективнее второго и третьего в 4—5 раз.

Результаты анализа затрат на устройство различных экранов свидетельствуют об экономической целесообразности широкого внедрения метода ударного уплотнения как антифильтрационного мероприятия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абелишвили Г. В. О технико-экономической оценке противофильтрационных мероприятий, Труды ГрузНИИГиМ, вып. 20, 1958.
  2. Абелишвили Г. В. О факторах, обуславливающих водопроницаемость почвогрунтов, Труды ГрузНИИГиМ, вып. 21, 1960.
  3. Аравин В. И. О фильтрации из резервуаров, «Известия НИИГ», т. 16, Л., 1935.
  4. Вызго М. С. Гидравлический расчет фильтрации из каналов и противофильтрационного слоя, Алма-Ата, АН КазССР, 1959.
  5. Костяков А. Н., Фаворин Н. Н., Аверьянов С. Ф. Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод, М., АН СССР, 1956.
  6. Кривовяз С. М. «Гидротехника и мелиорация», 1953, № 3.
  7. Мигин С. И., Жукова В. М. «Гидротехническое строительство», 1954, № 6.
  8. Охотин В. В. Физические и механические свойства грунтов в зависимости от их минералогического состава и степени дисперсности, М., Гушосдор, 1937.
  9. Пулатов У. Ю., Пак С. Д., Островский Э. М. Опытные производственные работы по ударному уплотнению на канале М-2, Материалы по производительным силам Узбекистана, вып. 15, Ташкент, 1960.
  10. Решение координационно-методического совещания по борьбе с потерями из оросительных систем, М., ВАСХНИЛ, 1961.
  11. Рождественский Е. Д. Физико-технические свойства лессовых грунтов Узбекистана, Ташкент, АН УзССР, 1960.
  12. Урманова Г. Л. Об ударном уплотнении лессовых грунтов в целях снижения их водопроницаемости (по данным лабораторных исследований образцов ненарушенного сложения), В сб. «Вопросы гидротехники», вып. 8, Ташкент, АН УзССР, 1962.
  13. Хлебников С. Г., Абелишвили Г. В., Кервилишвили Д. М. «Гидротехника и мелиорация», 1955, № 6.
  14. Хлебников С. Г. Ударное уплотнение грунтов как противофильтрационное мероприятие для постоянных каналов и водоемов, В сб. «Способы борьбы с потерями воды на фильтрацию», М., Сельхозгиз, 1956.
  15. Шейхет И. М. «Изв. АН УзССР», сер. техн. наук, 1960, № 5.
-



---

Л. Б. СМОЛИНА, О. Ф. КУТУМОВА, Б. С. БЕЙНИСОВИЧ

## АНТИФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ЭКРАНЫ ИЗ БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН, ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ И УГЛЕЩЕЛОЧНОГО РЕАГЕНТА

Угleshелочные порошки из среднеазиатских выветрившихся или искусственно окисленных бурых углей и небольших добавок концентрированной щелочи — достаточно эффективные антифильтрационные агенты в экранах из уплотненных лессовых грунтов [9, 10, 12].

Необходимо выяснить, как влияет метод приготовления угleshелочных порошков, в частности концентрация раствора щелочи и нагревание угля с добавками последней, а также предварительное настаивание угleshелочной смеси с водой на водопроницаемость экранов из лессовых грунтов разного механического состава.

Выветрившиеся и искусственно окисленные угли содержат гуминовые кислоты, отличающиеся разной степенью конденсированности ядер, боковыми цепями и функциональными группами. В данной работе мы исследовали антифильтрационное влияние угleshелочных порошков, приготовленных из гуминовых кислот разной степени конденсированности, выделенных из выветрившихся кызылкийских углей хлористым натрием по методике, разработанной Д. Т. Забрамым и Г. П. Мощенко [2].

Многими исследователями [1, 5] установлено, что экраны из местных бентонитовых глин или добавки последних в лессовые и песчаные грунты значительно снижают водопроницаемость этих грунтов. Необходимо изучить антифильтрационные свойства бентонитовых глин местных уже известных и вновь открываемых месторождений на территории Средней Азии, а также снизить нормы расхода бентонитовых глин в антифильтрационных экранах путем использования малоконцентрированных глинистых суспензий и модифицирования поверхности глин солонцеванием, покрытием пленками из нерастворимых гуматов и другими современными методами [6].

Мы исследовали антифильтрационные экраны из бентонитовых глин Приташкентского района — келесской и каракушханинской [4], смеси азкамарских (применена В. Ф. Брусенцевым и И. П. Айдаровым из НИС ТСХА в антифильтрационных экранах оросительных каналов на целинных землях Голодной степи), каттакурганских (образцы взяты из вертикальных разрезов ряда шурфов), огланлинской и недавно открытой глины Дехканабадского района Сурхандарьинской области (темиркишлакская).

При обработке глин пирофосфатом натрия выделилось 40—60% частиц  $< 0,001$  мм. В келесских глинах содержится большое количество ультрамикроскопических частиц (С. Е. Прянишников). Каракушханин-



ские глины сравнительно грубодисперсные, с повышенным количеством кремнезема. В темиркишлакской глине — около 40% частиц  $< 0,001$  мм.

Карбонатность азкамарских, огланлинской и темиркишлакской глин 4—8%  $\text{CO}_2$ .

Суммарная емкость обмена исследованных глин изменяется от 29 до 62 мг·экв на 100 г глины. По составу поглощенных катионов эти глины можно разделить на три группы.

В каракушханинской и келесской глинах поглощенного натрия содержится 17—24 мг·экв, поглощенного магния — 7—13 и поглощенного кальция — 4—5 мг·экв на 100 г глины. Поглощенные кальций и магний составляют 40—43% от общей емкости обмена [13].

Каттакурганская (проба 16) и огланлинская глины, в поглощающем комплексе которых содержится 10—5 мг·экв поглощенного натрия, 16—21 поглощенного магния и 10—36 мг·экв поглощенного кальция, имеют 72—91% поглощенных кальция и магния от общей емкости обмена. В этих глинах относительно много поглощенного магния и немного поглощенного натрия.

В поглощающем комплексе азкамарских и темиркишлакской глин 14—5 мг·экв поглощенного натрия, 6—8 поглощенного магния и 24—18 мг·экв кальция; последний превалирует в составе поглощенных оснований, сумма поглощенных кальция и магния 68—81%.

Агрегатное состояние глин зависит и от присутствующих солей. Наиболее засолены азкамарские и темиркишлакская глины, сухой остаток — 1,56 и 1,03%. В водной вытяжке первые содержат больше хлоридов (1, 20%), а вторая — сульфатов (0,72%). Образец келесской глины мало засолен. В водной вытяжке из каракушханинской глины содержится 0,16% хлора, 0,14%  $\text{SO}_4$ , а из огланлинской — 0,55% хлора; растворимых сульфатов не обнаружено. В водной вытяжке из каттакурганских глин в пробе 16 содержится 0,23% хлора, 0,30%  $\text{SO}_4$ , в пробе 17 — 0,07 и 0,14%, в пробе 18 — 0,35 и 0,38% и в пробе 19 (темно-серая гумусированная глина) 0,11 и 0,15% соответственно. Подробно изучена проба 16 (светло-серые глины).

Естественные глины набухают в воде, увеличиваясь в объеме в 3—4 раза, за исключением малозасоленной келесской и белой разновидности монтмориллонитовой глины Каттакурганского месторождения (проба 17), разбухающих в 8—9 раз. Каракушханинская глина разбухает в 4,3 раза, огланлинская и азкамарские — в 3. У образцов (пробы 16, 18 и 19) каттакурганских глин при набухании объем увеличивается в 3,5—3,8 и 1,5 раза. Они имеют монтмориллонитовый состав с примесями гидрослюд.

После обезвоживания при 105° исследованные глины, кроме проб 18 и 19 каттакурганских глин, разбухали меньше (в 2,2 раза), особенно келесская и каракушханинская. Азкамарские глины после высушивания величину набухания изменили мало (в 1,2 раза).

Коллоидальность естественных глин изменяется от 100—98 (проба 17 каттакурганских глин и келесская глина) до 28—19 (азкамарские, огланлинская и проба 19 каттакурганских глин). Коллоидальность каттакурганской (проба 18) и каракушханинской глин не превышает 57—52. Каттакурганская глина (проба 16) оседала быстро, но над рыхлым осадком долго сохранялась устойчивая муть из высокодисперсных частиц.

После высушивания при 105°C глин, образующих в естественном состоянии малоустойчивые суспензии, коллоидальность увеличивалась в 1,5—2 раза.



Среди многих факторов, влияющих на водопроницаемость грунтов, главная роль принадлежит размерам, форме пор и трещин, а также взаимодействию между частицами грунта и водой [8]. Адсорбцию паров воды и бензола лессовым грунтом, каолинитовой и бентонитовой глинами, выветрившимися и искусственно окисленными углями и окисленным лигнином Андиганского гидролизного завода мы изучали в статических условиях (эксикаторным методом) [3]. По адсорбции паров бензола установлено распределение микропор по размерам (в эксикаторах с растворами бензола в вазелиновом масле).

Наиболее тонкой ультрапористой структурой обладает выветрившийся кызылкийский уголь, затем искусственно окисленный концентрированной кислотой на холоде бурый уголь того же месторождения. Келесская бентонитовая глина поглощает большое количество паров воды и бензола и содержит микропоры разных размеров. Каолинитовая глина Ангренского месторождения и особенно нижнебозсуйский лессовый грунт (пылеватая тяжелая супесь) со значительно более легким механическим составом поглощают меньше паров воды и бензола.

В лессовом грунте микропор с радиусами  $< 33 \text{ \AA}$  обнаружено 36%,  $33-134 \text{ \AA}$  — 28,  $134-315 \text{ \AA}$  — 15 и  $\geq 315 \text{ \AA}$  — 21%, т. е. радиусы двух третей микропор меньше  $134 \text{ \AA}$ . Каолинитовая глина содержит  $2/3$  микропор больше  $134 \text{ \AA}$ , келесская бентонитовая — 40% микропор с радиусами меньше  $33 \text{ \AA}$ , из них 25% составляют ультрапоры с радиусами меньше или равными  $17 \text{ \AA}$ . В этой глине 20% микропор имеют радиусы  $33-134 \text{ \AA}$  и 40% больше  $134 \text{ \AA}$  (из них 25% равны или больше  $315 \text{ \AA}$ ).

В окисленном кызылкийском угле радиусы около 60% микропор меньше  $33 \text{ \AA}$  (из них около 40% — тонкие ультрапоры с радиусами  $\leq 17 \text{ \AA}$ ), т. е. в нем резко преобладают тонкие ультрапоры. Окисленный лигнин еще более ультрапорист, так как в нем радиусы около 50% микропор меньше или равны  $17 \text{ \AA}$ , 70% меньше  $33 \text{ \AA}$  и только радиусы 12% микропор равны или больше  $315 \text{ \AA}$ .

Окисленный уголь содержит более конденсированные гуминовые кислоты, чем окисленный лигнин. После взаимодействия со щелочью в окисленном лигнине образуются высокодисперсные гуматы натрия, которые не только легко проникают в поры лессового грунта, но и недостаточно в них задерживаются. Более конденсированные гуматы окисленных бурых углей лучше кольматируют поры лессовых грунтов и эффективнее снижают их водопроницаемость.

Угleshелочные порошки из среднеазиатских выветрившихся и искусственно окисленных бурых углей в десятки и сотни раз снижают водопроницаемость лессовых грунтов, но эффективность их действия в первую очередь зависит от степени конденсации гуминовых кислот в угле и размера пор в грунте.

Снижение водопроницаемости в системе грунт — гуматный порошок обусловлено поверхностными и сорбционными свойствами угля, угleshелочного порошка и гуматов кальция, играющих важную роль в склеивании частиц грунта и изменении его водопроницаемости [14].

Теплота смачивания выветрившихся углей Кызылкийского месторождения (определена в калориметре Андрианова и параллельно в адиабатическом калориметре типа Ильина — Киселева) равна  $15,5 \text{ кал/г}$ , угleshелочного порошка ( $1,5 \text{ г}$  угля и  $0,2 \text{ г}$  NaOH из 40-про-



центного раствора щелочи, нагревали 1 час при  $75^{\circ}$ ) — 26,7 и гуматов кальция — 22,5 кал/г.

Указанный уголь сорбирует 15,3 мМ/г паров воды и 0,5 бензола, отношение их объемов равно 6,2. Окисленный кызылкийский уголь [3] адсорбировал 10 мМ/г паров воды, а окисленный лигнин — 10,5, карбонаты кальция (их много в лессовых грунтах) — 3,7 и карбонаты магния — 3,8 мМ/г.

Гуматы кальция адсорбируют 16,2 мМ/г паров воды и 1,2 паров бензола, отношение их объемов равно 2,8. По сравнению с углещелочным порошком, содержащим гуматы натрия, гуматы кальция более гидрофобны и менее ультрапористы.

Чиланзарский тяжелосуглинистый грунт адсорбировал 2,7 мМ/г паров воды и 0,42 паров бензола, отношение их объемов равно 1,3. Пылеватый среднесуглинистый грунт из района ж.-д. ст. Пахта адсорбировал 2,1 мМ/г паров воды и 0,44 мМ/г бензола, отношение сорбированных объемов воды и бензола равно 0,9 (за 10 суток).

В исследованных лессовых грунтах сравнительно мало тонких и переходных пор, в них много карбонатов (9,6 и 8,4%  $\text{CO}_2$ ). Интересно сопоставление фильтрации воды через экраны из грунтов и карбонатов кальция.

Неизмельченные лессовые грунты фильтровали воду в условиях вакуумно-фильтрационной установки с воронкой Бюхнера (диаметр 9 см) со скоростью 18—40 см<sup>3</sup>/мин, измельченные деревянным пестиком и просеянные через сито с отверстиями 0,25 мм — со скоростью 15—23 см<sup>3</sup>/мин. Смесь грунтов с углещелочным порошком (1,5% угля и 0,2% NaOH в виде 25-процентного раствора щелочи) фильтровала воду со скоростью 0,28—0,42 см<sup>3</sup>/мин.

Порошок карбоната кальция в условиях фильтровально-вакуумной установки с воронкой с пористой стеклянной пластинкой № 1 фильтровал воду со скоростью 1,6 см<sup>3</sup>/мин, а зерненный — 18. Смесь порошка карбоната кальция с углещелочным реагентом фильтровала воду со скоростью 0,35 см<sup>3</sup>/мин. Эти данные свидетельствуют о том, что снижение водопроницаемости лессовых грунтов в присутствии углещелочных порошков связано и с карбонатами кальция. При внесении углещелочного порошка в карбонат кальция экран заметно уплотнялся и его частицы склеивались.

Многочисленными опытами с указанными грунтами и различно приготовленными углещелочными порошками установлено, что 1,5% выветрившегося кызылкийского угля и 0,15% щелочи (от веса грунта) из 25- и 40-процентных растворов щелочи снижают водопроницаемость измельченного и просеянного грунта Чиланзарского массива в 31—38 раз. При добавлении 25-процентного раствора щелочи и предварительном односуточном настаивании углещелочного порошка с водой водопроницаемость этого грунта уменьшилась в 40 раз. Углещелочный порошок, приготовленный при одночасовом нагревании смеси угля со щелочью при  $100^{\circ}$ , снизил водопроницаемость грунта в 92 раза.

Углещелочный реагент, приготовленный с 0,2% щелочи от веса грунта, уменьшает фильтрацию воды в 53 раза.

Введение в грунт углещелочного порошка, приготовленного при одночасовом нагревании ( $70$ — $80^{\circ}$ ) смеси угля с добавками щелочи в виде 40-процентного раствора NaOH, и суточное замачивание измельченного грунта с этим реагентом снижают водопроницаемость грунта (в условиях уплотнения в вакууме до объемного веса скелета грунта 1,6—1,7 г/см<sup>3</sup>) в 82 раза. Введение в грунт (в этих же условиях) 2%



угля и 0,2—0,25% щелочи уменьшает водопроницаемость грунта в 200—370 раз.

Угleshелочной порошок из 1,5% угля и 0,15% щелочи (от веса грунта) в виде добавок 25-процентного раствора NaOH в неизмельченный чиланзарский грунт уменьшил водопроницаемость грунта почти в 40 раз. Предварительное 1—2-суточное замачивание смеси грунта с угleshелочным порошком водой в количестве 40—50% благоприятно для еще большего уменьшения скорости фильтрации воды через этот грунт. Повышение количества щелочи в реагенте до 0,25% от веса грунта снижает его водопроницаемость в 100 раз. Вместо предварительного замачивания грунта с водой можно после односуточного настаивания смеси угля и щелочи с водой «вызревший» УЩР внести в лессовый грунт. Водопроницаемость измельченного, просеянного и неизмельченного грунта в присутствии термически необработанных угleshелочных порошков практически одинакова.

Большое количество гуматов натрия с более высокой степенью дисперсности и активности катионного обмена образуется в результате одночасового нагревания смеси угля с добавками щелочи при 70—80°, повышения концентрации исходного раствора щелочи и более узкого соотношения между углем и щелочью в угleshелочном порошке (40% NaOH, 0,2—0,25% щелочи и 1,5—2% угля).

В среднесуглинистом грунте района ж.-д. ст. Пахта угleshелочной порошок из 2% угля и 0,2% щелочи (от веса грунта) снизил водопроницаемость в 105 раз, нагретый порошок (1 час при 70—80°) — в 800—1000 раз.

Сравнение водопроницаемости грунтов, уплотненных в вакууме до объемного веса 1,6—1,7 г/см<sup>3</sup>, с фильтрацией воды через уплотненные грунты вне вакуума показало, что последние фильтруют воду значительно медленнее, особенно в присутствии угleshелочных порошков из искусственно окисленных бурых углей.

Гуминовые кислоты и их соли широко применяются в народном хозяйстве. По составу они неоднородны. Для более рационального использования выветрившихся углей в антифильтрационных реагентах необходимо исследовать отдельные группы этих кислот, легко выделяемых из угля. Из кызылкийского выветрившегося угля выделена смесь гуминовых кислот, а из них — гумусовые и гиматомелановые. Исследованные гумусовые кислоты состоят из более конденсированных и гидрофобных макромолекул, чем гиматомелановые. В последних больше функциональных кислых групп. Исходные гуминовые кислоты состоят главным образом из гумусовых кислот и близки к ним по конденсированности ядер макромолекул, но в них функциональных кислых групп больше, чем в гумусовых кислотах.

Гуминовые и выделенные из них гумусовые и гиматомелановые кислоты мы перемешивали с небольшим количеством 25-процентного NaOH и эту смесь вносили в лессовые грунты, песок (главным образом с диаметром частиц 0,25—0,50 мм) и бентонитовую глину из расчета 0,75% кислот и 0,20% щелочи от веса грунта. Водопроницаемость песчаных и лессовых грунтов изучали в вакуумно-фильтрационной установке с воронками № 1, а бентонитовой глины — на воронках Бюхнера с постоянной подачей воды сосудом Мариотта (табл. 1).

Наиболее эффективное антифильтрационное влияние натриевых солей гумусовых и затем гиматомелановых кислот отмечено в песке: водопроницаемость экрана уменьшилась в 800—1600 раз. Гуматы натрия смеси кислот действовали в 20—40 раз слабее, что объясняется присутствием в гуминовых кислотах низкомолекулярных кислот.



В пылеватом среднесуглинистом грунте района ст. Пахта наибольшее антифильтрационное действие оказали натриевые соли гумусовых кислот, снизившие его водопроницаемость в 100 раз. Натриевые соли гиматомелановых и смеси гуминовых кислот менее эффективны: фильтрация воды уменьшилась в 20—17 раз.

Таблица 1

Влияние солей натрия гуминовых кислот выветрившегося угля Кызылкийского месторождения на водопроницаемость грунтов

| Кислоты                   | Фильтрация воды, см <sup>3</sup> /мин |                 |                 |                                             |
|---------------------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------------------------|
|                           | песок                                 | лессовые грунты |                 | келес-<br>ская бен-<br>тонито-<br>вая глина |
|                           |                                       | „Пах-<br>та“    | „Чилан-<br>зар“ |                                             |
| Гумусо-<br>вые            | 0,01                                  | 0,025           | 0,03            | 0,15                                        |
| Гимато-<br>мелано-<br>вые | 0,02                                  | 0,12            | 0,04            | 0,13                                        |
| Гумино-<br>вые            | 0,42                                  | 0,14            | 0,09            | 0,25                                        |
| „                         | 16,66                                 | 2,40            | 1,19            | 0,29                                        |

Таблица 2

Содержание гумуса в экранах после многократной фильтрации воды, %

| Кислоты                   | Песок | Лессовые<br>грунты |                 | Келес-<br>ская бен-<br>тонито-<br>вая глина |
|---------------------------|-------|--------------------|-----------------|---------------------------------------------|
|                           |       | „Пах-<br>та“       | „Чилан-<br>зар“ |                                             |
| Гумусо-<br>вые            | 0,39  | 0,94               | 0,91            | 0,77                                        |
| Гимато-<br>мелано-<br>вые | 0,16  | 0,68               | 0,90            | 0,59                                        |
| Гумино-<br>вые            | 0,05  | 0,66               | 0,70            | 0,62                                        |

Натриевые соли гумусовых и гиматомелановых кислот снизили водопроницаемость пылеватого тяжелосуглинистого грунта в 40—30 раз, соли гуминовых кислот действовали в 2—3 раза слабее.

Натриевые соли гумусовых кислот образовали наилок на поверхности келесской бентонитовой глины. Соли гиматомелановых кислот более эффективны в глине. Соли смеси гуминовых кислот почти не изменили водопроницаемости экрана из высокодисперсной глины.

В исследованных экранах гумус определен по Тюрину. Как правило, снижение водопроницаемости грунтов соответствует большему содержанию органических веществ в экране (табл. 2). Следовательно, гумусовые кислоты, превалирующие в составе гуминовых кислот выветрившегося кызылкийского угля, определяют эффективное антифильтрационное действие углещелочных порошков в песчаном и лессовых грунтах.

Исследована водопроницаемость гранулометрических фракций лессовых грунтов в присутствии натриевых солей гуминовых кислот. Резкое падение скорости фильтрации воды наблюдается в экранах из частиц диаметром  $< 0,005$  мм (табл. 3). Натриевые соли гумусовых и гиматомелановых кислот уменьшают водопроницаемость экранов в 3 раза. Гуматы смеси кислот действуют слабее. Более значительно снижение скорости фильтрации воды в экранах из механических фракций среднесуглинистого грунта [7].

В Средней Азии имеются месторождения сланцевых глин с разным количеством органических веществ. Образец сланцевой глины Чапанатинского месторождения передан нам В. И. Ездаковым (СамГУ). В образце содержится 2,4% гумуса и 8,39% гигроскопической влаги. Глина набухает в 1,5—2 раза. Скорость фильтрации воды через экран из этой глины достигает 0,76 см<sup>3</sup>/мин. Небольшие дозировки щелочи увеличивают водопроницаемость глины, а с добавлением 0,3% щелочи она уменьшается в 4 раза. Солонцевание глины 5% хлористого натрия сни-



жает скорость фильтрации в 7 раз. Экраны из сланцевой глины уменьшают водопроницаемость лессовых грунтов в 20—60 раз.

Механизм антифильтрационного действия углещелочных порошков связан с коагуляцией пор и изменением гидрофильности частиц грунтов. В табл. 4 приведены количества гумуса и частиц разного размера в экранах из грунтов и углещелочных порошков.

Таблица 3

Водопроницаемость экранов из гранулометрических фракций лессовых грунтов с солями натрия гуминовых кислот

| Кислоты          | Фракции, мм |            |             |        |
|------------------|-------------|------------|-------------|--------|
|                  | 0,05—0,01   | 0,01—0,005 | 0,005—0,001 | <0,001 |
| Грунт „Пахта“    |             |            |             |        |
| Гумусовые        | 26,8        | 7,0        | 0,16        | 0,05   |
| Гиматомелановые  | 25,6        | 7,4        | 0,15        | 0,04   |
| Гуминовые        | 31,3        | 9,0        | 0,37        | 0,06   |
| „                | 39,5        | 15,4       | 0,48        | 0,07   |
| Грунт „Чиланзар“ |             |            |             |        |
| Гумусовые        | 40,8        | 8,9        | 0,16        | 0,10   |
| Гиматомелановые  | 44,05       | 6,2        | 0,52(?)     | 0,05   |
| Гуминовые        | 43,1        | 10,9       | 0,64        | 0,12   |
| „                | 46,1        | 14,6       | 0,63        | 0,16   |

Наиболее значительно изменился гранулометрический состав пылеватого среднесуглинистого грунта «Пахта», в котором количество частиц  $< 0,001$  мм увеличилось на 3—5% при одновременной дезагрегации 4—8% частиц  $> 0,05$  мм. Параллельно сильно понизилась его водопроницаемость (0,04 см<sup>3</sup>/мин). В ирригационном наносе увеличивается количество частиц  $< 0,001$  мм на 5—6%, а водопроницаемость уменьшается до 0,09—0,05 см<sup>3</sup>/мин. Меньше изменился гранулометрический состав пылеватого тяжелосуглинистого грунта и нижнего горизонта луговой почвы. Водопроницаемость грунтов с углещелочным порошком коррелируется с содержанием органических веществ.

Более конденсированные нитрогуматы ангреноского угля водопроницаемость пылеватого тяжелосуглинистого грунта снижают меньше, чем гуматы выветрившегося кызылкийского угля. Менее конденсированные нитрогуматы окисленного лигнина хотя и диспергируют грунт, но мало снижают его водопроницаемость, так как они легче проникают через поры и трещины.

Гидрофильность чиланзарского грунта с углещелочным порошком (табл. 5) возросла, а с щелочью или хлористым натрием уменьшилась. Однако при сопоставлении величин теплоты смачивания водой грунта и углещелочного порошка с их смесью отмечается, что в последней идут физико-химические процессы, приводящие к небольшой гидрофобизации этой системы.

Исследовано также антифильтрационное влияние полимера К-5 (11) в песчаных и лессовых экранах (на воронках № 1). 0,5% этого



Таблица 4

Гранулометрический состав грунтов<sup>1</sup> с углещелочным порошком<sup>2</sup>

| Добавки, %                       |        | Гумус,<br>% | Содержание фракций, % |                  |              |              | Фильтрация<br>воды<br>см <sup>3</sup> /мин |
|----------------------------------|--------|-------------|-----------------------|------------------|--------------|--------------|--------------------------------------------|
| уголь                            | щелочь |             | >0,05<br>мм           | 0,05—0,005<br>мм | <0,005<br>мм | <0,001<br>мм |                                            |
| Чиланзарский грунт               |        |             |                       |                  |              |              |                                            |
| —                                | —      | 0,19        | 8                     | 65               | 27           | 11           | 6,66                                       |
| —                                | 0,25   | 0,32        | 9                     | 62               | 29           | 14           | 0,30                                       |
| 1,5                              | 0,20   | 0,90        | 9                     | 64               | 27           | 14           | 0,06                                       |
| 2,0                              | 0,20   | 1,35        | 7                     | 68               | 25           | 13           | 0,03                                       |
| 2,0 <sup>3</sup>                 | 0,20   | 1,81        | 10                    | 64               | 26           | 12           | 0,07                                       |
| 1,5 <sup>4</sup>                 | 0,20   | 1,10        | 7                     | 64               | 29           | 14           | 0,37                                       |
| Грунт ж.-д. ст. Пахта            |        |             |                       |                  |              |              |                                            |
| —                                | —      | 0,19        | 16                    | 66               | 18           | 8            |                                            |
| 1,5                              | 0,2    | 0,93        | 12                    | 70               | 18           | 11           | 0,05                                       |
| 2,0                              | 0,2    | 1,33        | 8                     | 70               | 22           | 13           | 0,04                                       |
| Ирригационный нанос              |        |             |                       |                  |              |              |                                            |
| —                                | —      | 0,16        | 14                    | 63               | 23           | 12           | 1,90                                       |
| —                                | 0,2    | 0,27        | 16                    | 58               | 26           | 12           | 0,12                                       |
| 1,5                              | 0,2    | 1,59        | 13                    | 63               | 24           | 15           | 0,18                                       |
| 1,5                              | 0,25   | 0,82        | 11                    | 60               | 29           | 17           | 0,09                                       |
| 2,0                              | 0,20   | 2,34        | 11                    | 58               | 31           | 18           | 0,05                                       |
| Глубинный горизонт луговой почвы |        |             |                       |                  |              |              |                                            |
| —                                | —      | 0,644       | 23                    | 55               | 22           | 12           | 2,00                                       |
| 1,5                              | 0,2    | 1,703       | 23                    | 53               | 24           | 13           | 0,02                                       |
| 2,0                              | 0,2    | 1,800       | 24                    | 52               | 24           | 14           | 0,05                                       |

<sup>1</sup> Грунты обработаны пирофосфатом натрия.<sup>2</sup> УЩР из кызылкийского угля с добавками 40% щелочи нагревали 1 час при 70—80°.<sup>3</sup> Окисленный уголь Ангrena.<sup>4</sup> Окисленный лигнит.

Таблица 5

## Гидрофильность чиланзарского грунта с УЩР

| Добавки % |       | $Q_{H_2O}$ | $Q_{C_6H_6}$ | $\beta = \frac{Q_{H_2O}}{Q_{C_6H_6}}$ |
|-----------|-------|------------|--------------|---------------------------------------|
| щелочь    | уголь | кал/г      |              |                                       |
| —         | —     | 1,9        | 0,4          | 4,7                                   |
| 0,2       | —     | 1,9        | 0,5          | 3,8                                   |
| 0,2       | 1,5*  | 2,1        | 0,4          | 5,2                                   |
| 0,2       | 1,5** | 2,0        | 0,3          | 6,7                                   |
| 2% NaCl   | —     | 1,7        | 0,4          | 4,2                                   |

\* Нитрогуминовая кислота (из окисленного угля Ангrena).

\*\* Окисленный кызылкийский уголь (75% нитрогуминовой кислоты).



полимера в экране снижают его водопроницаемость в 100—400 раз (табл. 6).

Водопроницаемость песчаных и лессово-грунтовых экранов с добавками бентонитовых глин (15%) или экранов из бентонитовых глин изучали в вакуумно-фильтровальной установке с воронкой Бюхнера (диаметр 9 см) и постоянной подачей воды (табл. 7 и 8).

Таблица 6

Водопроницаемость экранов из песка и лессовых грунтов с добавками К-5

| Грунт       | Добавки<br>К-5, % | Фильтрация воды,<br>см <sup>3</sup> /мин |      |
|-------------|-------------------|------------------------------------------|------|
|             |                   | 1-я                                      | 2-я  |
| Песок       | 0,5               | 0,10                                     | 0,07 |
|             | 1,0               | 0,04                                     | 0,02 |
| „Пахта“     | 0,5               | 0,11                                     | 0,07 |
|             | 1,0               | 0,23                                     | 0,08 |
| „Чилан-зар“ | 0,5               | 0,08                                     | 0,04 |
|             | 1,0               | 0,18                                     | 0,04 |

Таблица 7

Водопроницаемость экранов из бентонитовых глин (10%) и майского песка (90%)

| Глина            | Фильтрация, см <sup>3</sup> /мин |             |                |                         |
|------------------|----------------------------------|-------------|----------------|-------------------------|
|                  | сквозь кусочки глины             |             | сквозь порошок |                         |
|                  | под ваку-<br>умом                | вне вакуума | вне вакуума    | с добавкой 1,7%<br>УЩР* |
| Азкамарская      | 0,78                             | 0,029       | 0,014          | 0,020                   |
| Каракушханинская | 0,70                             | 0,005       | 0,003          | 0,002                   |
| Каттакурганская  | 1,13                             | 0,010       | 0,006          | 0,004                   |
| Келесская        | 0,74                             | 0,007       | 0,006          | 0,003                   |
| Огланлинская     | 0,98                             | 0,012       | 0,008          | 0,007                   |
| Темиркишлакская  | 0,64                             | 0,029       | 0,016          | 0,016                   |
| Песок            | 23,50                            | 2,50        | —              | —                       |

\* Вне вакуума

Бентонитовые экраны воду фильтровали медленнее и для сравнения их водопроницаемости использовали скорость фильтрации воды после отфильтровывания 40 мл жидкости. Параллельно определяли водопроницаемость бентонитовых экранов вне вакуума.

Скорость фильтрации воды через уплотненные экраны в вакууме и вне его зависит от природы глины. В обычных условиях келесская и каракушханинская фильтруют воду в 100—140 раз медленнее, огланлинская и каттакурганская (проба 16) — в 80—100, а азкамарские и темиркишлакская — в 20—30 раз. Порошкообразные глины (просеяны через сито с отверстиями 0,25 мм) в 1,5—2 раза сильнее снижали водопроницаемость песчаного экрана по сравнению с раздробленными на кусочки (1—10 мм), особенно азкамарские и темиркишлакская глины.



Добавка (15%) бентонитовых глин в лессовые грунты уменьшает их водопроницаемость в 6—64 раза (табл. 8). В экранах из пылеватого среднесуглинистого грунта более эффективны добавки темиркишлакской, огланлинской и каттакурганской глин, а в тяжелосуглинистом грунте — келесской, темиркишлакской, азкамарских и каракушханинской. Учитывая, что уплотненные экраны в условиях обычных давлений фильтруют воду значительно медленнее, в среднесуглинистом грунте можно считать эффективным антифильтрационное действие огланлинской и каттакурганской глин, а в тяжелосуглинистом — келесской и каракушханинской.

Т а б л и ц а 8

Влияние бентонитовых глин на водопроницаемость лессовых грунтов

| Глина            | Фильтрация, $\text{см}^3/\text{мин}$ |            |
|------------------|--------------------------------------|------------|
|                  | „Пахта“                              | „Чиланзар“ |
| Азкамарская      | 3,02                                 | 0,52       |
| Каракушханинская | 3,25                                 | 0,75       |
| Каттакурганская  | 1,14                                 | 1,48       |
| Келесская        | 2,07                                 | 0,28       |
| Огланлинская     | 0,88                                 | 3,11       |
| Темиркишлакская  | 0,96                                 | 0,30       |
| Лессовый грунт   | 40,0                                 | 18,0       |

Солонцевание бентонитовых глин 0,4—4% хлористого натрия снижает водопроницаемость экранов из келесской, каттакурганской и огланлинской глин в 4—6 раз, остальные глины мало изменили водопроницаемость с добавкой хлористого натрия.

Угleshелочные порошки наиболее эффективны в экране из огланлинской глины, содержащей около 90% поглощенных кальция и магния, ее водопроницаемость уменьшилась в 3,5 раза. Солонцевание и введение угleshелочных порошков в экраны из бентонитовых глин несколько снижают их водопроницаемость, но положительный эффект их невелик.

Сильно отличается водопроницаемость экранов из образцов каттакурганских глин, отобранных из разных пластов. Проба 18 (шурф 1) из верхнего пласта светло-зеленых и зеленовато-серых глин, содержащих много гипса, фильтровала воду со скоростью  $0,14 \text{ см}^3/\text{мин}$  (вакуум), солонцевание глины и внесение угleshелочных порошков эту скорость изменили мало. Проба 17 (шурф 20) фильтровала воду со скоростью  $0,07 \text{ см}^3/\text{мин}$ . Вне вакуума уплотненный экран из этого образца фильтровал воду в 70 раз медленнее. С добавкой 6,6% угleshелочного порошка водопроницаемость экрана уменьшилась еще в 10 раз. Проба 19 (шурф 24) из нижнего пласта темно-серых глин весьма водопроницаема ( $9,09 \text{ см}^3/\text{мин}$ ). При добавлении 1% хлористого натрия фильтрация воды пробой 19 уменьшилась приблизительно в 4, а угleshелочного порошка — почти в 50 раз. Водопроницаемость каттакурганских глин находится в обратной зависимости от их способности набухать и образовывать стабильные суспензии.



Расход ценных бентонитовых глин как антифильтрационного материала можно резко снизить, используя малоконцентрированные суспензии для пропитки песчаных и лессовых грунтов.

0,2—1% суспензии келесской и каттакурганских глин (вакуум) уменьшил водопроницаемость песчаного экрана в 260—1800 раз. Этот метод необходимо проверить в полевых условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Брусенцев В. Ф., Айдаров И. П. «Гидротехника и мелиорация», 1959, № 11.
2. Забрамный Д. Т., Мощенко Г. П. Фракционирование гуминовых кислот высаливанием хлористым натрием, В сб. «Исследование минерального и растительного сырья Узбекистана», Ташкент, АН УзССР, 1962, стр. 183.
3. Забрамный Д. Т., Таджиев А. Т., Софиев И. С., Черный В. В. Применение углей и гидролизного лигнина для производства гуминовых удобрений и продуктов, понижающих вязкость глинистых растворов при бурении, В сб. «Гуминовые и полимерные препараты в сельском хозяйстве», Ташкент, АН УзССР, 1961, стр. 25.
4. Закиров М. З. Палеогеновые глины Приташкентского района и пути их использования, Автореферат канд. дисс., Ташкент, Институт геологии АН УзССР, 1961.
5. Карвицкий М. П., Шамрай Л. Н. «Гидротехника и мелиорация», 1961, № 7.
6. Овчаренко Ф. Д. Гидрофильность глин и глинистых минералов, Киев, АН УССР, 1961.
7. Рождественский Е. Д. Лессовые грунты Узбекистана как материал для земляных плотин, Ташкент, АН УзССР, 1962, стр. 24.
8. Сергеев Е. М. Грунтоведение, МГУ, 1959, стр. 248.
9. Смолина Л. Б. «Сельское хозяйство Узбекистана», 1959, № 10.
10. Смолина Л. Б., Броновицкая Л. Е. ДАН УзССР, 1959, № 10.
11. Смолина Л. Б., Волкова В. Я. Влияние искусственных структурообразователей на агрегацию частиц в типичном сероземе, В сб. «Гуминовые и полимерные препараты в сельском хозяйстве», Ташкент, АН УзССР, 1961, стр. 89.
12. Смолина Л. Б., Кутумова О. Ф., Бейнисович Б. С. Антифильтрационное влияние гуматов натрия в лессовых грунтах, В сб. «Гуминовые и полимерные препараты в сельском хозяйстве», Ташкент, АН УзССР, 1961, стр. 166.
13. Ускова Е. Т. «Коллоидный журнал», т. 20, вып. 1, 1958.
14. Цзян Лун. Физико-химическое исследование структурообразования в водных дисперсиях гуматов и бентонитовых глин при их взаимодействии, Автореферат канд. дисс., М., 1960.



## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Л. Н. Дубинин. Технология изготовления деталей сборных типов гидросооружений на стендах-бассейнах                                          | 5   |
| А. Абдужабаров. К вопросу о технологии изготовления армоцементных труб способом торкретирования вращающихся сердечников                    | 15  |
| В. Я. Липский. Технологическая схема полигона для изготовления армоцементных лотков                                                        | 26  |
| В. Н. Рыбаков. Испытания опытного струйного аппарата для торкретирования                                                                   | 36  |
| Е. И. Коган. Гидроизоляционные прокладки для гибких швов сборных облицовок/каналов                                                         | 42  |
| М. М. Селимов. Монтаж сборной облицовки с обжатыми швами на оросительном канале в Голодной степи                                           | 48  |
| Б. А. Лешенко. Опыт внедрения сборных бетонных облицовок треугольного профиля на каналах внутрихозяйственной сети                          | 56  |
| А. Ф. Чичаев, Л. Я. Бондарь. Некоторые факторы, влияющие на выбор конструктивных размеров бетонных и железобетонных облицовок каналов      | 65  |
| Б. И. Минкевич, М. Н. Савченко, И. Усманов. О новых материалах для труб закрытого дренажа                                                  | 78  |
| Х. А. Аскаров, Р. К. Кенджаев. Просадочность грунтов основания плотины Джизакского водохранилища                                           | 82  |
| Х. А. Аскаров, Х. Н. Хамидов. Просадочные свойства грунтов основания плотины Чимкурганского водохранилища                                  | 91  |
| И. М. Шейхет. Некоторые вопросы ударного уплотнения грунтов в каналах в целях создания противофильтрационного экрана                       | 96  |
| Л. Б. Смолина, О. Ф. Кутумова, Б. С. Бейнисович. Антифильтрационные экраны из бентонитовых глин, лессовых грунтов и углещелочного реагента | 104 |