

Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР  
Всесоюзный научно-исследовательский  
институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова

## **НОВОЕ В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИВА**

Выпуск II

Сборник научных трудов

Всесоюзного научно-исследовательского института  
механизации и техники полива

Москва 1978



Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР  
Всесоюзный научно-исследовательский институт  
гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова

НОВОЕ В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИВА

Выпуск II

Сборник научных трудов



## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Балаев Л.Г. (председатель)

Божко И.А., Дзюбенко Б.В., Дмитриев В.С. (зам.председателя), Емельянов В.А. (зам.председателя), Зюликов Г.М., Казаков В.С. (зам.председателя), Кац Д.М., Кременецкий Н.Н. (зам.председателя), Куисин И.Е., Луцкий В.Г., Лысов Ю.Н., Новиков В.М., Панов Е.П., Рагимов М.К., Родин Я.С. (секретарь), Степанов А.Н., Харин А.И.

## Редакционная коллегия сборника

Угрюмов А.В. (ответственный редактор)

Носенко В.Ф. (зам.ответственного редактора), Луцкий В.Г. (зам.ответственного редактора), Рычков Н.И., Москвичев Ю.А., Данильченко Н.В., Пензин М.П., Ильин С.П., Фомин Г.Е., Винникова Н.В., Давшан А.П., Богатова Л.Г. (секретарь)

Материалы сборника подготовлены Всесоюзным научно-исследовательским институтом механизации и техники полива Минводхоза СССР

© Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации (ВНИИГМ), 1978 г.



ВОЗМОЖНОСТИ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ  
ПОВЕРХНОСТНОГО ПОЛИВА

Издревле известный способ поверхностного полива по бороздам и в настоящее время наиболее распространен во многих странах мира, в том числе в СССР и США, что свидетельствует о его достоинствах и потенциальных возможностях как в увеличении производительности труда, так и в улучшении качества полива.

В последнее десятилетие сложились условия, когда техника и технология полностью механизированного и частично автоматизированного способа полива дождеванием непрерывно совершенствовались, в то время как технология поверхностного полива в условиях производства не претерпела существенных изменений.

Первой причиной замедленного прогресса в технике и технологии поверхностного полива явилась, как это не странно, возможность осуществления водораспределения без средств механизации и затрат энергии на водоподъем.

Другой, не менее важной причиной, сдерживающей развитие техники поверхностного полива, является необходимость капитальной планировки площадей, в первую очередь, на массивах существующего орошения.

Немаловажным обстоятельством, сдерживающим совершенствование техники поверхностного полива, является сложность качественного механизированного распределения воды по всей поверхности орошаемого поля и перевода ее из состояния поверхностного тока в почвенную влажность. Эта сложность предопределяет необходимость базирования научно-технических разработок по совершенствованию технологии полива на четких представлениях о механизме поверхностного увлажнения почвы. Выявление взаимосвязей элементов техники поверхностного полива и показателей, характеризующих условия его проведения и качество, является первоочередной задачей и необходимым этапом, предусматривающим совершенствование технологии механизированного и автоматизированного полива поверхностным способом.

В настоящее время можно считать, что в первом приближении этот этап наукой завершен. Теория расчета элементов техники по-



верхностного полива, включающая все основные случаи распределения воды на поле и увлажнения почвы, разработана А.Н. Костяковым и впоследствии дополнена и усовершенствована его последователями и учениками. Основой теории поверхностного полива остается уравнение водного баланса в поливном элементе с учетом динамичности скорости впитывания воды в почву. Возможности расчета элементов техники полива неизмеримо возросли с использованием ЭВМ. Созданы алгоритмы и программы решений задач по подбору элементов техники поверхностного полива.

Существующие технические средства поверхностного полива в большинстве основаны на сосредоточении крупного поливного тока и распределении его на узком фронте полива, что и предопределяет повышенные требования к большерасходности и мобильности водораспределяющих устройств.

Технология полива сосредоточенными расходами и соответствующая ей поливная техника (сифоны, передвижные жесткие и гибкие трубопроводы, закрытые перфорированные трубопроводы, поливные лотки и др.), как и всякая другая, не может быть рекомендована для повсеместного применения и оказывается малоприспособленной для орошаемых массивов, характеризующихся повышенными и большими уклонами, изрезанностью рельефа, недостаточной выровненностью поверхности поля, повышенной водопроницаемостью почв, малой глубиной их плодородного слоя и т.д.

Технический прогресс непрерывно открывает новые возможности дальнейшего совершенствования поливной техники. Использование дешевых и легких полимерных труб и шлангов дает возможность создать поливную технику, основанную на рассредоточении поливного тока.

Средства автоматического контроля и управления позволяют перейти к новым прогрессивным технологиям поверхностного полива (непрерывно изменяющейся поливной струей, циклическими нормами добега и др.). Низкий уровень механизации основного в стране способа полива — поверхностного — диктует необходимость широкого поиска новых технических решений и создания разнообразных видов поливной техники для повсеместной его механизации и автоматизации.

Потребность в многообразии поливной техники и технологии поверхностного полива, отражая общий прогресс развития техники, обуславливается разнообразием природных условий орошаемых массивов аридных и субаридных зон и необходимостью, в связи с этим, дифференцированного выбора величин элементов техники поверхностного по-



лива. Можно считать установленным факт эффективного применения каждого вида поливной техники только при определенной длине поливных элементов.

Механизм увлажнения почвы током воды по гребневанной поверхности предопределяет несколько принципиально отличных друг от друга технологий водораспределения. Эти относительные особенности обуславливаются местом и динамикой подачи воды в борозды на протяжении полива. Некоторое представление о возможных технологиях водораспределения по бороздам может дать предлагаемая классификационная схема циклограмм разновидностей технологий полива с характерными для них основными взаимосвязями между элементами техники полива и показателями качества выполнения технологического процесса (рис. I).

Необходимыми и достаточными характеристиками разновидностей технологий полива по бороздам является динамика и место водоподачи, продолжительность добега струи до разноудаленных створов и продолжительность их увлажнения, распределение поливных норм по длине борозды и величина сброса воды.

По длине борозды, в связи с впитыванием воды в почву, изменяется величина поливных струй и других гидравлических параметров малого потока (рис. 2, 3). Для каждого створа борозды, за исключением головного, характерно изменение величины струи от 0, в момент добега, до конечной величины, установившейся проточности или сброса. По длине борозды замедляется скорость продвижения лба струи (рис. 4), обуславливая продолжительность добега до разноудаленных створов и продолжительность их увлажнения (рис. 5), а следовательно, и распределение поливных норм по длине.

Представленные циклограммы являются обобщенными характеристиками подобных экспериментальных зависимостей для основных разновидностей технологий водораспределения по бороздам.

Возможны несколько основных случаев подачи воды в поливные борозды.

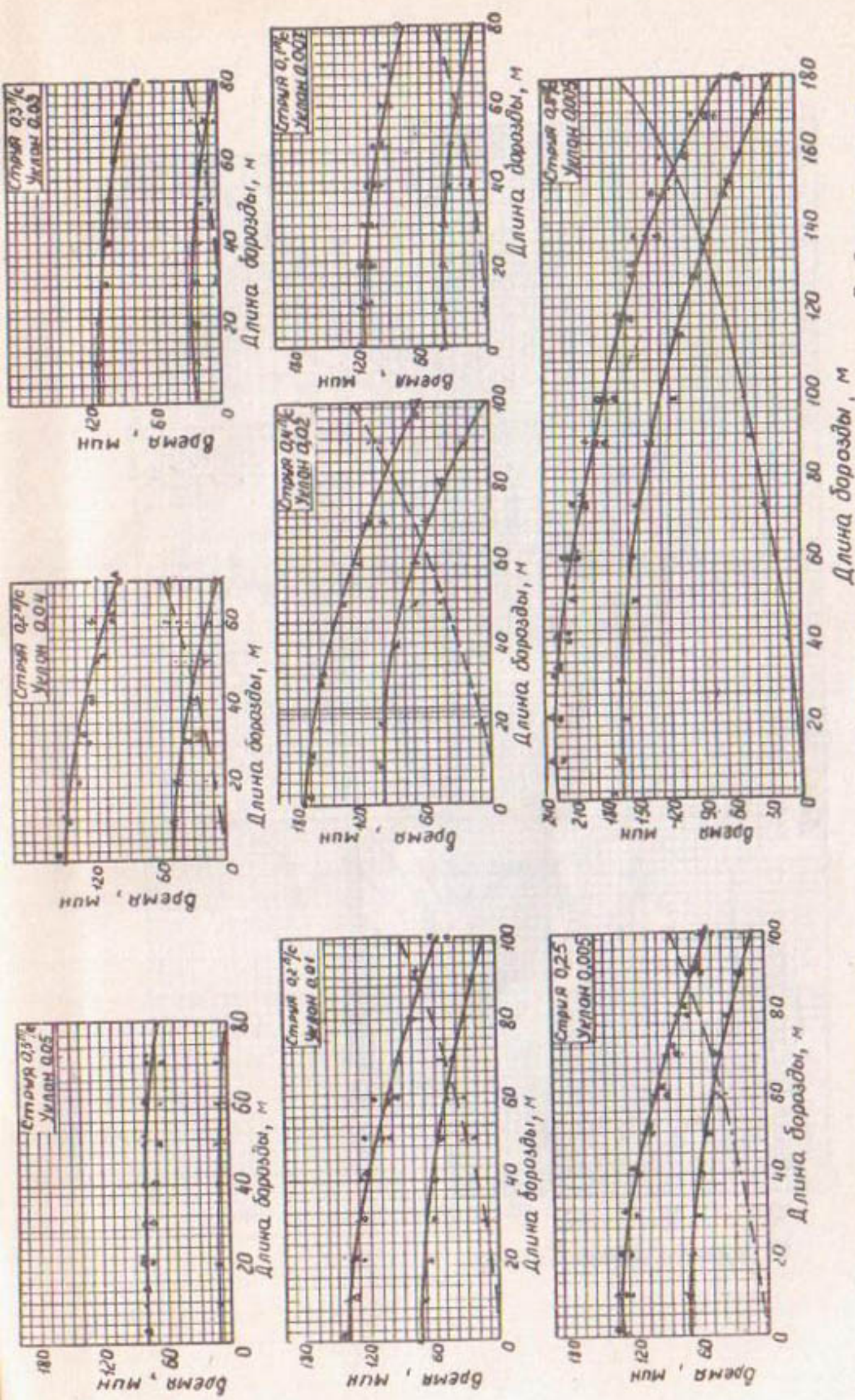
Выпуск воды осуществляется в головном створе борозд (1-6 циклограммы классификационной схемы) из стационарно (позиционно) размещенного здесь или перемещаемого в створе поливного устройства; в головном и дополнительном створах борозд (7 и 8 циклограммы) из стационарно (позиционно) размещенных или перемещаемых в этих створах поливных устройств; по всей длине поливных борозд (9 и 10 циклограммы) при однократном или многократном проходах





Рис. I. Циклограммы разновидностей технологии водораспределения (по тупым и проточным бороздам):  $T$  - продолжительность;  $L$  - длина борозды;  $q$  - поливная струя;  $m$  - поливная норма; — время увлажнения; - - - время добегаания





Продолжительность стояния  
при полове нормы добогания

Длина борозды, м

Продолжительность  
добогания

Рис. 2. Продолжительность добогания и стояния воды в борозде с междурядьем 0,7 м на сероземах среднесуглинистых



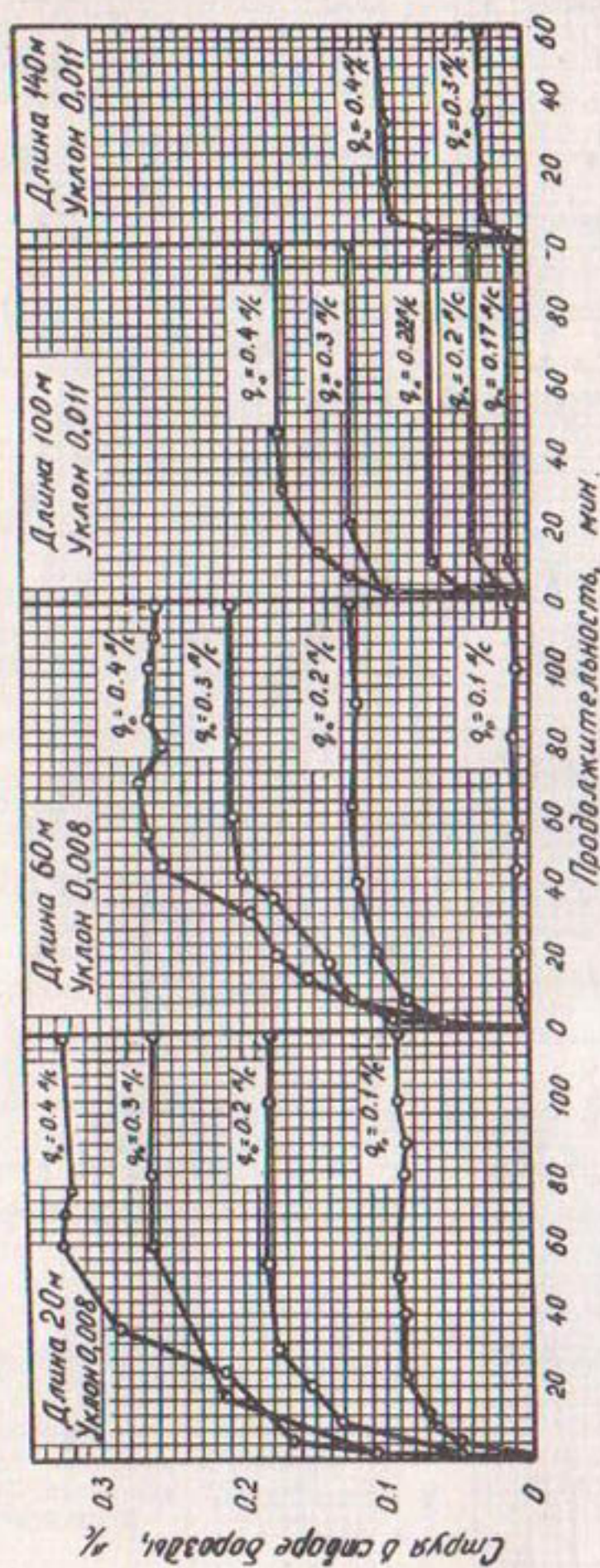


Рис. 3. Изменение расхода воды по створам борозд на каштановых почвах средней водопроницаемости



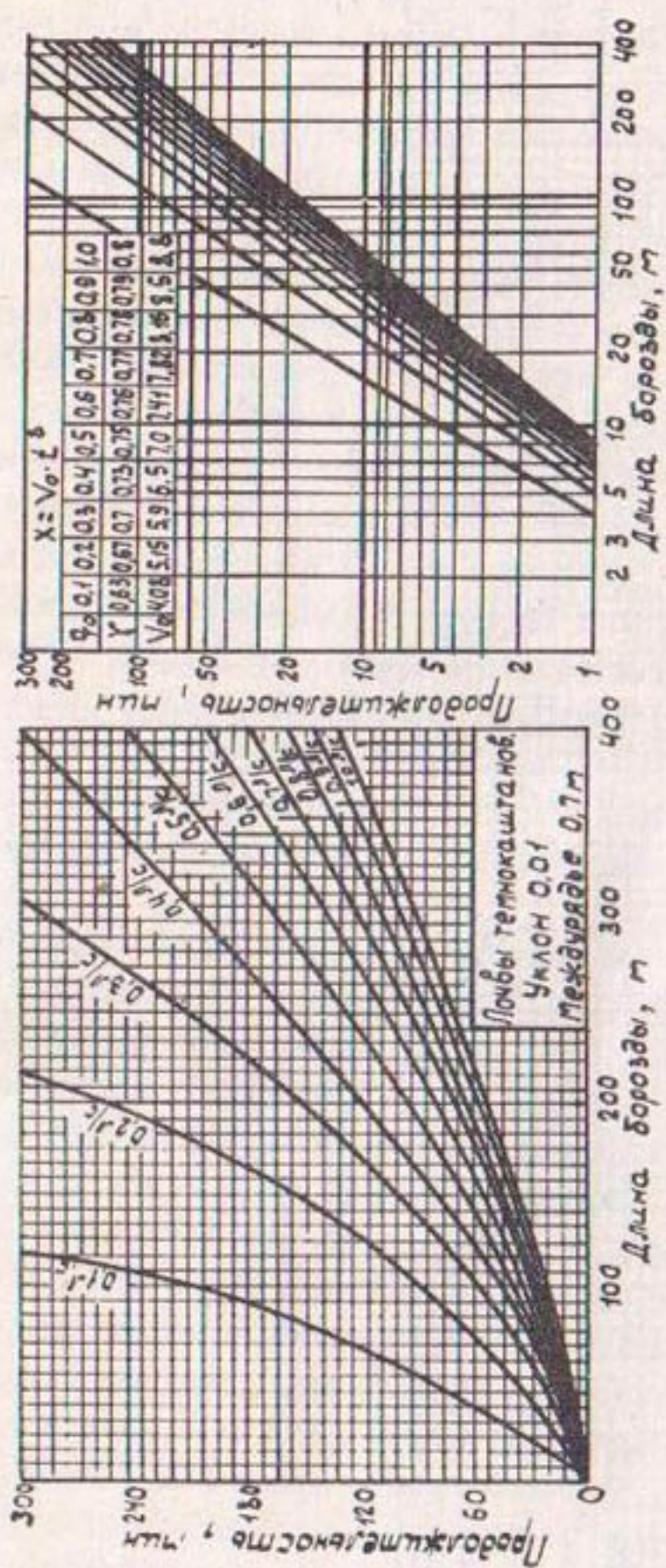


Рис. 4. Продолжительность добега поливных струй на различную длину борозд



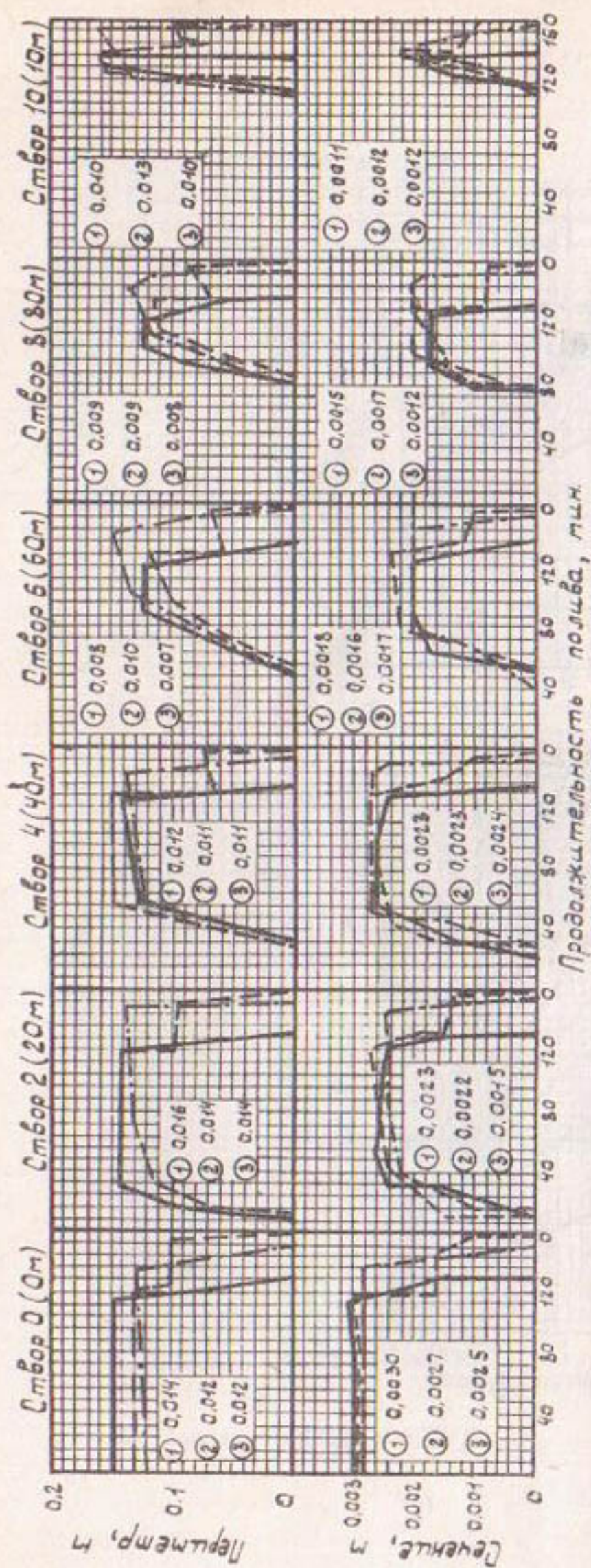


Рис. 5. Сочетанный периметр и живое сечение борозд по створам: ① — полив нормой добегания; ② — полив со сбросом струей 0,3 л/с; ③ — полив переменной струей 0,2-0,3 л/с



вдоль них поливных устройств.

При этом водоподача в борозды может быть с постоянным расходом на протяжении периода заполнения емкости борозд без проточности (сброса) в концевом створе; с постоянным расходом на протяжении периода добегания воды до конца борозды, практически без проточности; с постоянным расходом на протяжении всего полива, включая период доувлажнения, со значительной проточностью в концевом створе борозд; переменной, с дискретно уменьшенным расходом в период доувлажнения, при сравнительно небольшой проточности; переменной, с плавно изменяющимся расходом в период доувлажнения, без проточности; прерывистой, с постоянным или дискретно уменьшающимся расходом на протяжении нескольких циклических периодов добегания, практически без проточности в концевом створе борозд; с постоянным расходом и перемещаемым вдоль борозды очагом увлажнения.

Степень изученности и применимости, а следовательно, и возможности совершенствования каждой из технологий полива по бороздам различны. Рассмотрим эти возможности.

Полив по тупым затопляемым бороздам (циклограмма I) заключается в наполнении глубоких тупиковых борозд объемом воды, эквивалентным заданной поливной норме, продолжительность впитывания которого значительно превышает продолжительность подачи воды в борозду.

Технология полива нормой заполнения по тупым бороздам известна давно и достаточно подробно описана в литературе. Необходимо отметить, что до последнего времени такая технология полива не совершенствовалась. Объясняется это прежде всего ограниченностью ее применения (только на участках с малыми до 0,002 уклонами, т.к. геодезический перепад не должен превышать 25% от глубины борозд из условия равномерности увлажнения), а также сложностью механизации процесса водораспределения при сравнительно малой длине борозд. В то же время имеются возможности для механизации полива по тупым затопляемым бороздам. Одна из которых заключается в нарезке борозд-ячеек длиной 10-30 м с перемычками из ненарушенного почво-грунта и заполнении их эквивалентным поливной норме объемом воды из водовыпусков позиционно работающего поливного устройства. Достоинствами такой технологии является прежде всего высокие качественные показатели технологического процесса: равномерное распределение по площади поливного участка заданной поливной нормы и исключение сброса воды. Одновременно при этом упрощается подбор элемен-



тов техники полива, снижаются требования к планировке поверхности орошаемого участка.

К сожалению, технология и средства механизации полива по ячеистым бороздам еще не вышли из стадии опытной проверки. В качестве поливного устройства, распределяющего воду в борозды-ячейки, могут использоваться лишь экспериментальные образцы двухконсольных поливных машин, разработанные в разные годы во ВНИИГиМе, КазНИИВХе, ВолжНИИГиМе и ВНИИМитП.

Автоматизация водораспределения по тупым затопляемым бороздам становится возможной и экономически целесообразной при использовании новых технических решений, основанных на рассредоточении водного тока и распределении его в борозды из самоходных малорасходных устройств, передвигающихся поперек направления полива.

Разработанное во ВНИИМитП самоходное шланговое устройство (рис.6) состоит из полиэтиленового шланга диаметром 20-40 мм длиной 200-250 м. Начальный участок шланга соединен с гидрантом закрытой сети и закреплен на барабане с двигателем, передвигающим шланг дискретно по заданной программе на величину, равную междурядью, а концевой участок шланга выполнен с одним-двумя водовыпусками.

Пропускная способность шлангового устройства при высокой степени рассредоточения водного тока не превышает 1,0-3,0 л/с и может быть установлена из расчета внесения требуемой поливной нормы на всей подкомандной площади в агротехнически допустимые сроки.

Режим работы самоходного шлангового устройства определяется необходимой длительностью заполнения поливной борозды. Для приведенных выше исходных данных продолжительность заполнения борозд с междурядьем 0,7 м не должна превышать 25 и 38 мин, что соответствует длительности межполивных периодов в 10 и 15 суток.

Простота конструкции самоходного шлангового устройства и низкая стоимость полиэтиленовых трубопроводов малого диаметра позволяют решить вопрос автоматизации водораспределения в тупые затопляемые борозды при сравнительно низких капитальных затратах.

Полив по проточным бороздам постоянной струей (циклограммы 2, 3) заключается в увлажнении почвы заданной поливной нормой в процессе замедленного продвижения воды по сухой борозде и дополнительной ее проточности.

Полив по проточным бороздам постоянной струей с дополнительным доувлажнением широко распространен и хорошо изучен. Совершен-



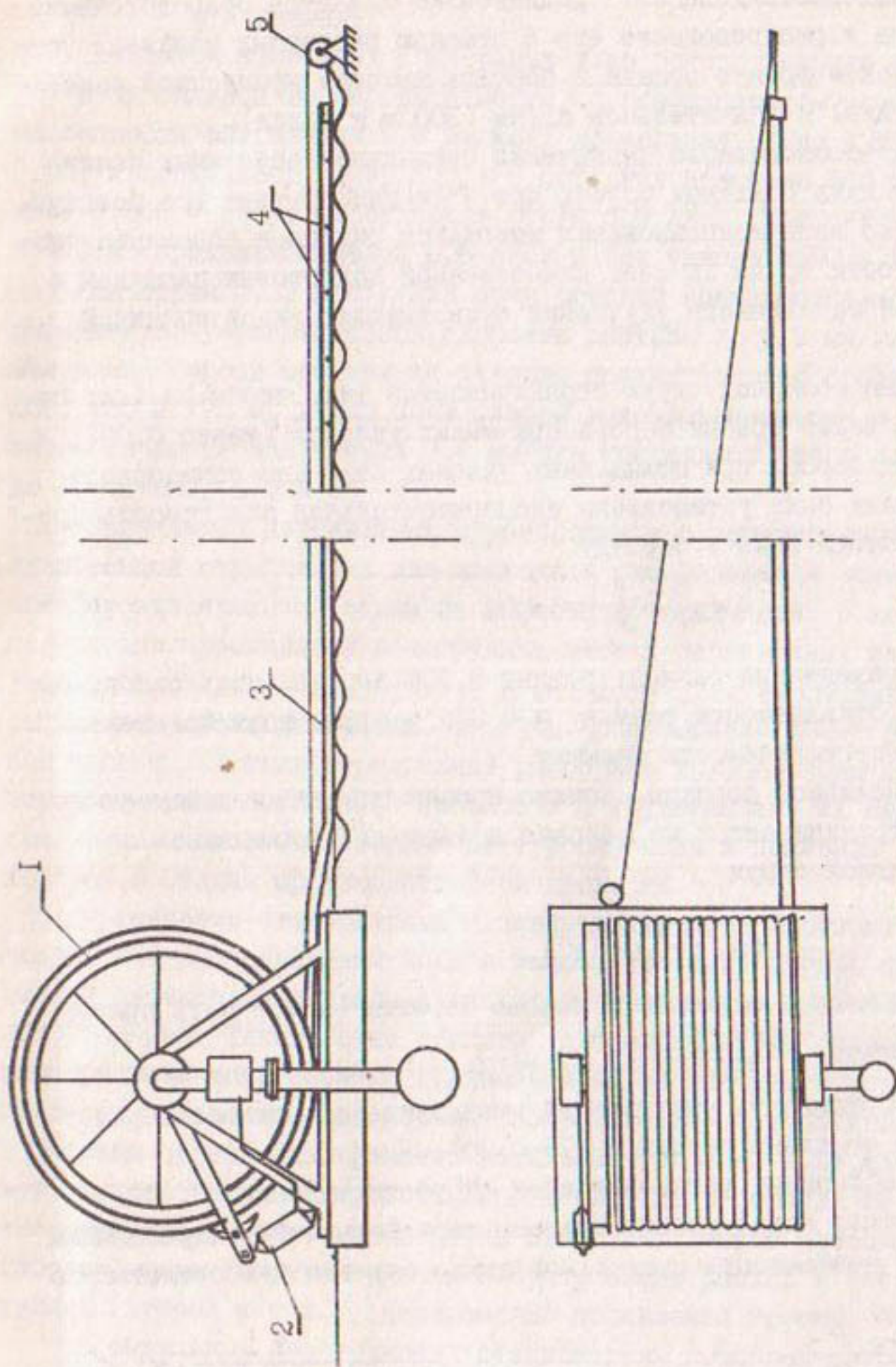


Рис. 6. Принципиальная схема самоходного канатного устройства:  
1 - барабан; 2 - шаговый гидродвигатель; 3 - полиэтиленовый шланг; 4 - регулирующее водовыпуск; 5 - разматывающее устройство



ствование его идет в направлении подбора рациональных сочетаний элементов техники полива, а также механизированного и автоматизированного водораспределения. Традиционным является сосредоточение водного тока и распределение его с помощью различных поливных устройств на узком фронте полива в борозды высокой пропускной способности (1-2 л/с) и значительной длины (300 м и более).

Задача обоснованного назначения предельно допустимых поливных струй и длин поливных борозд при этом приобретает все большую значимость по мере использования имеющихся резервов повышения производительности труда за счет качественной подготовки площадей к поливу и конструктивного улучшения существующих видов поливной техники.

Величина поливной струи ограничивается так, чтобы не было перелива воды через гребни борозд при малых уклонах (менее 0,002) и размыва ложа борозд при повышенных уклонах дна. Для почв предгорий Казахстана была установлена экспериментальная зависимость предельного расхода воды в борозду

$$q_{пр} = \frac{\bar{q}}{J}, \text{ л/с}, \quad (1)$$

где  $\bar{q}$  - приведенный расход, равный 0,004 л/с для почв слабой сопротивляемости размыву и 0,005 л/с для почв повышенной сопротивляемости размыву.

Длина поливной борозды, помимо организационно-хозяйственных факторов, ограничивается из условия добегания и впитывания предельной поливной струи

$$L_{пр} = \frac{q_{пр}}{\chi_0 \mu \cdot K_{уст}}, \quad (2)$$

где  $\chi_0$  - смоченный периметр в голове борозды (может быть принят равным  $\frac{0,1 q_{пр}^{1/3}}{J^{1/6}}$ ), м;

$\mu$  - коэффициент, учитывающий уменьшение смоченного периметра по длине борозд (0,75-0,90);

$K_{уст}$  - коэффициент установившейся скорости впитывания, мм/с.

На практике более удобно пользоваться формулами, выражающими эмпирическую зависимость предельной длины борозды непосредственно от уклона

$$L_{пр} = \frac{q_{пр}^{2/3} J^{1/6}}{0,1 \mu K_{уст}}, \text{ м} \quad (3) \quad \text{или} \quad L_{пр} = \frac{A}{0,1 \mu K_{уст} \sqrt{J}}, \text{ м} \quad (4)$$



где  $A$  – коэффициент, равный 0,029 для почв повышенной сопротивляемости размыву и 0,025 для почв слабой сопротивляемости размыву.

Диапазон изменения предельных длин борозд значителен. Так, для почв сильной водопроницаемости (с коэффициентом установившейся скорости впитывания 1,4 мм/мин) предельная длина при уклоне 0,003 и предельной струе 2,0 л/с составит примерно 380 м, при уклоне 0,005 – 190 м (предельная струя 0,9 л/с), при уклоне 0,01 – 140 м (предельная струя 0,5 л/с) и при уклоне 0,02 – 100 м (предельная струя 0,25 л/с). Для почв средней водопроницаемости с коэффициентом установившейся скорости впитывания 0,9 мм/мин предельная длина борозд при тех же уклонах соответственно составит 470, 300, 230 и 170 м, а для почв слабой водопроницаемости с коэффициентом скорости впитывания 0,4 мм/мин предельная длина возрастет до 1000, 680, 510 и 380 м.

Применение передвижных трубопроводов с регулируемыми и нерегулируемыми отверстиями для подвода и распределения воды в поливные борозды является одним из известных технических решений. В нашей стране применяются конструкции гибких передвижных шлангов из стабилизированного полиэтилена и мелиоративной ткани, выпуск которых освоен промышленностью. Серийно производятся шланговые поливные машины. Жесткие передвижные разборные трубопроводы не нашли широкого применения из-за сложности и трудоемкости их монтажа и демонтажа. Колесные передвижные трубопроводы и поливные шлейфы находятся в стадии производственной проверки.

Применение стационарных поливных устройств (лотков, трубопроводов) для распределения воды в голове поливных борозд при условии их значительной длины становится оправданным и экономически обоснованным. Технические средства автоматического водораспределения при всем многообразии предназначены обеспечить в определенной последовательности равномерное распределение поступающего расхода в борозды первой одновременно поливаемой группы, выдержать требуемую длительность подачи постоянного расхода в борозды из расчета внесения заданной поливной нормы при определенной проточности (сбросе) воды; перераспределить поступающий расход в борозды следующей (второй и т.д.) одновременно поливаемой группы.

В отдельных конструкциях стационарных поливных устройств поступающий расход распределяется между подвешенными к ним поливными бороздами. При этом технические средства автоматического водо-



распределения значительно упрощаются. На стационарных системах поверхностного полива с подземными перфорированными поливными трубопроводами режим работы задвижки (клапана), размещенной в их голове, (практически одного объекта автоматического управления) обеспечивает технологический процесс водораспределения и полива. При этом возрастает стоимость водоводов из-за необходимости увеличения их пропускной способности.

В конструкциях поливных устройств, обеспечивающих многотактную работу с поочередной подачей воды к одновременно поливаемой группе борозд, пропускная способность водоводов может быть значительно снижена. За счет этого улучшается организация территории орошаемого поля, т.к. появляется возможность располагать участки одновременного полива (обработки) по всей длине гона.

Характерным недостатком всех технологий полива постоянной струей является неизбежность значительного сброса воды, вызываемого стремлением обеспечить требуемую равномерность увлажнения почвы. Положение усугубляется еще и тем, что пониженная водопроницаемость ложа части борозд, уплотненных колесами тракторных агрегатов, приводит к неодновременности добегаания струй до конца борозд и, как следствие этого, к излишнему сбросу воды.

Полив по проточным бороздам переменной поливной струей (циклограммы 4, 5) заключается в увлажнении почвы заданной нормой в процессе добегаания первоначальной струи и доувлажнения измененной (уменьшенной) струей. Величина измененной струи и продолжительность ее подачи определяют качественные показатели полива. Переменная интенсивность водоподачи согласуется с переменной интенсивностью впитывания воды в почву, что позволяет добиться равномерного увлажнения почвы по длине борозды при минимальном сбросе воды.

Подвижная мобильная техника полива, основанная на изменении величины поливной струи в процессе полива, как свидетельствуют данные научных исследований и передового опыта, имеет значительные преимущества перед другими разновидностями бороздкового полива.

Полив по проточным бороздам переменной струей, несмотря на его очевидные достоинства, нашел ограниченное применение из-за сложности дополнительной регулировки струй и использования освободившегося, в результате уменьшения струй, поливного тока. Совершенствование его идет в направлении установления рациональной величины измененной струи и разработки средств автоматического регу-



лирования интенсивности водоподачи в процессе полива.

Таблица I

Показатели качества технологического процесса полива  
(опытные данные)

| Разновидности бороздкового полива  | Коэффициент неравномерности увлажнения | Величина сброса, % от водоподачи |
|------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
| Полив нормой добегания             | 0,1-0,5                                | 0                                |
| Полив постоянной струей со сбросом | 0,6-0,8                                | 20-70                            |
| Полив переменной поливной струей   | 0,7-0,9                                | 0-10                             |

При наличии средств автоматического водораспределения величину измененной струи назначать из условия возможно полного исключения сброса воды в конце поливной борозды, например из соотношения (2).

Величина измененной струи может быть установлена пробным поливом, как разница между первоначальной струей и расходом установившегося сброса в конце борозды через один час после его начала.

При многократном дискретном или плавном изменении величины поливной струи после ее добегания до конца борозды можно добиться полного соответствия водоподачи и впитывающей способности борозды. Доувлажнение переменной струей в соответствии с впитывающей способностью ложа борозды возможно при наличии непрерывно поступающей информации об изменении впитывающей способности или о формировании проточности на концевом створе борозды.

Технические средства водораспределения при поливе переменной струей должны обеспечивать возможность регулирования величины поливной струи в каждую борозду на протяжении всего периода доувлажнения.

Наиболее сложной и трудноосуществимой при этом является технологическая операция регулирования расхода воды в борозды в соответствии с их впитывающей способностью. Известны устройства автоматического управления поливом, которые автоматически регулируют величину поливной струи по заранее рассчитанной программе. Недостатком способа программного регулирования расхода в борозды является сложность учета всех факторов, влияющих на впитывающую спо-



способность борозд в данных конкретных условиях, включая исходную влажность почв.

Предпочтение, по нашему мнению, следует отдать системе регулирования, разрабатываемой нашим институтом, основанной на непосредственном измерении проточности в контрольном створе контрольной борозды первой или каждой одновременно поливаемой группы. Автоматическая система такого типа (один из возможных вариантов) включает в себя водоподводящий и поливной трубопроводы, командный пункт управления основной и сбросной задвижками, формирующими сигналы пониженного давления, по которым гидропневмоаккумуляторные водовыпуски осуществляют импульсную подачу воды в поливные борозды, и датчик проточности, размещенный в концевой части контрольной борозды, объединенный каналом обратной связи с блоком управления.

Особый интерес, по нашему мнению, представляет использование для автоматизации полива переменной струей самоходных шланговых устройств. Головной участок шланга диаметром 30-60 мм (общая его длина 200-250 м) соединен с гидрантом закрытой сети и закреплен на барабане с шаговым двигателем, дискретно перемещающим шланг при вращении барабана по заданной программе с линейным шагом, равным междурядью, а концевой участок шланга выполнен с группой регулируемых водовыпусков, настраиваемых по определенной программе.

Самоходные шланговые устройства орошаемого поля работают одновременно в одном режиме с поочередным водораспределением в группе одновременно поливаемых борозд по всей их длине.

Технология автоматизированного водораспределения из самоходных шланговых устройств в проточные борозды имеет ряд очевидных достоинств. В первую очередь - открывшаяся возможность автоматизировать процесс полива не только по длинным, но и коротким бороздам, не создавая при этом препятствий для послеполивных механизированных обработок по длине всего гона.

Другим достоинством технологии и характерной ее особенностью является возможность регулирования расходов воды в борозду в широких пределах при постоянстве расходов, забираемых шланговым устройством из сети и распределяемых каждым его водовыпуском на протяжении полива отдельных поливных борозд и всего орошаемого участка.

Последнее обстоятельство особенно важно при поливе переменной



поливной струей. Требуемое изменение во времени (уменьшение) головного расхода в борозду по любой заданной программе достигается предварительной регулировкой пропускной способности каждого водовыпуска и принятым режимом перемещения шланга. Отрегулированные в соответствии с программой на заданный расход водовыпуски один за другим по мере намотки шланга проходят через каждую борозду с принятым интервалом выдержки, формируя в ней уменьшающийся во времени расход.

Технические средства автоматизированного водораспределения и регулирования при поливе переменной струей по рассматриваемой технологии предназначены для выполнения одной технологической операции – перемещения в головном створе поливных борозд с принятым интервалом выдержки шланга с водовыпусками, отрегулированными для пропуска определенного расхода воды.

Пропускная способность шлангового устройства диаметром 40–63 мм при потребном напоре 0,20–0,35 МПа, достигаемая высокой степенью рассредоточения водного тока, сравнительно невелика (2–8 л/с) и может быть установлена из расчета внесения требуемой поливной нормы на всей подкомандной площади в агротехнически допустимые сроки

$$Q = \frac{2 L t m}{T \cdot K_c \cdot K_6}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (5)$$

где  $2 L t$  – подкомандная площадь, определяемая длиной шланга ( $L = 200\text{--}250$  м) и поливной проточной борозды,  $\text{м}^2$ ;

$m$  – заданная поливная норма, м;

$T$  – межполивной период, 10–15 сут ;

$K_c$  – коэффициент использования рабочего времени смены (0,95);

$K_6$  – коэффициент, учитывающий сброс воды (0,9–0,95).

Режим работы самоходного (рис.7) шлангового устройства (длительность интервала между его перемещениями) устанавливается в зависимости от рекомендованного режима водоподачи. При этом длительность одного такта водоподачи в борозду должна соответствовать продолжительности поливного периода всей подкомандной площади. Водоподача в каждую борозду в периоды добегаания и дополнительного доувлажнения должна быть эквивалентной заданной поливной норме.

Простота конструкции самоходного шлангового устройства и низкая стоимость полиэтиленовых трубопроводов малого диаметра позволяют решить вопрос автоматизации полива переменной струей по про-



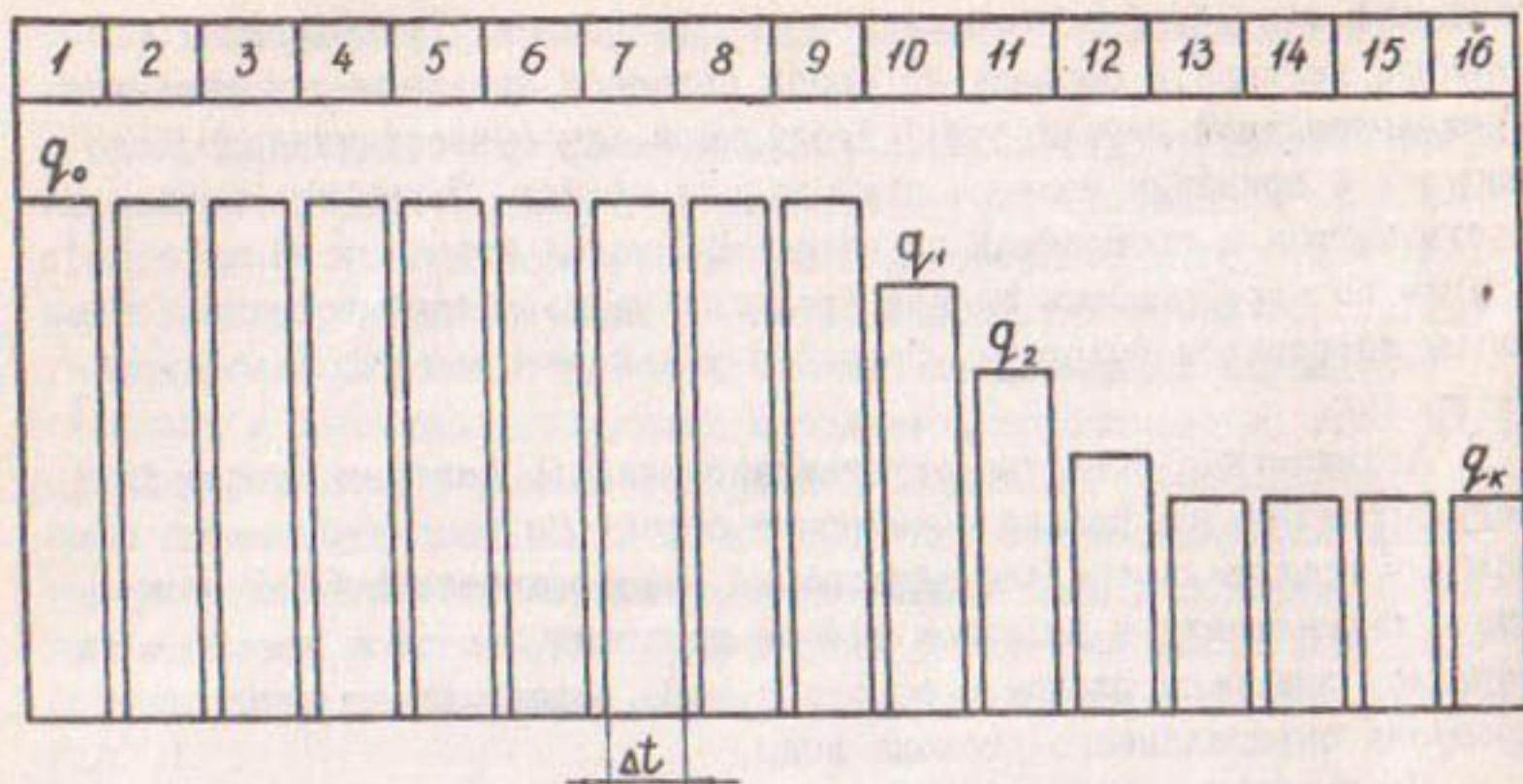


Рис. 7. Схема формирования водоподачи в борозду из водовыпусков самоходного шлангового устройства при поливе переменной струей

точным бороздам при сравнительно низких капитальных затратах.

Полив по проточным бороздам прерывистой поливной струей (циклограммы 6, 8) заключается в увлажнении почвы заданной нормой в несколько циклов добегания струи до конца борозд. Продолжительность полива равна продолжительности нескольких циклов водоподачи в борозду и пауз между ними. Сброса воды в конце борозд, как и в рассмотренном ранее случае полива нормой добегания, практически нет.

Качественная равномерность увлажнения почвы по длине борозд достигается за счет доувлажнения концевых участков при повторных циклах водоподачи.

Полив прерывистой поливной струей начал изучаться сравнительно недавно. Из специальных работ в этом направлении следует отметить исследования И. Вырлева по добеганию и увлажнению почвы при последовательных пусках постоянных поливных струй. Поливы прерывистой поливной струей возможны только при использовании совершенных технологических средств автоматического водораспределения. Создание таких средств и совершенствование приемов подбора рациональных величин элементов техники полива прерывистой струей являются назревшей задачей.



Узловым вопросом подбора рациональных величин элементов техники полива прерывистой струей является установление зависимостей добегаания первоначальной и последующих струй до конца поливных борозд. Менее всего изучен вопрос добегаания струи по увлажненной поверхности. Имеющиеся данные свидетельствуют, что при повторных пусках воды продолжительность, а следовательно, и нормы добегаания существенно уменьшаются.

Длительность пауз между циклами водоподач, исходя из технологических соображений, должна приниматься равной длительности водоподачи. В этом случае представляется возможным осуществить поочередное распределение воды между группами одновременно поливаемых борозд.

Практически все известные технические средства автоматизированного и даже механизированного водораспределения могут использоваться для многотактного поочередного увлажнения группы поливных борозд. Простота технологического процесса, основные операции которого сводятся к циклам подачи воды в поливаемые борозды, дает возможность применять простые технические средства водораспределения.

Прерывистая водоподача в поливные борозды открывает новые возможности улучшения качества технологического процесса. Поочередно распределяя воду в поливные борозды, уплотненные и не уплотненные колесами тракторных агрегатов, представляется возможным дифференцировать их увлажнение и подойти к решению одной из сложных и противоречивых задач техники полива по бороздам с неоднородной впитывающей способностью.

При этом, к техническим средствам водораспределения должны предъявляться повышенные требования, т.к. они предназначены для обеспечения цикличной подачи воды не в группу рядом расположенных борозд, а в чередующиеся друг с другом уплотненные и неуплотненные поливные борозды. Объектом управления в этом случае становится водовыпуск в поливную борозду.

В качестве одного из возможных технических решений предлагается разрабатываемое во ВНИИМиТП стационарное поливное устройство с двумя группами водовыпусков в уплотненные (например, четные) и неуплотненные (нечетные) борозды, соединенных клапанами связи с управляющим командным устройством, работающим по программе или по сигналам датчиков добегаания струи до конца двух контрольных борозд.



Отличительные особенности системы такого типа от системы водораспределения между двумя группами одновременно поливаемых борозд на соседних участках существенны и позволяют значительно улучшить показатели качества технологического процесса.

Самоходные шланговые устройства, перемещающиеся при поливе поперек направления поливных борозд, как и в ранее рассмотренных случаях, могут оказаться весьма эффективными и при поливе прерывистой поливной струей. Конструкция самоходного поливного шланга для формирования прерывистой струи проста по устройству. В концевой части водовыпуски выполнены через междурядья. Эта особенность позволяет при перемещении шланга в головном створе осуществлять цикличную водоподачу в борозду, требуемой длительности, обеспечивая тем самым выполнение основной технологической операции процесса.

Параметры самоходного поливного шланга и устройство остальных его узлов (транспортирующая часть шланга, барабан, шаговый двигатель) остаются без изменения, что и в аналогичной конструкции для полива переменной поливной струей.

Режим работы самоходного шлангового устройства (рис. 8) при поливе прерывистой струей устанавливается в зависимости от рекомендованной водоподачи и длительности добега струй по сухому и увлажненному ложу борозд.

Возможны несколько вариантов формирования цикличной водоподачи.

В первом наиболее простом случае расход шлангового устройства равномерно распределяется между работающими водовыпусками, количество которых устанавливается из условия

$$n = \frac{Q}{q}, \quad (6)$$

где  $q$  — рекомендованная величина поливной струи.

Общее количество водовыпусков шланга должно приниматься из расчета незадействования части из них для формирования пауз между циклами добега (рис. 8 а). Продолжительность добега струй при первом и последующих пусках воды рекомендуется устанавливать пробным поливом по неуплотненным бороздам. Длительность цикла между перемещениями должна быть кратной продолжительности добега по увлажняемой борозде (при шаге, равном междурядью) и



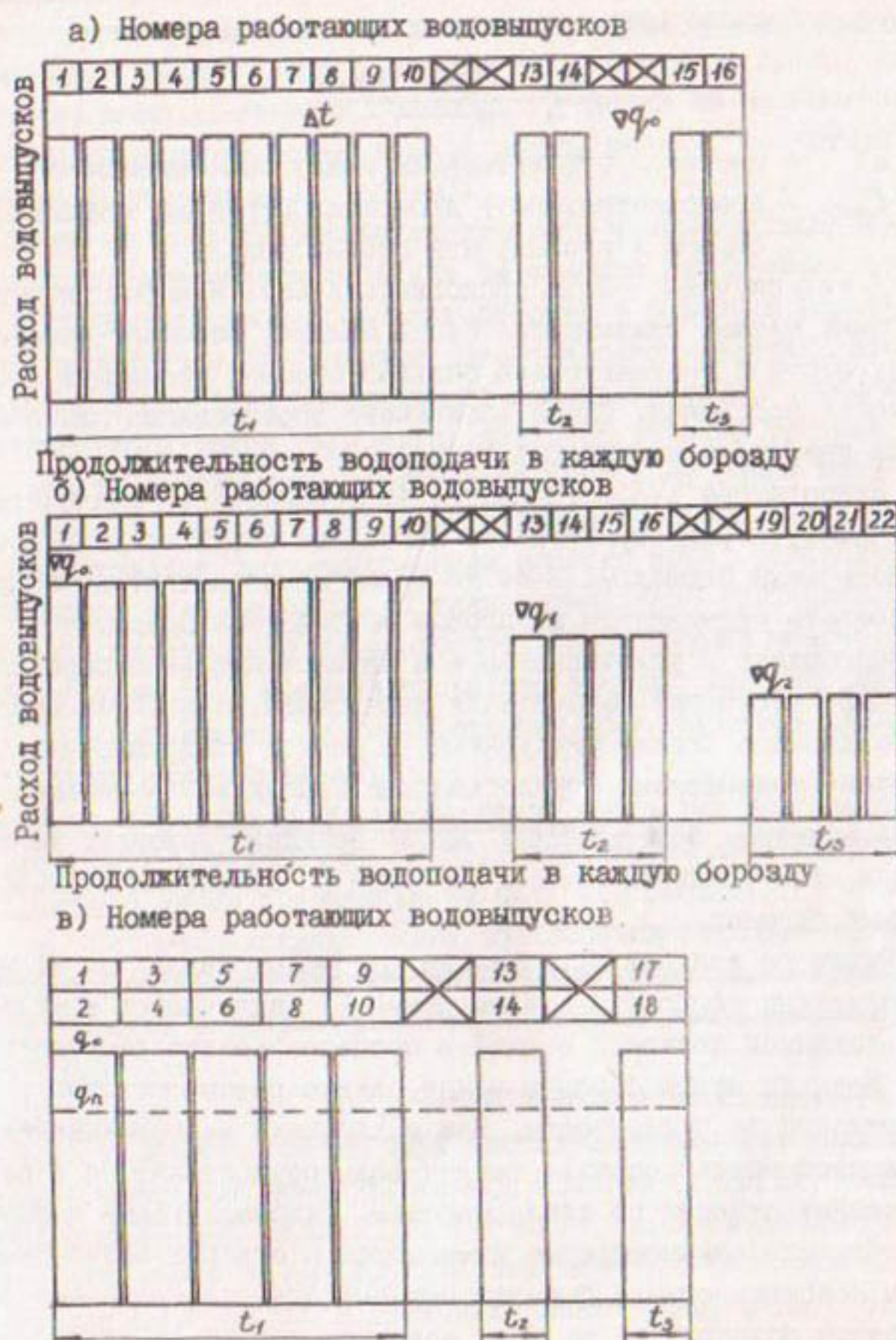


Рис.8. Схема возможного формирования цикличной водоподачи в борозду из водовыпусков самоходного шлангового устройства при поливе прерывистой струей: а) постоянной по величине; б) уменьшающейся по величине; в) разной по величине для уплотненных и неуплотненных борозд



определяться суммарной продолжительностью этапов добегания и количеством одновременно работающих водовыпусков

$$\Delta t = \frac{t_{доб_1} + t_{доб_2} + t_{доб_3}}{n}, \quad (7)$$

где  $\Delta t$  — длительность интервала между перемещениями;

$t_{доб}$  — продолжительность добегания струй до конца борозд при первом и последующих пусках воды.

В тех случаях, когда продолжительность и нормы добегания при повторных пусках оказываются очень малыми, возможно уменьшить величину струй и в значительно большей степени увеличить продолжительность добегания. Схема возможного формирования цикличной вододачи приведена на рис. 8 б.

Недостатком рассмотренных схем формирования цикличной вододачи является разновременность добегания струй по уплотненным и неуплотненным бороздам. В то же время представляется возможным осуществить передвижным шланговым устройством прерывистую разделенную водоподачу в уплотнительные и неуплотнительные борозды (рис. 8 в).

Для этого шаг перемещения шлангового устройства принимается равным двойной ширине междурядья, а расход (например четных) водовыпусков, совмещенных с уплотненными бороздами — меньшим, чем расход нечетных водовыпусков. Число незадействованных водовыпусков при этом увеличивается в два раза по сравнению с ранее рассмотренными схемами.

Полив по длинным бороздам из рассредоточенных по их длине водовыпускных устройств (циклограмма 7) заключается в увлажнении почвы заданной поливной нормой в процессе кратковременного продвижения воды по сухой борозде между близко расположенными створами и длительной ее проточности. Для исключения недоувлажнения почвы (в концевой части борозд) выпуск воды осуществляется в близко расположенных створах по длине борозды. Гидравлические параметры по длине борозды скачкообразно изменяются в створах вододачи. Сброс воды в концевом створе борозды незначителен по сравнению с рассредоточенной водоподачей из всех водовыпусков по ее длине.

Полив из рассредоточенных по длине борозд водовыпусков еще недостаточно изучен.

Технические решения пуска воды в головном и дополнительных створах по длине борозды заключаются в применении закрытых перфорированных трубопроводов, широкозахватных многопозиционных машин и самоходных шланговых устройств.



Применение широкозахватных многопозиционных поливных машин позволяет в значительной степени рассредоточить водоподачу на орошаемой площади (рис.9). Вода одновременно подается в группу поливных борозд по всей длине гона орошаемого участка из равномерно распределенных по площади точек водовыпусков, количество которых в пересчете на 1 га составляет 200-400.

Технические средства механизированного многопозиционного водораспределения предназначаются для выполнения технических операций подачи воды требуемой продолжительности в поливную машину позиционного действия с равномерным распределением ее между всеми водовыпусками и переезда опорожненной машины на новую позицию.

Достоинствами такой технологии является высокий уровень производительности труда (один поливальщик управляет током воды 200 л/с и более); высокая равномерность водораспределения, обусловленная значительным рассредоточением водного тока; снижение до минимума потерь воды на сброс, а также пониженные требования к выровненности поверхности орошаемого поля. Конструкция многопозиционных поливных машин и принцип их работы просты. Водораспределяющими устройствами машины являются сравнительно короткие шлейфы с нерегулируемыми водовыпусками.

Полив по бороздам из перемещающихся вдоль них водораспределяющих устройств (циклограммы 9, 10) заключается во внесении заданной поливной нормы в движении за один или несколько проходов и позиционно. Для механизации полива по коротким бороздам по этой технологии на участках, недостаточно спланированных, с почвами средней и высокой водопроницаемости применимы поливные машины двухконсольного т. 1.

Отечественная наука уже давно обосновала необходимость и целесообразность использования двухконсольных машин для полива по бороздам, а также для комбинированных поливов (ВНИИГим, КазНИИВХ, КжНИИГим, ВолжНИИГим, ВНИИМитП). В стадии хозяйственной проверки находятся два варианта конструкции машины этого типа для осуществления полива по бороздам в движении (ВолжНИИГим) и на позиции (ВНИИМитП, КазНИИВХ). Последняя имеет существенные преимущества перед машиной, работающей в движении. Однократный проход по полю с продолжительными стоянками облегчает условия работы поливальщика, исключает затраты энергии на переезды, не приводит к колееобразованию, позволяет снизить потери воды на сброс в оросителе и, что самое главное, дает возможность осуществления комбинированных



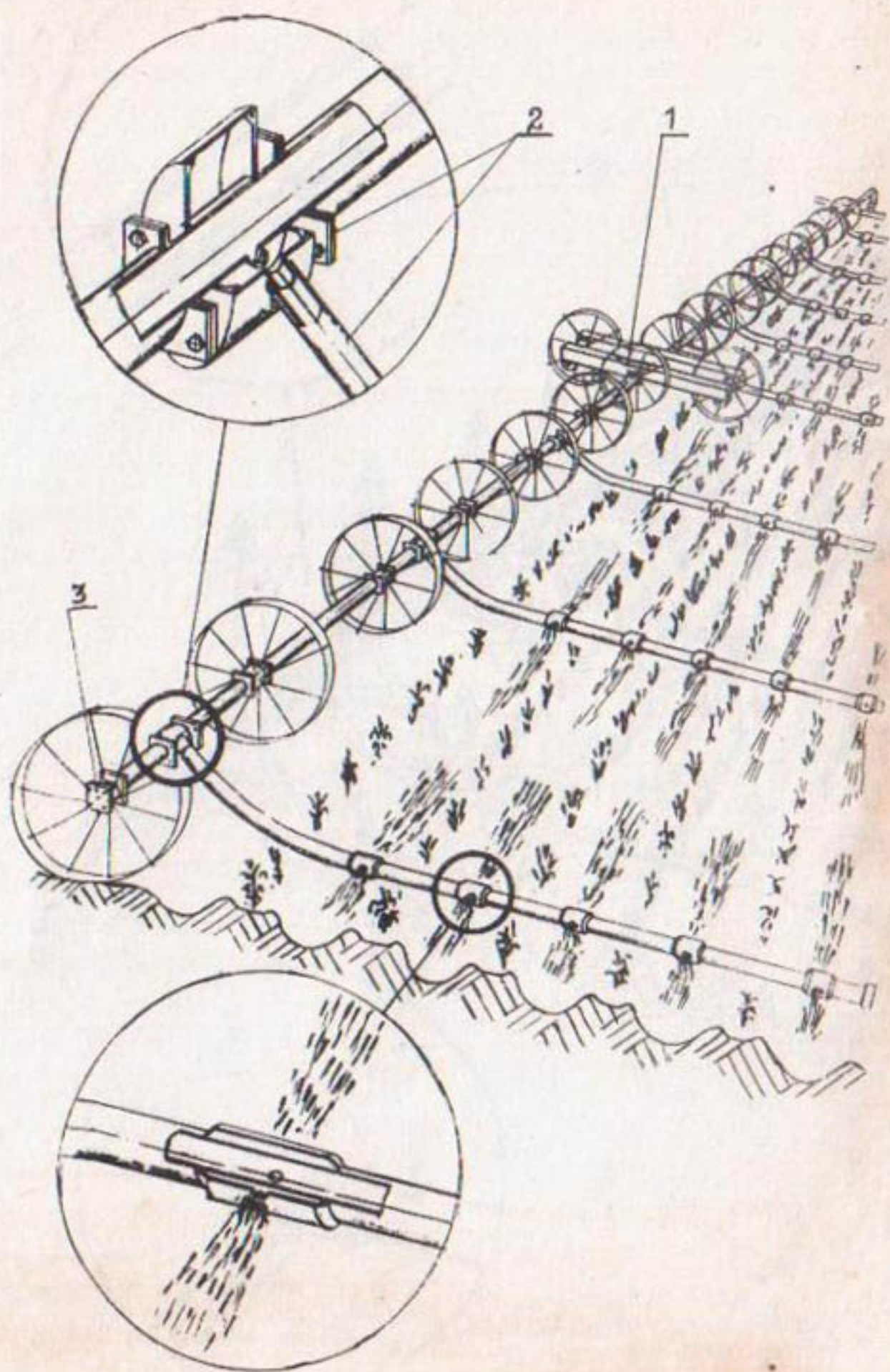


Рис. 9. Дождевальная машина "Волжанка" (поливной вариант):  
 1 - "Волжанка"; 2 - муфта с поливным плантом;  
 3 - заглушка



поливов (на позиции вносится основная норма по бороздам, и при переезде с позиции на позицию способом дождевания освежается надземная часть растений и создается микроклимат). По данным ряда научных учреждений комбинированный полив обеспечивает существенную прибавку урожая возделываемых культур.

Таким образом, поверхностный способ заключает потенциальные возможности дальнейшего усовершенствования технологий водораспределения для повышения производительности труда и улучшения качества полива.

Классификационная схема разновидностей технологий водораспределения по тупым и проточным бороздам в виде графически изображенных обобщенных зависимостей элементов техники полива (циклограмм) дает наглядное представление о многообразных возможностях их совершенствования.

Существующая технология и свойственная ей техника поверхностного полива, основанные на сосредоточении больших токов воды и распределении их на узком фронте полива крупными поливными струями (1,0-3,0 л/с) в длинные борозды (300 м и более), должны применяться, в первую очередь, в условиях тщательно выровненной поверхности поля, малых уклонов, низкой водопроницаемости почв. Для орошаемых массивов с изрезанным рельефом, недостаточной выровненностью поверхности, повышенными и высокими уклонами местности, на почвах с высокой водопроницаемостью и малой глубиной плодородного слоя, т.е. там, где предельная длина поливных борозд ограничена, предлагаются технологии и технические решения, основанные на рассредоточении водного тока и одновременном распределении его по фронту полива и по длине поливной борозды с использованием самоходных шланговых поливных устройств, широкозахватных поливных машин, перемещающихся поперек борозд, и консольных машин, перемещающихся вдоль борозд.



## Л и т е р а т у р а

1. В ы р л е в И.С. Оросительные системы поверхностного орошения с подземными трубопроводами. НРБ, перевод обзора. М., 1976.
2. Н о с е н к о В.Ф. Полив переменной поливной струей в предгорьях Казахстана. Вестник сельскохозяйственных наук, Алма-Ата 1960.
3. Н о с е н к о В.Ф., Б о р о в е н с к и й Н.П. Дождеваль-но-поливной агрегат.- "Техника в сельском хозяйстве", 1966, № 2.
4. Ч и ч а с о в В.Я., И з ю м о в В.В., Н о с е н к о В.Ф. Ш т о к а л о в Д.А. Техника полива сельскохозяйственных куль-тур. М., "Колос", 1970.
5. Ш у м а к о в Б.Б., Н о с е н к о В.Ф., Ш е й н к и н Г.Ю. Основные направления совершенствования техники полива в СССР.- "Гидротехника и мелиорация", 1975, №7.



РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ К  
ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЕ "ВОЛЖАНКА", ОБЕСПЕЧИ-  
ВАЮЩЕГО ПОВЕРХНОСТНЫЙ ПОЛИВ С РАСХОДОМ ДО  
100 л/с

Многообразие климатических и природных условий в нашей стране требует расширения возможности использования существующей поливной техники.

Практика применения дождевальных машин "Волжанка" в районах орошаемого земледелия с частыми и сильными ветрами, в частности в Поволжье, показала их малоэффективность, а порой и невозможность производства полива дождеванием.

В связи с этим возникла необходимость в создании специального оборудования, позволяющего производить полив поверхностным способом по коротким бороздам.

При переоборудовании машины с существующей модели снимаются дождевальные аппараты и механизмы самоустановки. Через каждые 50 м на трубопроводе устанавливаются специальные муфты с подсоединенными к ним полиэтиленовыми шлейфами длиной 20 м, диаметром 50 мм с водовыпускными отверстиями на расстоянии ширины междурядья 0,6-0,9 м (рис.1).

Для осуществления полива машина располагается на поливном участке таким образом, чтобы шлейфы шли в направлении поперек борозд и против каждой борозды находилось водовыпускное отверстие (рис.2).

Через узел присоединения машина подключается к гидранту распределительного трубопровода.

При открытии гидранта вода поступает в водопроводящий трубопровод и далее через муфты-вставки - к поливным шлейфам, из которых через водовыпуски, снабженные гасителями, попадает в борозды.

По окончании полива машину отсоединяют от гидранта оросительной сети и перемещают на следующую позицию.

Муфты-вставки при передвижении машины перемещаются не вращаясь.



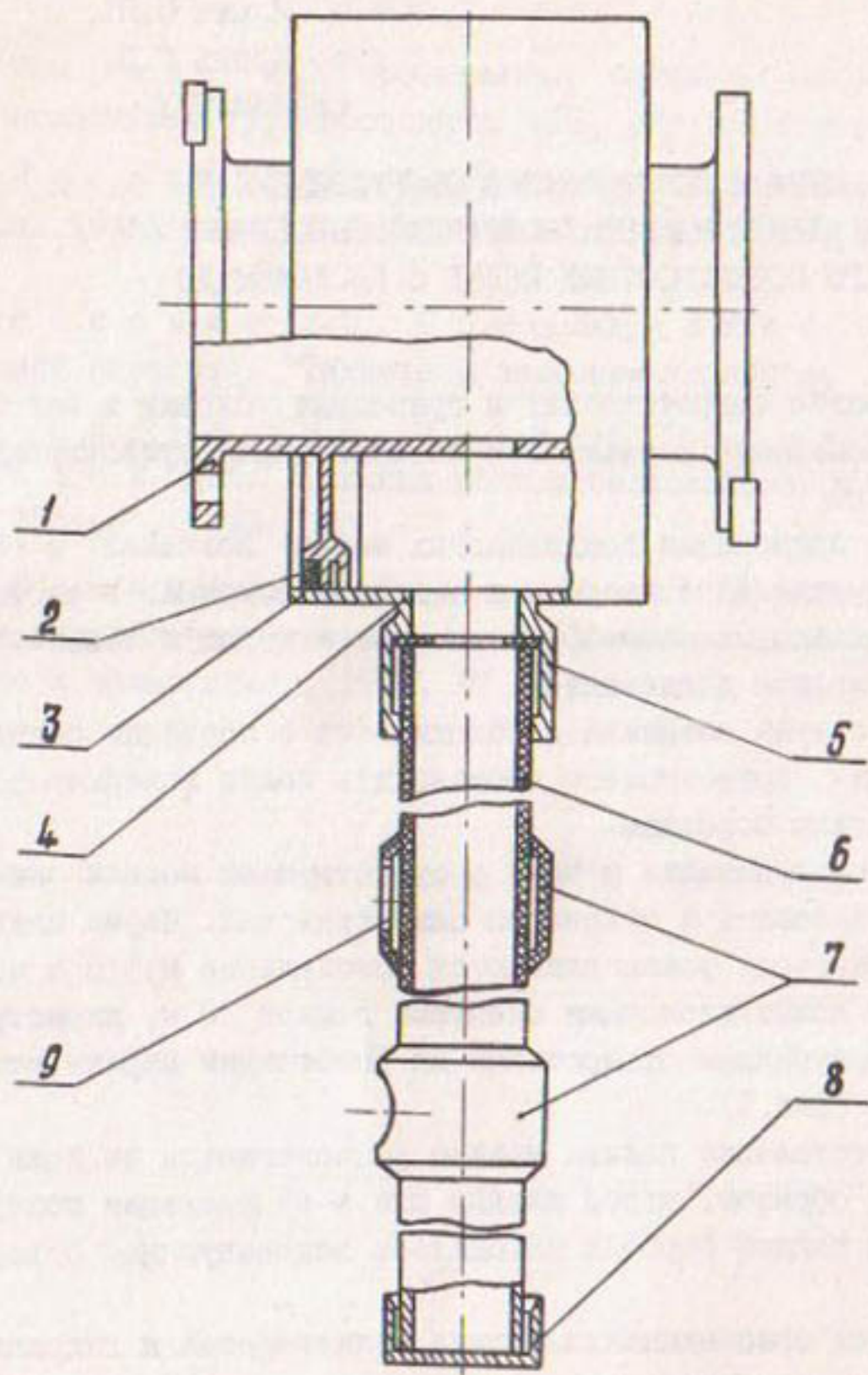


Рис. I. Муфта поливная со шлангом: 1 - корпус муфты; 2 - кольцо; 3 - манжеты; 4 - обод, 5 - диафрагма; 6 - шлейф; 7 - муфты-гасители; 8 - заглушка; 9 - водовыпускное отверстие



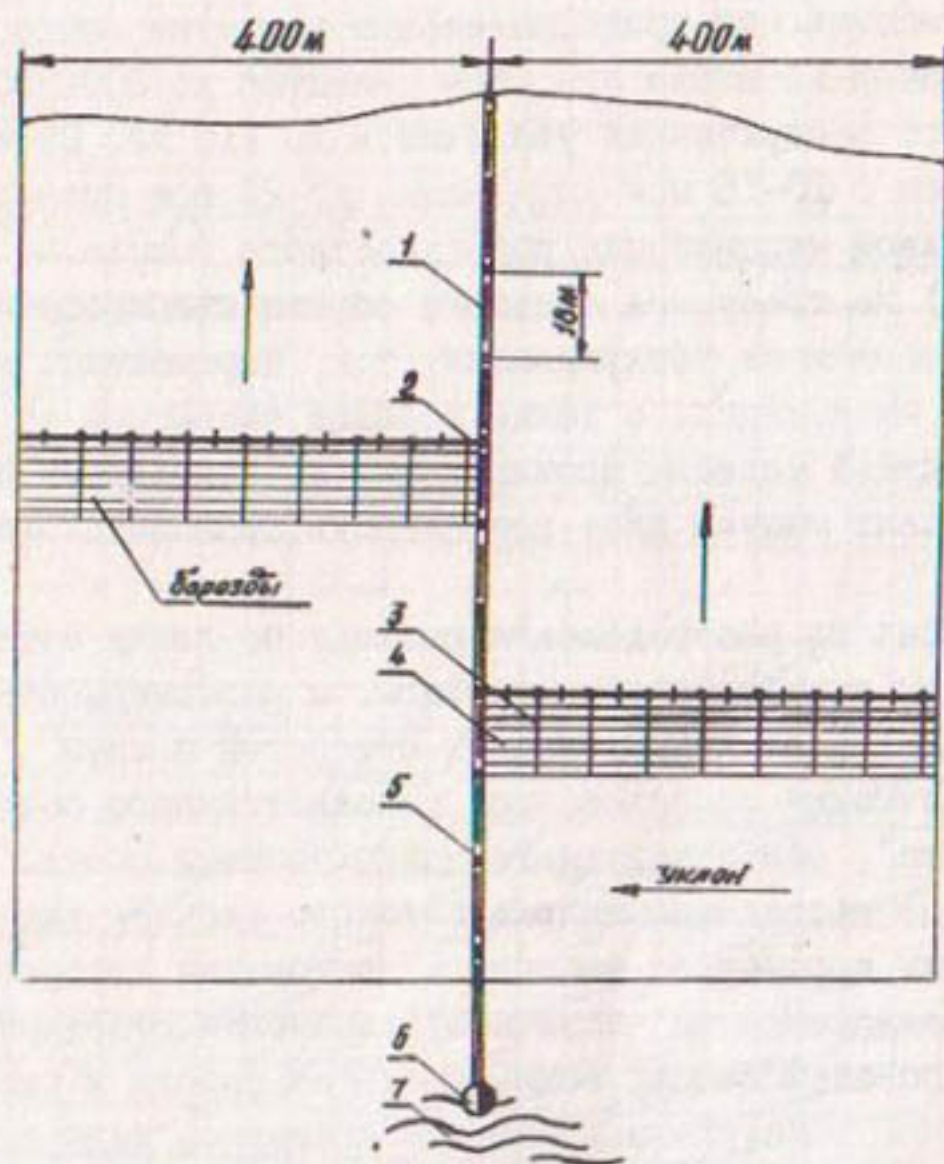


Рис. 2. Схема работы машины "Волжанка", оборудованной шлейфами для поверхностного полива: 1 - магистральный трубопровод; 2 - машина "Волжанка"; 3 - поливные шлейфы; 4 - борозды; 5 - гидрант; 6 - насосная станция; 7 - водоисточник



При изменении направления движения поливной машины на противоположное поливные шлейфы необходимо повернуть вокруг оси водопроводящего трубопровода на  $180^{\circ}$ .

Работа машины в поливном режиме создает целый ряд преимуществ как по технико-эксплуатационным показателям, так и по ее обслуживанию.

Расход машины, по предварительным расчетам можно повысить до 100 л/с, а напор на входе при этом снизится до 300–350 кПа, площадь сезонного обслуживания увеличится до 110 га. Потери на испарение снизятся с 10–15 при дождевании до 2% при поверхностном поливе. При полной механизации поверхностного полива по коротким бороздам (50 м) не требуется большого объема планировочных работ. Улучшаются условия ее обслуживания, т.к. перемещение крыльев машины с позиции на позицию, а также переход оператора от гидранта к двигателю ведущей тележки производится по неполитому полю. Разработанный вариант машины дает возможность проводить влагозарядковые поливы.

Равномерность распределения расхода по длине машины достигается с помощью калиброванных диафрагм, а равномерность подачи воды в борозды за счет калиброванных отверстий шлейфа.

Гидравлическим исследованиям дополнительного оборудования машины "Волжанка", обеспечивающего поверхностный полив, предшествовала работа по проведению гидравлического расчета для обоснования выбора рабочих параметров машины, на основании которого были разработаны "Предложения по частичному изменению отдельных узлов "Волжанки", обеспечивающих возможность ее работы в режиме поверхностного полива". Результаты расчета диаметров диафрагм приводятся на рис.3 в виде зависимости диаметра отверстий диафрагм от расхода и напора на гидранте, а диаметров водовыпускных отверстий по длине шлейфа в зависимости от напора и расхода представлены на рис.4 при расположении отверстий через 0,7 м. Полученные расчетные данные были заложены в экспериментальный образец оборудования, который проходил испытания в с-зе им. Димитрова Коломенского района.

Помимо этого, в лабораторных условиях проводились гидравлические исследования поливных шлейфов, целью которых являлось определение равномерности распределения расхода по длине поливного полиэтиленового шлейфа для проверки расчетных данных и уточнения рекомендаций по размерам водовыпускных отверстий, а также работоспо-



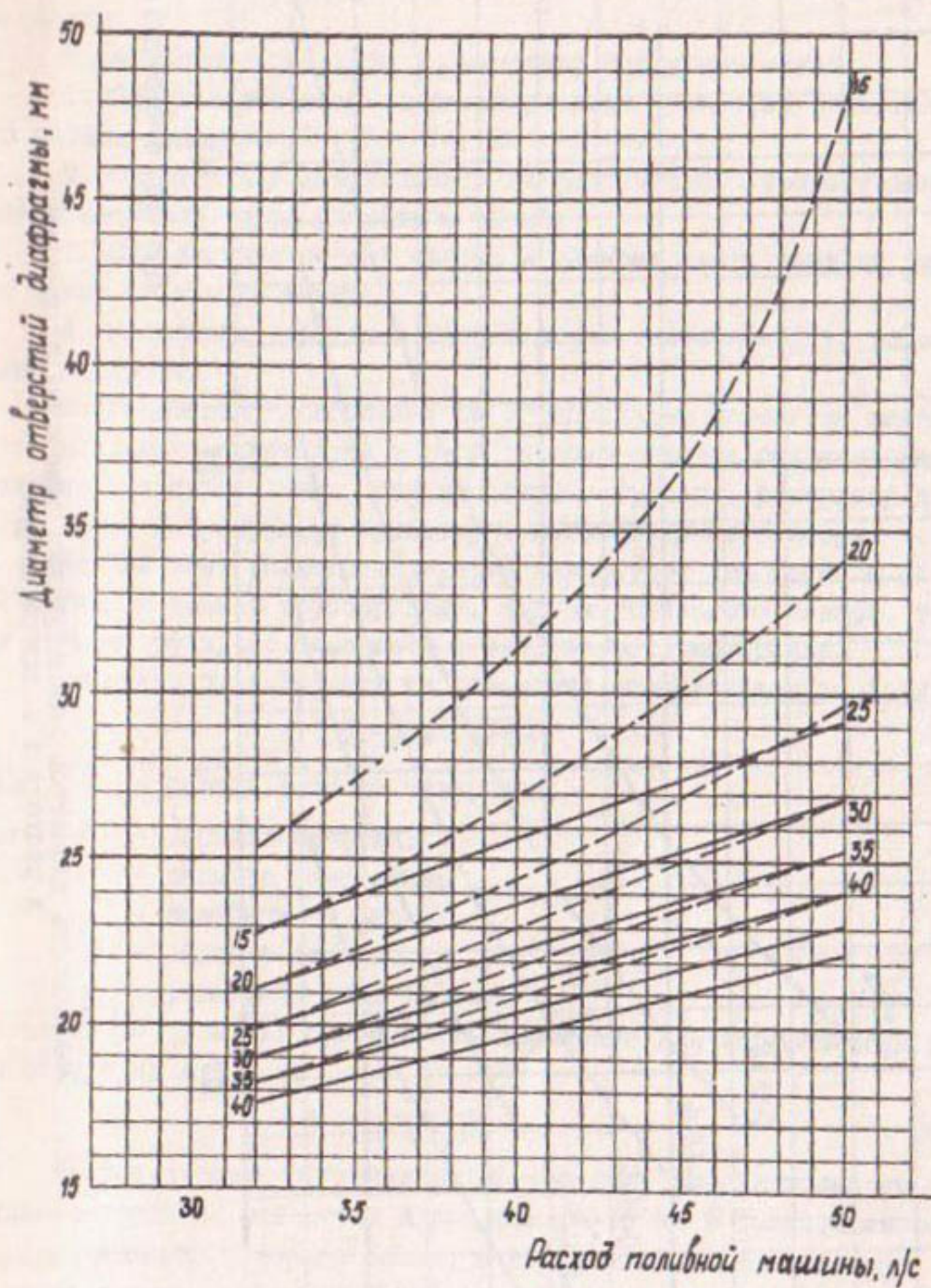


Рис. 3. Зависимость диаметра отверстия диафрагмы от расхода и напора на гидранте: — в начале машины; - - - - - в конце машины



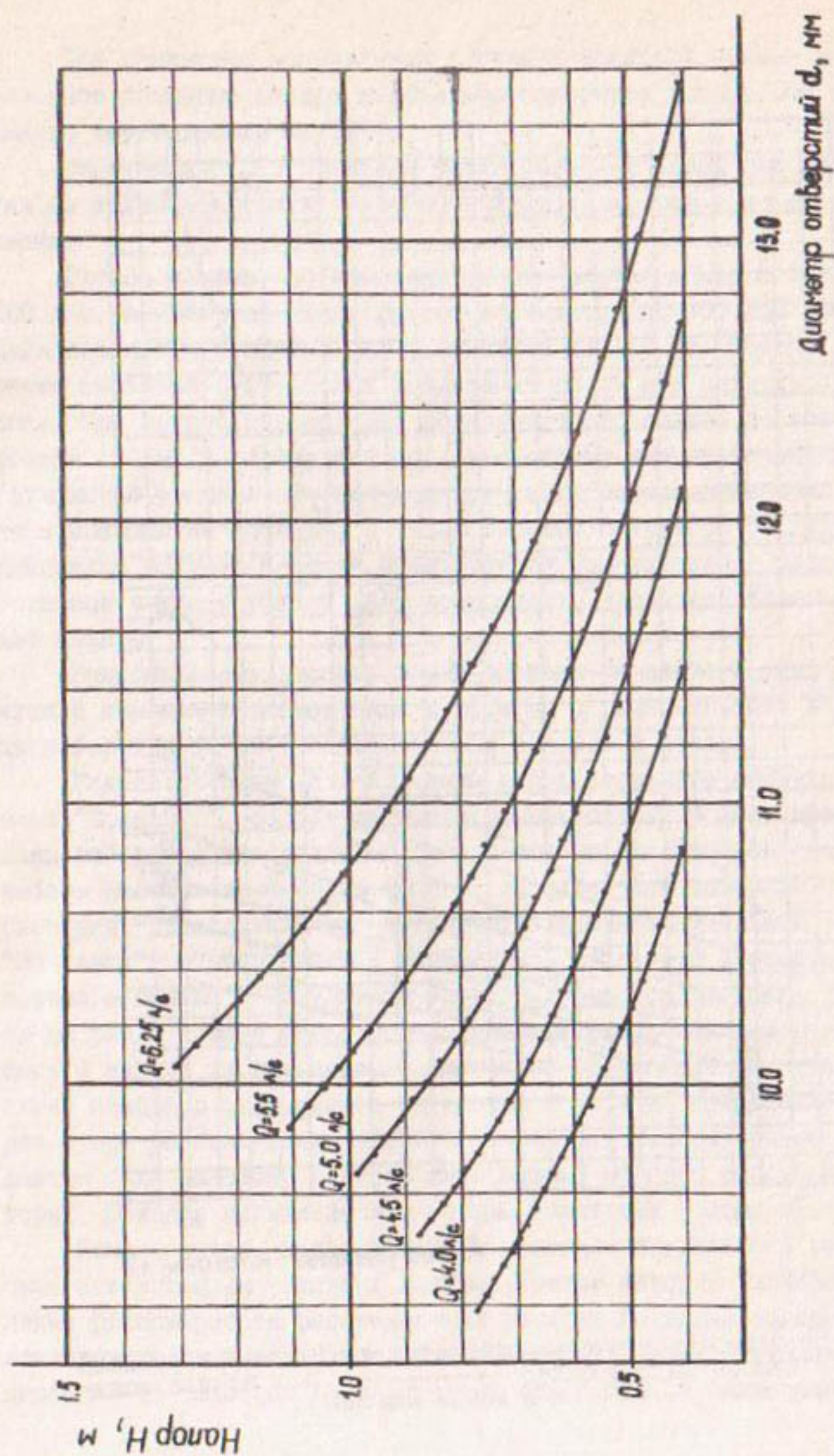


Рис. 4. Зависимость диаметров водовыпускных отверстий от напора и расхода в полном шлюзе



способности гасителей напора муфтового типа, выполненных из алюминия и резины.

Проведенные исследования включают следующие этапы.

1. Определение коэффициентов расхода отверстий полиэтиленового шлейфа диаметром 18, 16, 14, 12 и 10 мм.

2. Определение коэффициента гидравлического сопротивления в полиэтиленовой трубе диаметром 50 мм.

3. Определение потерь напора и равномерности раздачи расхода по длине поливного шлейфа.

4. Испытание гасителей напора струи, вытекающей из водовыпускных отверстий.

Исследования проводились по общепринятым методикам на специальном стенде, включавшем в себя насосно-силовое оборудование, подводящие и сливные линии, бак постоянного уровня, резервуар для забора воды, регулирующую арматуру и измерительные приборы.

Коэффициент расхода отверстий зависит от его формы и скорости движения воды в трубопроводе, пьезометрического напора, толщины стенки трубы, от жесткости и эластичности материала.

Величина расхода воды из отверстия определялась по формуле

$$Q = \mu w \sqrt{2gH}, \quad (1)$$

где  $Q$  — расход воды из отверстия;

$w = \frac{\pi d^2}{4}$  — площадь сечения;

$d$  — диаметр отверстия;

$\mu$  — коэффициент расхода;

$H$  — напор у отверстия;

$g$  — ускорение силы тяжести.

Тогда из формулы (1) будем иметь выражение для коэффициента расхода отверстия  $\mu$

$$\mu = \frac{Q}{w \sqrt{2gH}}. \quad (2)$$

По результатам проведенных опытов получены зависимости коэффициента расхода отверстий диаметром 10–18 мм в полиэтиленовом шлейфе (диаметр которого 50 мм, а внутренний — 42,6 мм, при толщине стенки, равной 3,7 мм) от напора, т.е.  $\mu = f(H)$  (рис. 5) при пропуске транзитного расхода и без него.

Как следует из анализа полученных данных среднее значение коэффициента расхода  $\mu$  для диаметров отверстий 10–18 мм в полиэти-



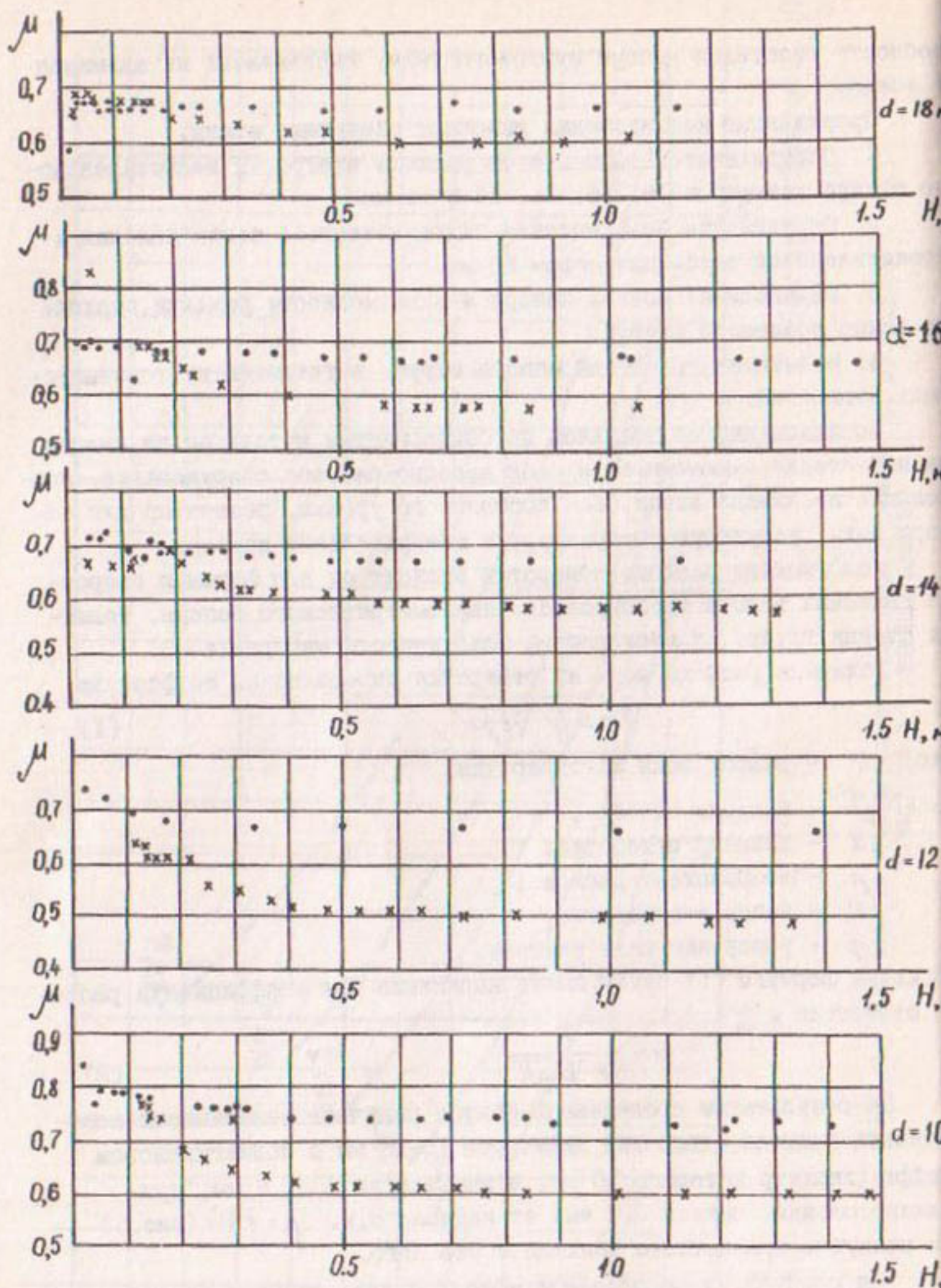


Рис.5. Зависимость  $\mu = f(H)$  для отверстий в полиэтиленовом шлейфе диаметром 50 мм: x — с транзитным расходом; — без транзитного расхода



леновом шлейфе можно принимать равным  $\mu_{cp} = 0,65-0,73$  без пропуска транзитного расхода, т.е. при отсутствии продольной скорости, при пропуске транзитного расхода  $\mu'_{cp} = 0,50-0,64$ , т.е.  $\mu_{cp} > \mu'_{cp}$ , что подтверждается и другими исследователями [2, 3].

Потери напора в полиэтиленовой трубе  $d = 50$  мм определялись на вышеуказанной установке на участке длиной 12 м при изменении расхода от 0,7 до 7 л/с.

Коэффициент гидравлического сопротивления  $\lambda$  определялся исходя из формулы Вейсбоха-Дарси

$$\lambda = \Delta h \frac{d_r}{l} \cdot \frac{2g}{v_r^2}, \quad (3)$$

где  $\Delta h$  - потери напора на исследуемом участке трубы;

$d_r$  - внутренний диаметр трубы;

$l$  - длина испытываемого участка;

$v_r$  - средняя скорость движения воды в трубопроводе;

$$v_r = \frac{Q_r}{w_r} \quad (4)$$

$Q_r$  - расход, протекающий по трубе;

$w = \frac{\pi d_r^2}{4}$  - площадь поперечного сечения трубы.

Число Рейнольдса определялось относительно среднего диаметра трубы по формуле

$$Re = \frac{v_r d_r}{\nu}, \quad (5)$$

где  $\nu$  - коэффициент кинематической вязкости воды, зависящий от ее температуры.

Гидравлический уклон или потери напора на единицу длины испытываемых труб  $i$  представляет собой отношение потерь напора на исследуемом участке труб  $\Delta h$  к его длине  $l$ , т.е.

$$i = \frac{\Delta h}{l}. \quad (6)$$

Полученные данные представлены на рис. 6 и 7 в виде зависимостей  $100i = f(Q)$  и  $100\lambda = f(100Re)$ , которые позволяют уточнить расчет рабочих параметров дополнительного оборудования, а, следовательно, и самой машины. Равномерность распределения расхода определялась по длине полиэтиленового шлейфа с наружным диаметром 50 мм, внутренним 42,6 мм, длиной 20,54 м, материал - полиэтилен низкой плотности среднелегкого типа. Водовыпускные отверстия, в количестве 25 штук располагались через 0,7 м и были перекрыты алюминиевыми муфтами-гасителями. Перед началом опытов был произведен тщательный



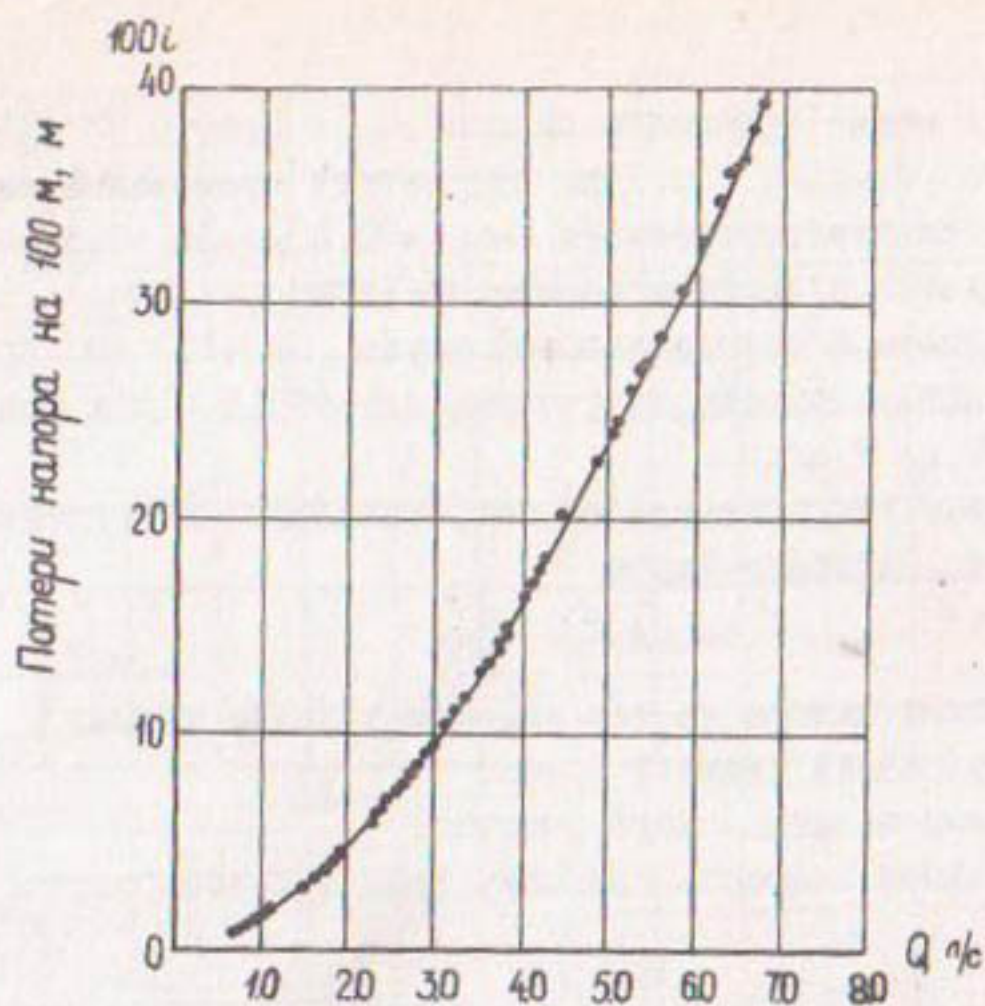


Рис.6. Потери напора в полиэтиленовом трубопроводе ПНП 50СЛ

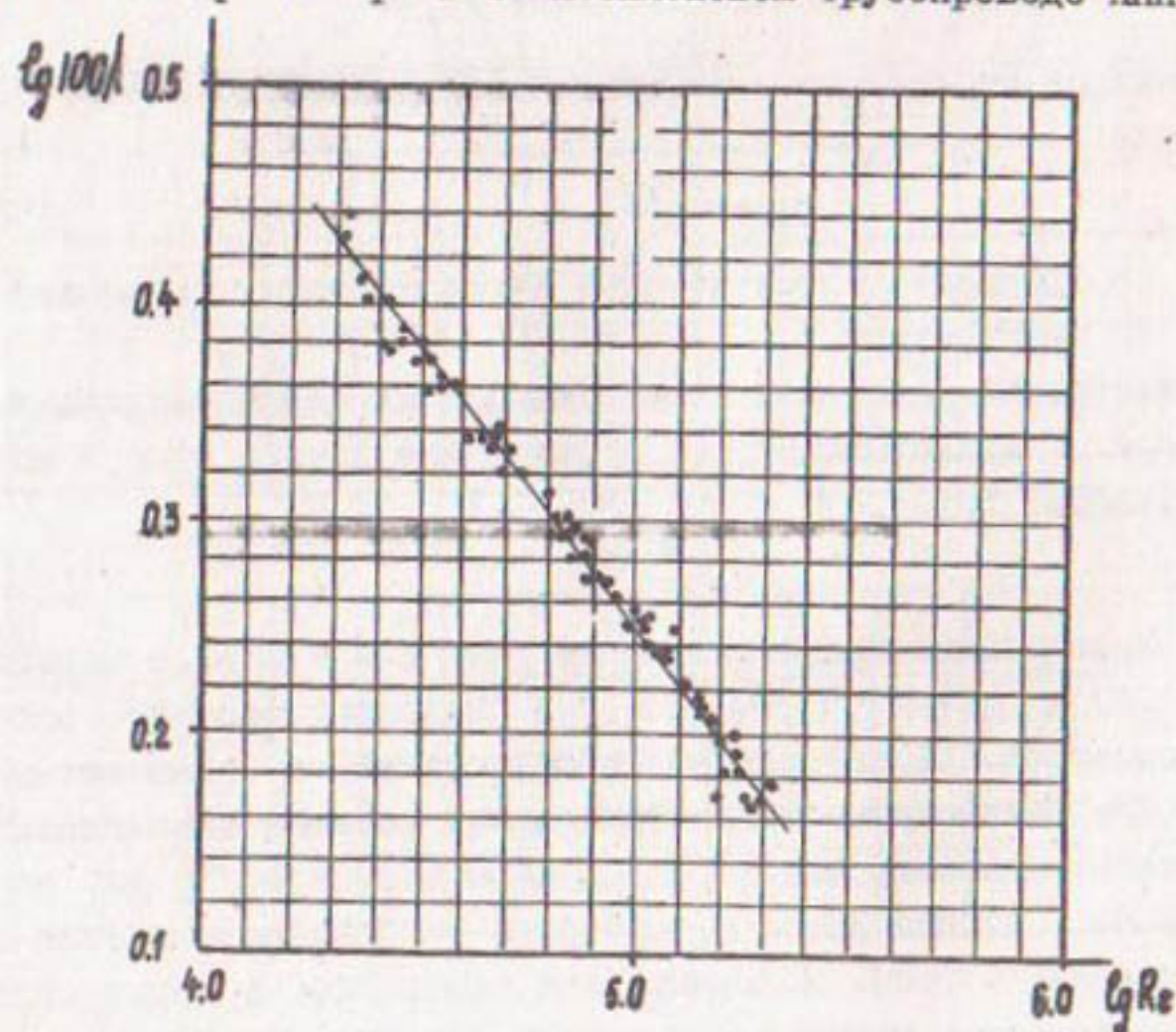


Рис.7. Зависимость  $\lg 100\lambda \cdot f(\lg Re)$  для полиэтиленового трубопровода ПНП 50 СЛ



замер диаметров водовыпускных отверстий.

В табл. I приведены результаты замеров диаметров водовыпускных отверстий  $d_{\phi}$  и сравнение их с расчетными  $d_p$ ,  $\Delta d = d_{\phi} - d_p$ . Как видно из полученных данных, процент отклонения размеров диаметров отдельных водовыпускных отверстий достигал 7,5%, что и явилось причиной неудовлетворительной равномерности распределения расходов в первой серии опытов. Опыты по определению равномерности распределения расхода по длине поливного шлейфа проводились в диапазоне от 3,4 до 8 л/с при изменении среднего расхода из водовыпускного отверстия от 0,14 до 0,32 л/с. Напор в конце шлейфа поддерживался равным 0,4 м в соответствии с техническими требованиями при гидравлическом расчете машины.

Таблица I

| № отверст. | $d_{\phi}$ , мм | $q$ , л/с | $d_p$ , мм | $\Delta d$ , мм | %     | $\Delta q$ , л/с | %     |
|------------|-----------------|-----------|------------|-----------------|-------|------------------|-------|
| I          | 9,80            | 0,270     | 10,06      | -0,26           | -2,58 | 0,003            | 1,1   |
| 2          | 9,95            | 0,255     | 10,13      | -0,18           | -1,78 | -0,012           | -4,5  |
| 3          | 10,25           | 0,285     | 10,21      | 0,04            | 0,09  | 0,018            | 6,7   |
| 4          | 10,05           | 0,255     | 10,29      | -0,24           | -2,33 | -0,012           | -4,5  |
| 5          | 10,05           | 0,211     | 10,37      | -0,32           | -3,09 | -0,056           | -21,0 |
| 6          | 10,20           | 0,230     | 10,46      | -0,26           | -2,49 | -0,037           | -13,8 |
| 7          | 9,95            | 0,216     | 10,56      | -0,61           | -5,78 | -0,051           | -19,1 |
| 8          | 10,15           | 0,212     | 10,64      | -0,49           | -4,61 | -0,055           | -20,6 |
| 9          | 10,05           | 0,223     | 10,74      | -0,69           | -6,42 | -0,044           | -16,5 |
| 10         | 10,05           | 0,192     | 10,85      | -0,8            | -7,37 | -0,075           | -28,1 |
| 11         | 11,80           | 0,255     | 10,95      | 0,85            | 7,76  | -0,012           | -4,5  |
| 12         | 11,70           | 0,255     | 11,08      | -0,62           | -5,60 | -0,012           | -4,5  |
| 13         | 11,80           | 0,243     | 11,19      | -0,61           | -5,45 | -0,024           | -9,0  |
| 14         | 11,60           | 0,248     | 11,32      | 0,28            | 2,47  | -0,019           | -7,1  |
| 15         | 12,25           | 0,252     | 11,46      | -0,21           | -1,83 | -0,015           | -5,6  |
| 16         | 12,40           | 0,269     | 11,60      | -0,20           | -1,72 | 0,002            | 0,7   |
| 17         | 12,55           | 0,275     | 11,71      | -0,16           | -1,37 | 0,008            | 3,0   |
| 18         | 12,45           | 0,254     | 11,91      | -0,54           | -4,53 | -0,013           | -4,9  |
| 19         | 12,50           | 0,270     | 12,08      | 0,42            | 3,48  | 0,003            | 1,1   |
| 20         | 13,20           | 0,311     | 12,29      | 0,91            | 7,41  | 0,044            | 16,5  |
| 21         | 13,30           | 0,304     | 12,57      | 0,73            | 5,81  | 0,037            | 13,8  |
| 22         | 13,25           | 0,321     | 12,72      | 0,53            | 4,17  | 0,054            | 20,2  |
| 23         | 13,20           | 0,332     | 12,97      | 0,23            | 1,77  | 0,065            | 24,3  |
| 24         | 14,25           | 0,353     | 13,26      | 0,99            | 7,47  | 0,086            | 32,2  |
| 25         | 14,15           | 0,365     | 13,55      | 0,60            | 4,43  | 0,098            | 36,7  |



Полученные результаты по определению расходов по длине полив-ного шлейфа при  $q_{шл} = 6,656$  л/с и  $q_{ср}$  водовыпускного отверстия 0,267 л/с,  $\Delta q = q - q_{ср}$  и % отклонения от среднего расхода, приведены в табл. I. Процент отклонения расходов от среднего значения по отдельным водовыпускам достигал 20–28, а в конце шлейфа – 36,7%, что явно не соответствовало требованиям равномерности, которая должна колебаться в пределах  $\pm 10\%$ .

По полученным данным была произведена корректировка размеров водовыпускных отверстий в соответствии с расчетными, после чего вновь проведена серия опытов по определению равномерности распределения расходов. Для примера на рис. 8 представлен график распределения расхода по длине шлейфа до и после корректировки размеров диаметров водовыпускных отверстий.

Равномерность распределения расхода по длине шлейфа принята в пределах  $\pm 10\%$  от среднего расхода из отверстия, согласно данным заложенным в агропотребованиях к машине.

Во всех опытах с полиэтиленовым шлейфом до корректировки диаметров водовыпускных отверстий наблюдался характерный прогиб линии расходов в среднем сечении и увеличение ее к концу шлейфа, что является закономерным фактом при раздаче расходов вдоль пути на коротких (18 м) участках, т.к. при этом скорость течения воды будет величиной переменной, а в концевой части шлейфа происходит восстановление скоростного напора, что приводит к увеличению расхода.

Все эти явления были учтены при корректировании размеров диаметров водовыпускных отверстий и при повторных испытаниях распределение расхода по длине шлейфа имело удовлетворительный характер. Таким образом, на основании проведенных гидравлических исследований были даны рекомендации по окончательному выбору диаметров поливных отверстий: с первого по третье 10 мм; с четвертого по пятое 10,5 мм; с шестого по одиннадцатое 11 мм; с двенадцатого по пятнадцатое 12 мм; с шестнадцатого по двадцать второе 12,5 мм; с двадцать третьего по двадцать пятое 12 мм.

При испытаниях шлейфа было замечено, что вытекающие из отверстий струи, особенно в начальном участке, дают отклонение от перпендикулярного направления к оси шлейфа на угол, достигающий  $40^\circ$ , что приведет к попаданию струи на гребень борозды и ее возможному размыву. С целью ликвидации этих явлений конструкторским отделом были предложены и разработаны специальные устройства для гашения напора вытекающей струи муфтового типа, выполненные из алюминия и



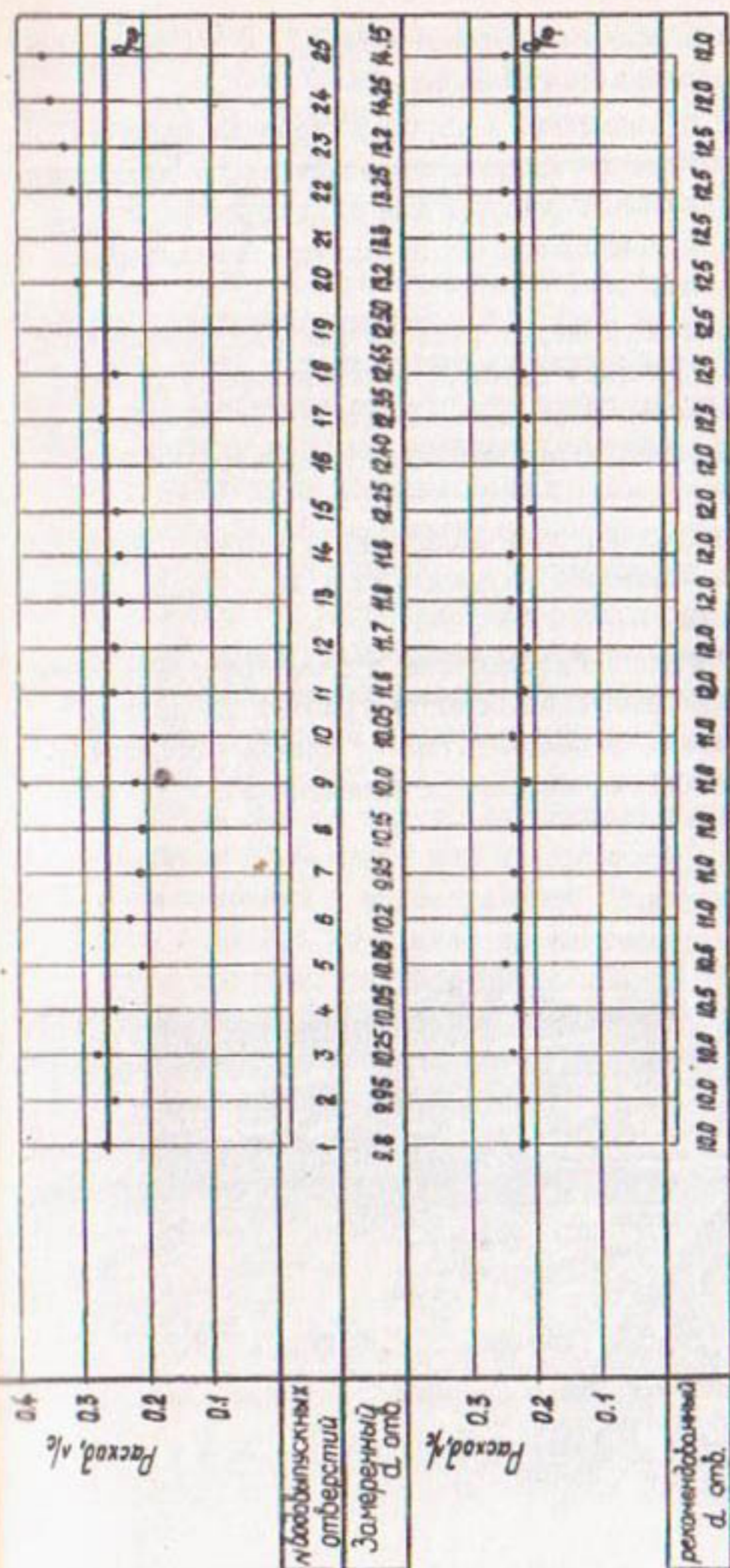


Рис. 8. Распределение расхода по длине поливного шлейфа: до и после корректировки размеров водовпускных отверстий



и резины (рис. I). Гасители просты по конструкции, в изготовлении и эксплуатации, все они одного типоразмера.

Испытания гасителей проводились с целью выявления влияния взаимного расположения отверстия муфты и водовыпускного отверстия шлейфа на величину пропускаемого расхода для следующих вариантов: а) отверстия муфты и трубы совмещены; б) повернуты относительно друг друга на угол  $90^{\circ}$  и  $180^{\circ}$ .

Результаты произведенных замеров расхода как для муфт-гасителей из алюминия, так и из резины, показали, что взаимное расположение отверстий муфт-гасителей и шлейфа не влияет на величину вытекающего расхода, направление струи изменяется на нормальное к оси шлейфа.

Полученные данные гидравлических испытаний и расчета были переданы в ГСКБ по орошению, которое разработало и изготовило опытный образец поливной машины.

Межведомственные испытания проводились в с-зе "Северный Маяк" Среднечирчикского района Ташкентской области (рис. 9) на поливе хлопчатника совместно с САМИС в соответствии с планом испытаний, утвержденным Минводхозом СССР и Всесоюзным объединением "Сельхозтехника".

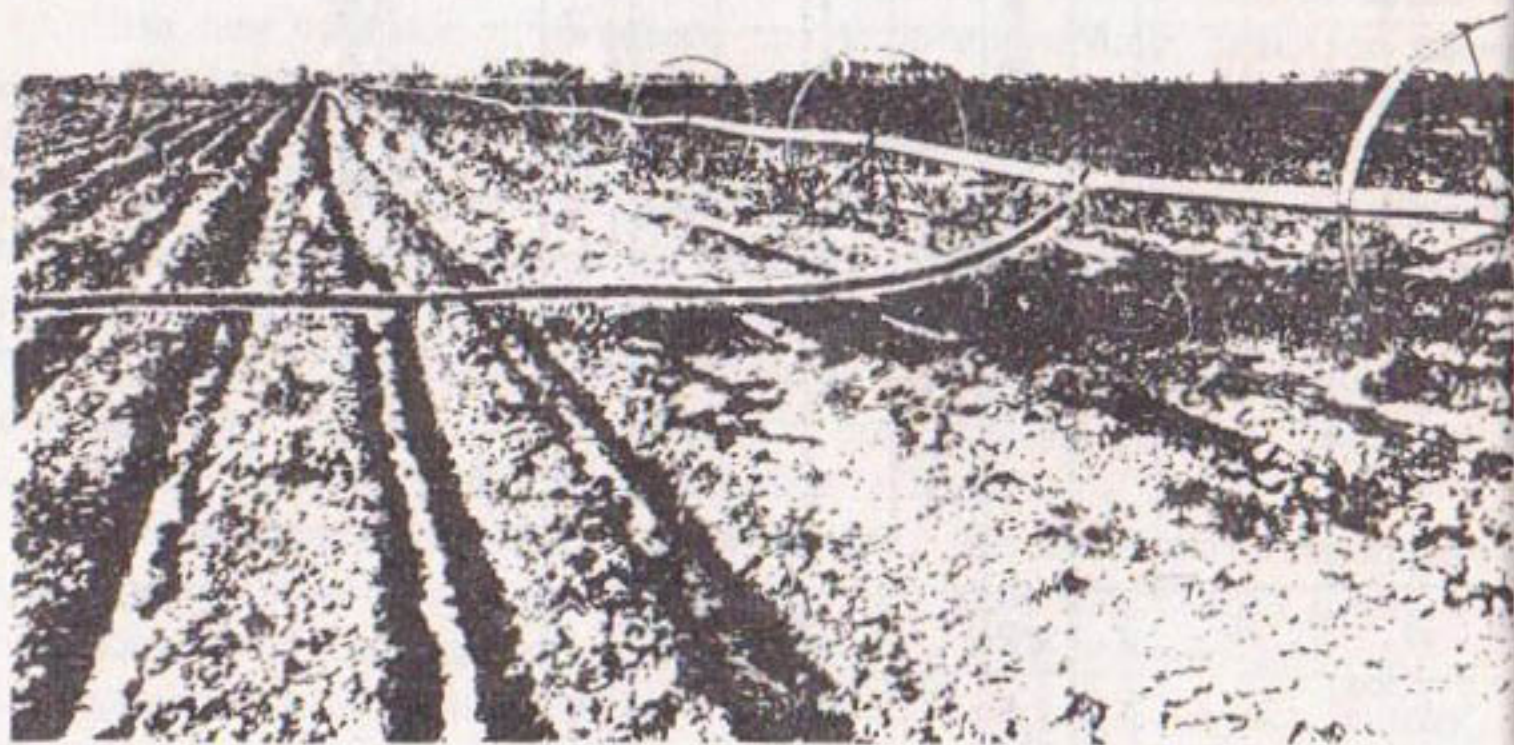


Рис. 9. Общий вид машины при проведении межведомственных испытаний



Подробные результаты испытаний изложены в протоколе № 10-77Д межведомственных испытаний поливной машины на базе дождевальной машины ДКШ-64 "Волжанка".

По результатам проведенных разработок и гидравлических исследований поливных шлейфов можно сделать следующие выводы.

Полученные опытные значения коэффициентов расхода для водовыпускных отверстий диаметром 10-18 мм при наличии продольной скорости и без нее, а также опытная зависимость для определения коэффициента гидравлического сопротивления по длине полиэтиленового шлейфа диаметром 50 мм позволили уточнить гидравлический расчет рабочих параметров дополнительного оборудования к "Волжанке", обеспечивающего полив по бороздам.

Рекомендуемые диаметры водовыпускных отверстий дают допустимую равномерность распределения расхода по длине шлейфа.

Необходимо в дальнейшем отработать технологию нанесения отверстий на полиэтиленовый шлейф (сверление или пробивание). По существующим литературным данным пробитые отверстия имеют меньшие отклонения от расчетных размеров, чем сверленные.

Гасители напора струи, вытекающей из водовыпускных отверстий, выполненные в виде муфты как из алюминия, так и из резины могут быть рекомендованы к использованию. Взаимное расположение отверстий муфты и шланга не влияет на величину вытекающего расхода.

Таким образом, разработанная конструкция оборудования к машине "Волжанка" обеспечивает возможность проведения полива по бороздам и на основании проведенных межведомственных испытаний машина с поливными шлейфами рекомендована на госиспытания в 1978 году.

### Л и т е р а т у р а

1. П е т р о в Г.А. "Гидравлика переменной массы", Харьков, 1964.

2. Н и к о л а д з е Г.И. "Пластмассы в водном хозяйстве". М., Россельхозиздат, 1968.

3. Ш е й н к и н Г.Ю., С у р и н В.А., Г о р б у н о в а Е.Н. "Оросительная сеть с закрытыми трубопроводами", М., "Колос", 1965.

4. Д о с п е х о в Б.А. Планирование полевого опыта и статистическая обработка его данных. М., "Колос", 1972.



ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИВНЫХ БОРОЗД С  
ПРИКАТАННЫМ ДНОМ И ЩЕЛЮ В КОНЦЕВОЙ ЧАСТИ

Эффективность бороздкового полива зависит не только от технико-эксплуатационных показателей поливной техники, работающей в тех или иных природно-хозяйственных условиях. Она зависит также от качества подготовки поверхности орошаемого участка и устройства поливных борозд. К настоящему времени наметилась тенденция увеличения расхода поливных машин и распределения его на узком фронте полива с применением длинных борозд или полос.

Применение на поливах длинных поливных борозд порядка 400 – 500 м и более, связано с необходимостью подачи в них поливных струй с повышенным расходом. В зависимости от уклона поверхности, состава почвы, её водопроницаемости и других факторов расход воды в такие борозды может достигать 2 л/с и более. Это предъявляет к поливным бороздам повышенные требования. Во-первых, поливные борозды должны обладать высокой пропускной и транспортирующей способностью, во-вторых, обеспечивать возможность осуществления нормированных поливов, что позволит экономично расходовать оросительную воду, предотвратить ее потери на фильтрацию и поверхностные сбросы. Известно, что водопотребление различных сельскохозяйственных культур тесно связано с физиологическими фазами развития растений. Например, для кукурузы в среднем за вегетационный период расходуется 45–50 м<sup>3</sup>/га в сутки [1]. Следовательно, величина поливной нормы при межполивном периоде 12–15 дней была бы достаточной 800–900 м<sup>3</sup>/га. Однако при поливе по обычным бороздам длиной 400–500 м фактические затраты воды на полив значительно превосходят заданную поливную норму за счет её потерь на глубинные утечки и поверхностные сбросы. Это приводит к снижению производительности, качества поливов и к перерасходу оросительной воды, экономия которой является важнейшей задачей при всех способах полива. Применение на поливах борозд, имеющих параболическое поперечное сечение ложа с прикатанным дном и щелью по дну вместо при-



катки в концевой части позволяет осуществлять поливы на длинных гонах, порядка 400–500 м, с достаточно высоким коэффициентом равномерности распределения поливной нормы по их длине ( $\mu = 0,8-0,9$ ) и практически без потерь оросительной воды на фильтрацию и поверхностные сбросы (до 5%). Расчет экономической эффективности от применения на поливах борозд отмеченного выше устройства был проведен на основе опытных данных, полученных в условиях Волгоградской области (светло-каштановые почвы, уклон поливных участков 0,005). Нарезка таких поливных борозд осуществлялась посредством культиватора КРН-4,2 с установленным на нем дополнительным навесным оборудованием (ФБУ-7). Сравнение проведено по трем вариантам поливов. Это полив по обычным бороздам с расходом поливной струи 1,2 л/с, полив по бороздам с прикатанным дном и щелью в концевой части с расходом поливной струи 1,5 л/с и увеличенным до 1,8 л/с. Увеличение расхода поливной струи с 1,2 до 1,5–1,8 л/с оказалось возможным благодаря большей противоэрозионной устойчивости ложа борозды с прикатанным дном по сравнению с ложем обычной борозды. В расчете было принято, что один поливальщик обслуживает 70 борозд с применением трубочек-сифонов [7]. Стоимость трубочки-сифона равна 0,29 руб. С целью увеличения коэффициента использования времени смены было принято, что поливальщик использует 2 комплекта трубочек-сифонов (140 шт.). Межполивной период был принят равным 15 дням. Нарезка и заравнивание временного оросителя при поливе по обычным бороздам производится агрегатом в составе трактора ДТ-75М-Х и каналокопателя КЗУ-0,3, так как расход воды во временном оросителе не превышает 100 л/с. При поливе по бороздам с прикатанным дном и щелью в концевой части нарезка оросительного канала осуществляется агрегатом в составе трактора Т-4А и каналокопателя МК-12, так как расход воды в оросителе более 100 л/с. Заравнивание оросителя в этом случае производится агрегатом ДТ-75М-Х и КЗУ-0,3 [7].

Нарезка обычных поливных борозд выполняется агрегатом в составе трактора МТЗ-82 и культиватора КРН-4,2. Нарезка поливных борозд с прикатанным дном и щелью по дну в концевой части производится агрегатом МТЗ-82 и КРН-4,2 с дополнительным навесным оборудованием ФБУ-7. Междурядное расстояние равнялось 0,7 м. Исходные параметры машин, применяемых на орошаемом участке приведены в табл. I [3,4,5]. Затраты на заработную плату определя-







лишь для условий Волгоградской области в соответствии с нормами, приведенными в справочнике по оплате труда в совхозах [2]. Оплата труда поливальщика и тракториста, осуществляющих нарезку поливных борозд с прикатанным дном и щелью в концевой части, была принята по 6 разряду (0,94 руб/ч). При нарезке обычных борозд — по 4 разряду (0,66 руб/ч). Исходные величины технико-экономических показателей поливов по всем трем вариантам приведены в табл. 2 и 3. Анализ расчетных данных показывает, что проведение поливов по бороздам с прикатанным дном и щелью в концевой части позволяет повысить их производительность и качество, увеличить сезонную нагрузку на поливальщика, а также снизить затраты труда и экономно расходовать оросительную воду. Так при длине поливных борозд 400 м производительность поливальщика за час сменного времени возросла с 0,22 до 0,394 га/ч при  $q = 1,5$  л/с и до 0,464 га/ч при  $q = 1,8$  л/с, т.е. почти в 2,1 раза.

Соответственно увеличилась площадь, политая за межполивной период. Если при поливе по обычным бороздам она равняется 79 га, то при поливе по бороздам с прикатанным дном и щелью в концевой части — 142 га ( $q = 1,5$  л/с) и 166 га ( $q = 1,8$  л/с). Произошло это благодаря более низким фактическим затратам оросительной воды на полив (860 против 1295 м<sup>3</sup>/га) и лучшему ее распределению (коэффициент равномерности по А.Н. Костякову  $\mu = 0,78-0,9$ ). В результате в среднем сэкономлено 435 м<sup>3</sup> воды с каждого гектара. Если принять стоимость 1 м<sup>3</sup> оросительной воды равной 0,5 коп. (средняя по большинству оросительных систем), то это составит 2,18 руб/га. При поливе по обычным бороздам было затрачено 4,545 чел-ч/га, по бороздам с прикатанным дном и щелью в концевой части в среднем в 2 раза меньше. Приведенные затраты на первом поливе по обычным бороздам получились равными 7,29 руб/га, по бороздам с прикатанным дном и щелью в концевой части при  $q = 1,5$  л/с — 6,82 руб/га, а при расходе поливной струи  $q = 1,8$  л/с — 6,42 руб/га.

Нарезка поливных борозд с прикатанным дном и щелью в концевой части, как отмечалось выше, производилась посредством навесного оборудования — формировщика борозд, устанавливаемого на культиваторе-растениепитателе КРН-4,2 и агрегируемого с трактором МТЗ-82. Средней производительностью агрегата 10 га/смену. При двухсменной работе и среднем межполивном периоде, равном 15–16 дням, средняя годовая загрузка формировщика борозд будет составлять 230 часов или 330 га. Годовой экономический эффект от применения



Таблица 2

Технико-экономические показатели поливов по бороздам с применением трубок-сифонов при длине борозд 400 м

| Показатели                                                             | Варианты поливов по бороздам |                                             |       |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------|-------|
|                                                                        | обычным                      | с прикатанным дном и щелью в концевой части |       |
| Расход поливной струи, л/с                                             | 1,2                          | 1,5                                         | 1,6   |
| Фактические затраты воды на полив, м <sup>3</sup> /га                  | 1295                         | 863                                         | 860   |
| Коэффициент использования времени смены                                | 0,94                         | 0,90                                        | 0,88  |
| Площадь, политая за межполивной период, га                             | 79                           | 142                                         | 166   |
| Производительность поливального аппарата за час сменного времени, га/ч | 0,220                        | 0,394                                       | 0,464 |
| Затраты труда на полив, чел.-ч/га                                      | 4,545                        | 2,538                                       | 2,155 |
| Удельные капиталовложения, руб./га                                     | 3,32                         | 5,00                                        | 4,91  |
| Эксплуатационные затраты, руб./га                                      | 6,79                         | 6,07                                        | 5,69  |
| Приведенные затраты, руб./га                                           | 7,29                         | 6,82                                        | 6,42  |

на поливах борозд, нарезаемых посредством ФБУ-7, может быть определен по формуле [6]

$$\mathcal{E} = [(Z_1 - Z_2) + C_B] \cdot A_T,$$

где  $\mathcal{E}$  - годовой экономический эффект, руб.;

$Z_1$  и  $Z_2$  - приведенные затраты на полив, руб./га;

$C_B$  - удельная стоимость сэкономленной оросительной воды на поливе, руб./га;

$A_T$  - годовой объем работы формировщика борозд, га.

Отсюда годовой экономический эффект с учетом стоимости сэкономленной воды будет равен:

$$\text{при } q = 0,0015 \text{ м}^3/\text{с} \quad \mathcal{E} = [(7,29 - 6,82) + 2,18] \cdot 330 = 875 \text{ руб.}$$

$$\text{при } q = 0,0018 \text{ м}^3/\text{с} \quad \mathcal{E} = [(7,29 - 6,42) + 2,18] \cdot 330 = 1007 \text{ руб.}$$

Увеличение длины борозд до 500 м, как показали расчеты, при тех же расходах поливных струй позволяет увеличить рассмотренные выше показатели поливов. Так производительность поливального аппарата за час сменного времени возрастает с 0,195 до 0,383 га/ч ( $q = 1,5$  л/с).



Таблица 3

Технико-экономические показатели поливов при  
длине борозд 500 м

| Показатели                                                       | Варианты поливов по бо-<br>роздам |                                                   |       |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------|-------|
|                                                                  | обычным                           | с прикатанным дном<br>и щелью в концевой<br>части |       |
| Расход поливной струи, л/с                                       | 1,2                               | 1,5                                               | 1,8   |
| Фактические затраты воды на полив,<br>м <sup>3</sup> /га         | 1487                              | 885                                               | 848   |
| Коэффициент использования времени<br>омены                       | 0,96                              | 0,92                                              | 0,9   |
| Площадь, политая за межполивной<br>период, га                    | 70                                | 141                                               | 173   |
| Производительность поливальщика за<br>час сменного времени, га/ч | 0,195                             | 0,383                                             | 0,481 |
| Затраты труда на полив, чел.-ч/га                                | 5,128                             | 2,611                                             | 2,079 |
| Удельные капиталовложения, руб./га                               | 3,35                              | 4,98                                              | 4,92  |
| Эксплуатационные затраты, руб./га                                | 7,37                              | 6,11                                              | 5,60  |
| Приведенные затраты, руб./га                                     | 7,87                              | 6,86                                              | 6,34  |

и до 0,481 га/ч ( $q = 1,8$  л/с), т.е. в 2,5 раза. Соответственно увеличилась и площадь, политая за межполивной период. При поливе по обычным бороздам она составила 70 га, а при поливе по бороздам с прикатанным дном и щелью в концевой части, соответственно 141 и 173 га. Почти в 2,5 раза снизились затраты труда. В среднем сэкономлено 618 м<sup>3</sup> оросительной воды с каждого гектара, что дало экономию 3,09 руб/га. Возрос экономический эффект. Так при расходе поливной струи  $q = 1,5$  л/с он составил:

$$\mathcal{E} = [(7,87 - 6,86) + 3,09] \cdot 330 = 1353 \text{ руб.}$$

$$\text{при } q = 1,8 \text{ л/с } \mathcal{E} = [(7,87 - 6,34) + 3,09] \cdot 330 = 1525 \text{ руб.}$$

Механизированная подача оросительной воды непосредственно в поливные борозды, например, посредством ТПУ-300 (разработанном во ИИИМИТП, обслуживает 1 чел.) при расходе поливной машины  $Q = 200$  л/с, длине поливного трубопровода 75 м (108 водовыпусков) и длине поливных борозд с прикатанным дном и щелью в концевой части, равной 400 м, повышает производительность поливальщика за час сменного времени в 3,2 раза, при длине борозд 500 м в 3,5 раза по сравнению с поливом трубками-сифонами с использованием 2-х комплектов. Затраты труда снижаются в среднем в 3,4 раза.



Проведенные расчеты показывают, что применение на поливе борозд, имеющих параболическое поперечное сечение ложа с прикатанным дном и щелью по дну, вместо прикатки в концевой части позволяет повысить в 2,0 – 2,5 раза производительность полива, улучшить его качество, экономично расходовать оросительную воду и получить годовой экономический эффект до 1000–1500 рублей в расчете на один формировщик борозд.

## Л и т е р а т у р а

1. Багров И.Н. Режим орошения сельскохозяйственных культур (применительно к условиям Нижнего Поволжья). Волгоград, 1974.

2. Богдан-Блакитный Р.М., Протасов В.П., Цебрикова Л.А. Справочник по оплате труда в совхозах. М., "Колос", 1975.

3. Каталог тракторов, сельскохозяйственных машин, транспортных средств, машин и оборудования для механизации животноводческих ферм. ЦНИИТЭИ, 1977.

4. Муравьев А.С., Олейник Г.Г. Нормативный справочник по экономике и организации сельскохозяйственного производства. М., "Колос", 1972.

5. Нормативы амортизационных отчислений по основным фондам народного хозяйства СССР и положение о порядке планирования начисления и использования амортизационных отчислений в народном хозяйстве. М., "Экономика", 1974.

6. Определение эффективности новой техники. Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений, утвержденная 14 февраля 1977.

7. Шулга Н.К., Дукмасов А.И. Учебная книга поливальщика. 3 изд., М., "Колос", 1976.



ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА МЕХАНИЗИРОВАННОГО ПОЛИВА  
ПОВЕРХНОСТНЫМ СПОСОБОМ В ДВИЖЕНИИ

Известно, что многообразие почвенно-рельефных и климатических условий требует при организации орошаемого участка выявления экономически наиболее эффективного способа и технических средств полива в каждом конкретном случае. Примером такого обоснования может служить выполненный в Волжнийгитме прогноз по сравнительной оценке различной поливной техники в Поволжье [1]. Анализ технико-экономических и эксплуатационных показателей основных типов средств поверхностного полива показал большую перспективность применения поливных машин, осуществляющих технологию поверхностного полива в движении (условно ПМРД).

Принципиальным отличием технологии поверхностного полива в движении является распределение поливной воды по участку не самотечно, как при поливах по бороздам или напуском по полосам, а движущимся над участком водоводом через специальные шланговые водовыпуски. Эта особенность обеспечивает качественный поверхностный полив на безуклонных площадях, с малым уклоном до 0,0005 или с переменным, а также с почвами повышенной и сильной водопроницаемости. При этом увеличивается необходимость тщательной планировки, наблюдения за распределением воды по длине борозд (полос), обеспечивается возможность дозирования величины поливной нормы при сохранении преимуществ поверхностного полива (минимальные потери воды на испарение), независимость качества полива от ветрового режима, отсутствие заземления воздуха в процессе увлажнения почвы.

Опыты на делянках с самотечным прерывистым поливом, имитирующим поверхностный полив в движении и на делянках поверхностного полива в движении экспериментальной установкой, а также наблюдения за процессом полива в движении переоборудованными в поливной вариант ДДА-100М и ДДА-100МА (производственные данные по элементам техники полива в движении) позволяют характеризовать возможности технологии поверхностного полива в движении:



1. Основной технологической схемой поверхностного полива в движении является полив волочающимися планговыми водовыпусками при многократных проходах машины с забором воды из временного орошителя (по аналогии с работой ДДА-100МА). Такая схема соответствует агротехнике возделывания зерновых культур, обработка почвы под которыми на всем протяжении вегетации исключается. Другие варианты технологического использования ПМРД (позиционная работа, сочетание позиционного полива с поливом в движении и др.) могут применяться только при благоприятных почвенно-рельефных условиях, для чего требуется предварительно уточнить элементы техники полива (удельный расход и длину добега).

2. Трудности технического регулирования подачи воды при поливе в движении в соответствии с изменением скорости впитывания почвы с паемого участка (по мере увеличения числа проходов) вынуждают принимать рабочий расход машины и скорость ее перемещения в соответствии с установившейся скоростью впитывания (для почв темно-каштановых установившаяся скорость впитывания порядка 1,1 мм/мин). В этом случае при первых проходах происходит недоиспользование впитывающей способности почвы, но исключается субъективная оценка полива машинистом-поливальщиком и обеспечивается качественный полив даже при нормах 700-900 м<sup>3</sup>/га.

3. Экспериментальные величины поливной нормы  $m_0$ , выдаваемой машиной за один проход, позволяют наметить для темно-каштановых почв приближенную границу максимальных значений  $m_0$  в зависимости от уклона, при которых полив в движении отвечает условиям равномерного увлажнения почвы (рис.1). Эти величины  $m_0$  для уклонов 0,001-0,006 соответствуют техническим возможностям поливных машин на базе ДДА-100М и ДДА-100МА (по расходу и скорости передвижения агрегатов в загоне).

4. Предельные значения поливной нормы  $m_0$  обеспечиваются ограниченным числом сочетаний расхода через водовыпуски и скорости передвижения машины, причем максимальное значение расхода в первом приближении можно принять равным 1,1 л/с на 1 м ширины захвата, что достигается техническими возможностями ДДА-100 и ДДА-100МА.

5. Полив по бьефам при челночной схеме движения поливной машины не вызывает переувлажнений в местах смены бьефов и может быть рекомендован производству.

6. Результаты почвенных исследований по оценке полива в движении на темно-каштановых почвах показали [3], что уплотнение почвы при поливе планговыми водовыпусками с гасителями незначительно, а уплот-



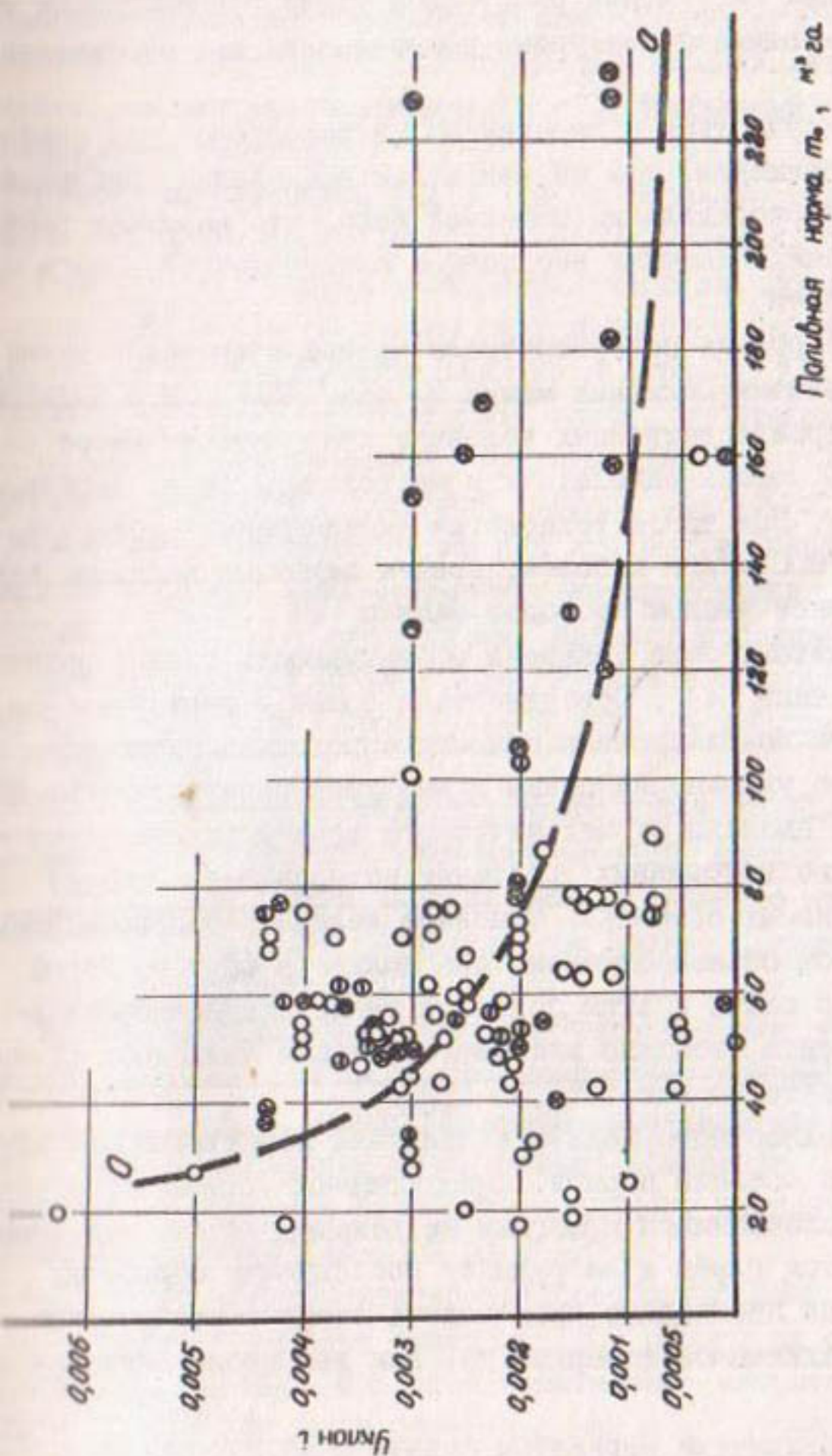


Рис. I. Величина поливной нормы, выданной за один проход машины, для темно-каштановых средне- и тяжелосуглинистых почв при длине растекания 20 м: ⊗ — полив не рекомендуется; ⊙ — полив возможен; ○ — полив рекомендуется



ненный слой не выходит за пределы пахотного горизонта.

7. По характеру увлажнения почвы полив в движении близок к самотечному, поэтому при назначении расстояния между водовыпусками можно пользоваться имеющимися контурами промачивания для соответствующих почв.

8. На орошаемых участках с выраженным микрорельефом при поверхностном поливе в движении, так же как и при дождевании, наблюдается поперечное перераспределение поливной воды, что вызывает пестроту урожая. На таких площадях необходимы планировочные работы или нарезка поливной сети.

Агротехническая оценка поверхностного полива в движении экспериментальными образцами поливных машин на базе ДДА-100М и ДДА-100М положительная. В производственных условиях при скорости ветра до 11 м/с проводились поливы однолетних и многолетних трав, зерновых, картофеля, овощных. При такой технологии обеспечивался бесстоковый полив нормами 900 м<sup>3</sup>/га и более, причем величина поливной нормы задавалась заранее числом проходов машины [2].

Специальными опытами была доказана эффективность полива зерновых культур в движении [4]. Поверхностный полив в движении волочающимися шланговыми водовыпусками при многопроходной схеме обеспечивает качественное увлажнение почвы и вызывает незначительные потери урожая яровой пшеницы от механического воздействия шлангов на растения (количество неубранных растений не превышает 0,3% от общего числа продуктивных стеблей). Основное количество поврежденных растений в указанном объеме отмечено при поливе в фазу восковой спелости пшеницы. В связи с этим поливы в такие поздние сроки рекомендуется проводить свободно висящими шлангами (выходное сечение шлангов приподнято на высоту 0,05-0,2 м).

Применение поверхностного полива в движении эффективно при влагозарядке по зяби в осенний период. Предпосевной полив на глыбистых почвах волочающимися шлангами не рекомендуется, т.к. после полива сохраняются глыбы и затрудняют последующую обработку почвы. В этом случае необходимо производить полив с равномерным смачиванием всей поливаемой поверхности, как это происходит при дождевании.

Наиболее полно различным вариантам подачи воды при поливе удовлетворяет универсальный шланговый водовыпуск с подвижным чехлом [5] и системой перевода шлангов в различные режимы работы [6].



Такой шланг обеспечивает полив сосредоточенными струями при вращении шлангов по земле (рис.2) и расположении выходящего сечения над землей (чехол приподнят). Энергия струи передается специальным разбрызгивателем на конце неподвижной части шланга. Смачивание поверхности при влагозарядковых поливах (перед пахотой и зяби перед боронованием) производится открытыми раскатыми-разбрызгивателями (рис.3, подвижный чехол шланга поднят в верхнее положение).

Ранее было показано [2], что оптимальные технико-экономические и эксплуатационные показатели (МР) зависят от величины оросительных норм и уклонов поливаемых участков. Поэтому машины этого типа должны иметь несколько модификаций по рабочему расходу и ширине захвата. Для оросительных норм порядка  $3000 \text{ м}^3/\text{га}$  и уклонов  $0,001-0,006$  базой для поливных машин, работающих в движении, могут служить дождевальные агрегаты ДДА-100М и ДДА-100МА. Переоборудование ДДА-100М в поливной вариант предусматривает: удлинение оторочия верхнего пояса фермы над вторыми от центра панелями, врезку двух патрубков в узел соединения напорной линии, идущей от насоса, и распределительного круга фермы, навеску дополнительного оборудования универсальных шланговых водовыпусков и тросовой системы управления шлангами. Схема оросительной сети на участке аналогична схеме под ДДА-100МА.

Технические показатели поливного варианта ДДА-100М и ДДА-100МА сохраняются в пределах значений базовой машины (табл.1).

Увеличивается лишь рабочий расход примерно на 10-12%, и снижаются потери воды при поверхностном поливе в движении до 3-5% (вместо 10-15 при дождевании).

Коэффициент использования рабочего времени  $K_{ирв}$  поливного варианта ДДА-100М при многопроходной схеме полива равен  $K_{ирв}$  при дождевании. Однако увеличение рабочего расхода и снижение потерь воды на испарение обеспечивают повышение сменной производительности и сезонной выработки поливного варианта по сравнению с базовым агрегатом ДДА-100М на 15-20%.

Экономическая эффективность переоборудования ДДА-100М в поливной вариант составляет примерно 1800 рублей на одну машину (по приведенным затратам). При этом капитальные затраты составляют 220 руб/га с учетом приобретения машин и орудий для выполнения подготовительных работ (нарезка поливной сети, планировка и т.д.).



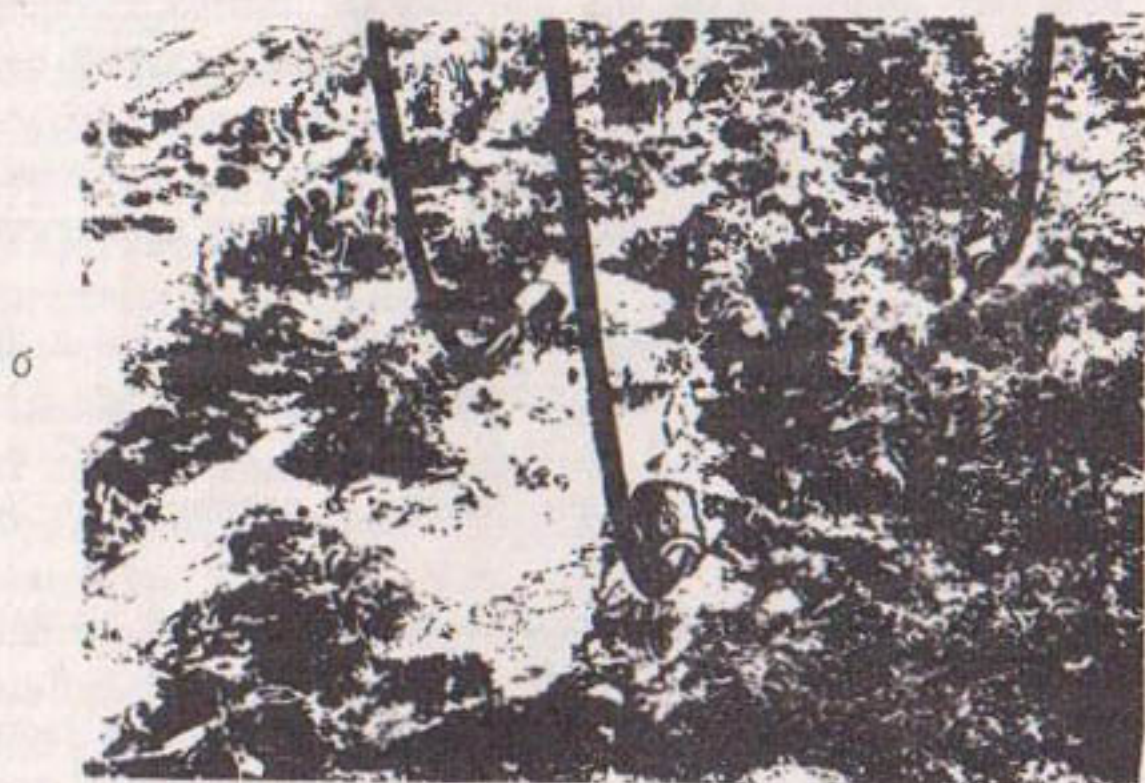
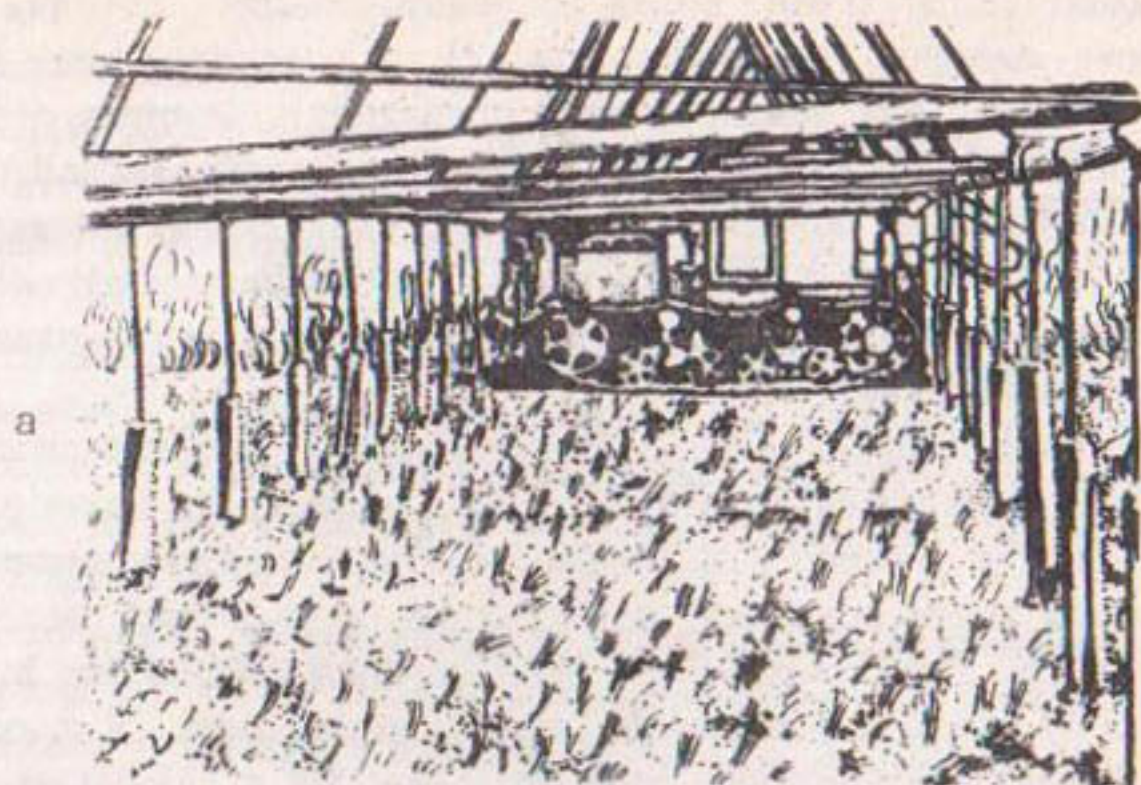


Рис.2. а) Поливная машина, работающая в движении (на базе ДДА-100М), с навешенными универсальными шланговыми водовыпусками (чехол в верхнем положении)  
 б) Полив в движении волочащимися шлангами (момент смены направления движения машины)



Таблица I

Техническая характеристика поливных машин, работающих  
в движении (по результатам предварительных испытаний  
ВолжНИИГим)

| Наименование показателей                                                   | Поливной вариант на базе |             |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------|
|                                                                            | ДДА-100М                 | ДДА-100МА   |
| Расход машины, л/с                                                         | 106                      | 145         |
| Рабочие скорости машины, м/ч:                                              |                          |             |
| при движении вперед                                                        | 526                      | 701-795-882 |
| назад                                                                      | 639                      | 606         |
| Усредненная транспортная скорость, м/ч                                     | 1780                     | 1850        |
| Поливная норма за один проход машины, м <sup>3</sup> /га                   |                          |             |
| при движении вперед                                                        | 63                       | 52-57-64    |
| назад                                                                      | 52                       | 67          |
| Производительность машины при поливной норме 300 м <sup>3</sup> /га, га/ч: |                          |             |
| за час чистого времени                                                     | 1,29                     | 1,74        |
| технического                                                               | 1,08                     | 1,61        |
| технологического                                                           | 1,08                     | 1,56        |
| сменного                                                                   | 1,52                     | 1,45        |
| Количество шланговых водовыпусков, шт.                                     | 149                      | 149         |
| Расстояние между водовыпусками, м                                          | 0,7                      | 0,7         |
| Масса шланговых водовыпусков и системы управления, кг                      | 100                      | 110         |
| Габаритные размеры, м                                                      |                          |             |
| длина                                                                      | 5,5                      | 6,28        |
| ширина                                                                     | 110,3                    | 110,3       |
| высота                                                                     | 4,6                      | 4,83        |
| Обслуживающий персонал, чел:                                               |                          |             |
| при работе с подвижной перемычкой                                          | 1                        | 2           |
| переносной                                                                 | 2                        | 2           |



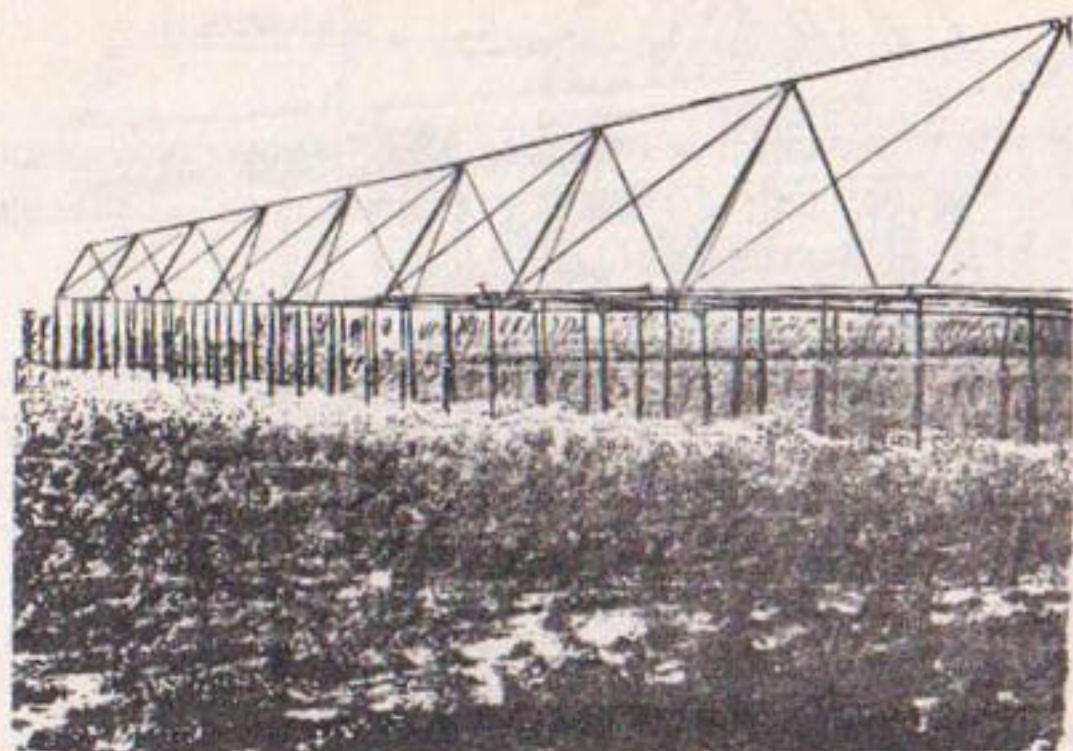


Рис.3. Смачивание поверхности разбрызгиванием

Таким образом, экспериментальная проверка технологии поверхностного полива в движении и средств для ее осуществления на базе ДДА-100М и ДДА-100МА подтверждает перспективность поливных машин, работающих в движении, и необходимость их ускоренной разработки.

### Л и т е р а т у р а

1. Т а р а с о в Л. И. Перспективность поверхностного полива в Поволжье. — "Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства", 1976, №6.

2. Т а р а с о в Л. И., К н я з е в А. Н. Поверхностный полив консольными машинами, работающими в движении. Экспресс-информация Минводхоза СССР "Орошение и оросительные системы", сер. I, вып. 5, М., 1976.

3. П р я х и н а В. М. Исследование влияния различных способов полива на изменение физических свойств темно-каштановых почв Поволжья. Труды СХИ, т. 13, Саратов, 1974.



4. Тарасов Л.И., Божкова А.Я. Агрооценка поверхностного полива в движении. - Сб. научных трудов ВНИИГиМ "Совершенствование мелиоративных систем, способов и техники полива орошаемых культур в Поволжье", вып. I, М., 1977.

5. Луконин В.И., Горбачев А.С., Тарасов Л.И. Универсальный шланговый водовыпуск, заявка 2319641/15 положительное решение от 23.XI.76 г.

6. Горбачев А.С., Луконин В.И., Тарасов Л.И. Система перевода шлангов в различные режимы работы, заявка 2325289/15, положительное решение от 29.9.1976 г.



К ВОПРОСУ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ВОДОУДЕРЖИВАЮЩИХ  
ВАЛИКОВ ДЛЯ ПОЛИВА УЗКОРЯДНЫХ КУЛЬТУР

Одним из наиболее перспективных и высокопроизводительных способов полива зерновых и кормовых культур узкорядного посева на юге Украины, Северном Кавказе и в Поволжье является полив по полосам.

При поливе по полосам на орошаемом поле в направлении основного уклона формируются водоудерживающие валики.

Назначение валиков — удерживать при поливе движущийся поток воды на полосе.

Основные требования, предъявляемые к валикам, по данным Б.Г. Штепы [3] следующие:

- валики должны иметь достаточную высоту, препятствующую переливу через них воды;
- сечение должно быть минимальным и обеспечивать надежность валика в эксплуатации, не допускать прорывов воды из одной полосы в другую при многократных поливах в период вегетации;
- размеры валиков не должны препятствовать посеву и уборке;
- физико-механическое состояние и влажность почвы валика должны обеспечивать всхожесть посевов;
- форма поперечного сечения валиков должна обеспечивать технологичность их нарезки, посева и уборки урожая.

Валики могут устраиваться постоянными и временными. Временные валики нарезаются только на период проведения поливов, а затем перепахиваются и заравниваются. Постоянные валики формируют из привозной почвы и используют 2–3 года.

Параметры водоудерживающих валиков зависят от ширины и поперечного уклона полосы; микрорельефа поливного участка; физико-механического состава почвы; поливной нормы и расхода воды.

В настоящее время при нарезке параметры валиков зачастую не увязаны с приведенными выше факторами. В каждом конкретном случае исходя из природно-хозяйственных условий необходимо выбрать оптимальные параметры валиков, отвечающие агротехническим требованиям.



Правильный выбор оптимальных соотношений параметров валиков повысит производительность и качество полива, рациональное использование орудий для нарезки поливных полос. Для определения параметров валика в зависимости от природно-хозяйственных условий рассмотрим схему поперечного сечения полосы с водоудерживающими валиками (сечение валика условно принято в виде треугольника).

На рис. I схематично представлено сечение поливной полосы. Основными параметрами полосы и валиков являются:  $B$  – ширина полосы, м;  $i$  – поперечный уклон полосы;  $c$  – минимальная высота слоя воды на полосе у основания валика, м;  $b_1$  – ширина валика, м;  $h$  – высота валика, м;  $\mu$  – угол откоса валика, град.

Угол откоса валика должен быть равен углу естественного откоса почвы или меньше его. Для суглинка угол естественного откоса почвы находится в пределах  $40^\circ$  [4].

Высота  $h$  водоудерживающего валика зависит от многих факторов и определяется из выражения

$$h = B \cdot i + t + a + c, \quad (1)$$

где  $t$  – величина усадки валика, м;

$a$  – оптимальный запас валика по высоте, м.

Величина усадки  $t$  валика составляет  $1/2 h$  [2;5], а оптимальный запас по высоте  $a$  –  $1/3 h$  (1).

Минимально допустимый слой воды на полосе ( $c$ ), обеспечивающий промачивание почвы составляет 0,02 м [3].

Первый член формулы  $B \cdot i$  учитывает микрорельеф поливного участка, второй ( $t$ ) – физико-механический состав почвы, четвертый  $c$  – поливную норму и расход воды.

Поставим эти значения в формулу (1) и после преобразования получим

$$h = 6 B \cdot i + 0,12. \quad (2)$$

Выразив высоту валика  $h$  через его ширину  $b_1$  и угол откоса  $\mu$ , получим

$$h = \frac{b_1}{2 \cdot \operatorname{ctg} \mu}; \quad (3)$$

Подставив выражение (3) в формулу (2) получим

$$b_1 = 12 \cdot \operatorname{ctg} \mu \cdot (B \cdot i + 0,02); \quad (4)$$



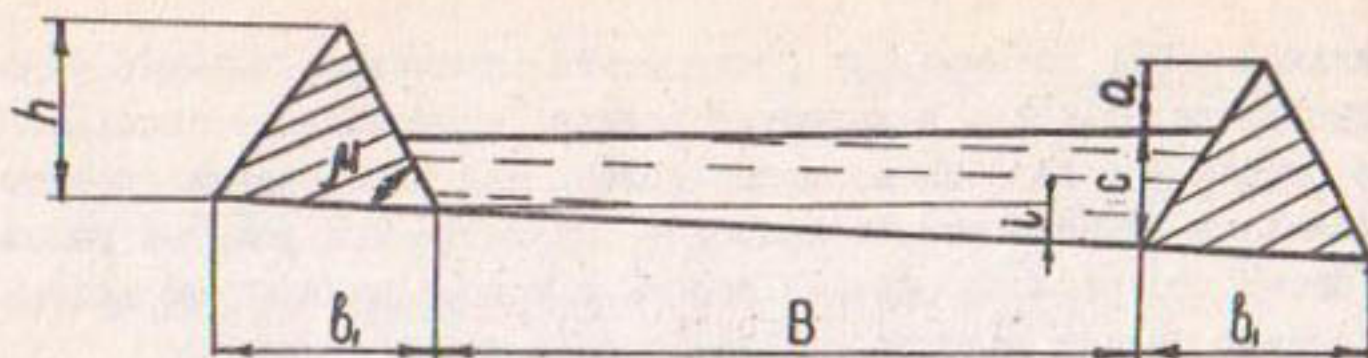


Рис. 1. Поперечный профиль полосы:  $h$  – высота валика;  $b_1$  – ширина валика;  $\mu$  – угол откоса;  $B$  – ширина полосы;  $i$  – поперечный уклон;  $a$  – запас валика по высоте;  $c$  – минимальный слой воды на полосе

Параметры валиков с учетом природно-хозяйственных условий можно определить, пользуясь номограммой (рис. 2).

Зная размеры поливных полос и поперечный уклон для каждого конкретного поливного участка, выбранного с учетом природно-хозяйственных условий (почвы, рельефа, севооборота, культуры, режима орошения и т.д.), можно подобрать оптимальные размеры валиков, обеспечивающих полив.

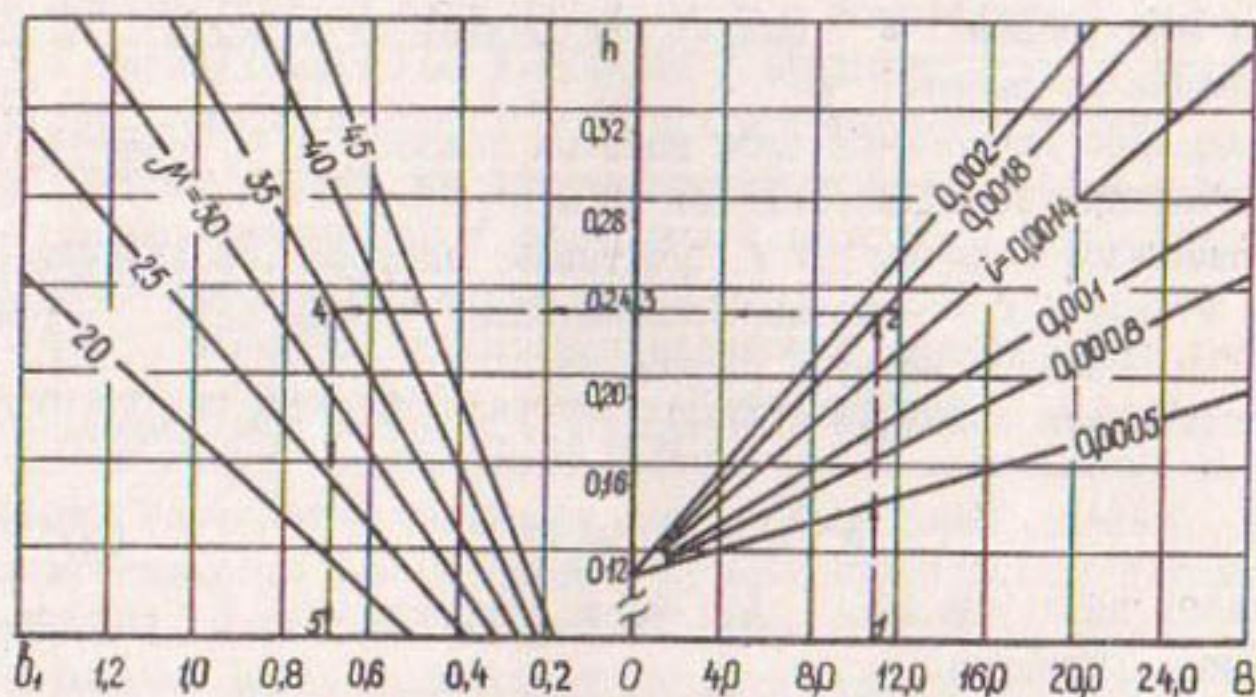


Рис. 2. Номограмма для выбора параметров валиков с учетом природно-хозяйственных условий:  $b_1$  – ширина валика, м;  $h$  – высота валика, м;  $\mu$  – угол откоса, град.;  $i$  – поперечный уклон;  $B$  – ширина полосы, м



На оси абсцисс (справа от нулевой точки координат) от заданного размера ширины полосы (точка 1) восстанавливается перпендикуляр до пересечения с семейством наклонных линий, характеризующих поперечный уклон полосы (точка 2), и из полученной точки проводится влево горизонтальная линия до пересечения с осью ординат (точка 3), характеризующей высоту валиков. Из точки 3 линию продолжают до пересечения с семейством наклонных прямых, характеризующих угол откоса валика (точка 4). Перпендикуляр, опущенный на ось абсцисс (слева от точки оси координат), укажет на оптимальную ширину валика (точка 5).

Полученные аналитические выражения и построенная по ним номограмма позволят с достаточной для практических целей точностью подобрать оптимальные параметры валиков с учетом природно-хозяйственных условий, отвечающих агротехническим требованиям.

### Л и т е р а т у р а

1. К о с т я к о в А.Н. Основы мелиорации. М., Сельхозгиз, 1960.
2. К и м Л.А. Исследование и совершенствование приемов подготовки площадей к поверхностным поливам зерновых колосовых культур по узким полосам. Автореферат. Волгоград, 1971.
3. Ш т е п а Б.Г. Система орошения зерновых и кормовых культур. Ростов-на-Дону, Кизипроводхоз, 1970.
4. А л е к с е е в а Т.В. и др. Дорожные машины. Часть I. М., "Машиностроение", 1972.
5. К а л а ш н и к о в А.А. и др. Орудие для нарезки поливных полос. - "Техника в сельском хозяйстве". 1977, № I.



К. т. н. Пищевков Б. М.,  
инж. Карпов И. П.,  
инж. Буздин Ю. И.  
(ВНИИМитП)

## УСЛОВИЯ ПРОДОЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛАНИРОВЩИКА ПОЛОЗКОВОГО ТИПА

Одно из основных условий возделывания сельскохозяйственных культур при поверхностном орошении является планировка поливного участка. При этом особую сложность представляет окончательная доводочная планировка, которую невозможно осуществить без применения специальных орудий.

Для этих целей применяются колесные прицепные длиннбазовые планировщики, выпускаемые отечественной промышленностью и за рубежом.

Однако эти орудия имеют ряд существенных недостатков: низкую маневренность, повышенную металлоёмкость, высокую трудоёмкость изготовления, малую производительность, которые приводят к удорожанию работ по выравниванию орошаемых участков.

Для устранения перечисленных недостатков во ВНИИМитП был разработан и создан навесной планировщик полозкового типа [1].

Работа планировщика производится при плавающем положении рычага гидравлической навески трактора, поэтому вертикальные колебания трактора практически не передаются на раму планировщика.

Принцип работы полозкового планировщика заключается в следующем. При движении по вспаханному фону передняя часть (нос) полозов прорезает встречающиеся возвышенные неровности, а также дополнительно погружается в них вследствие мгновенного перераспределения удельного давления до тех пор, пока вес планировщика не уравновесится силой реакции почво-грунта, а рабочий орган начнет срезать неровности, которые находятся внутри продольной базы планировочного орудия, транспортировать (волочить) грунт и отсыпать в понижения, выравнивая поверхность.

Для более эффективного прорезания планировщиком неровностей необходимо, чтобы он двигался без дифферента на кормовую часть полозов. Кроме того, важное значение имеет тот факт, что при возрастании дифферента планировщика, а следовательно и угла наклона полозов к горизонту, возрастает трение подошвы полоза о



грунт, так как

$$W_{rp} = P \cdot \operatorname{tg} (\rho + \alpha),$$

где  $P$  — нагрузка на полз, кг;

$\mu = \operatorname{tg} \rho$  — коэффициент трения скольжения;

$\alpha$  — угол наклона опорной плоскости полза к горизонту.

Дополнительно при дифференте планировщика происходит деформирование грунта кормовой частью ползов. Все это приводит к увеличению тягового сопротивления планировщика.

Для движения планировщика без дифферента необходимо, чтобы он обладал статической устойчивостью. Под статической устойчивостью подвижной системы понимается такое состояние, когда внешние и инерционные силы и моменты, действующие на систему, статически уравниваются. Если машина статически устойчива, то при ее движении возможно лишь незаметное отклонение от заданного закона движения [3].

Для определения условий статической устойчивости планировщика в продольной плоскости, необходимо установить все действующие на него в этой плоскости силы, их направление и величину.

На планировщик при работе действуют следующие силы (рис. I).

$G$  — вес планировщика;

$N$  — нормальная сила реакции грунта;

$W_{rp}$  — сила трения ползов о грунт;

$W$  — суммарная горизонтальная, составляющая силы сопротивления резанию и перемещению грунта, находящегося в ковше планировщика;

$W_{rp}$  — вертикальная составляющая силы реакции резанию грунта;

$R_z$  — горизонтальная составляющая силы сопротивления деформации грунта носком полза;

$R_v$  — вертикальная составляющая силы сопротивления деформации грунта носком полза;

$Q$  — вес грунта в ковше;

$F_t$  — сила тяги трактора.

Силы инерции равны нулю, т.к. работа планировщика рассматривается при установившемся режиме.

Для написания условий статической устойчивости планировщика направим ось  $y$  по поверхности пути, а ось  $x$  — параллельно нормальной силе реакции грунта  $N$ .



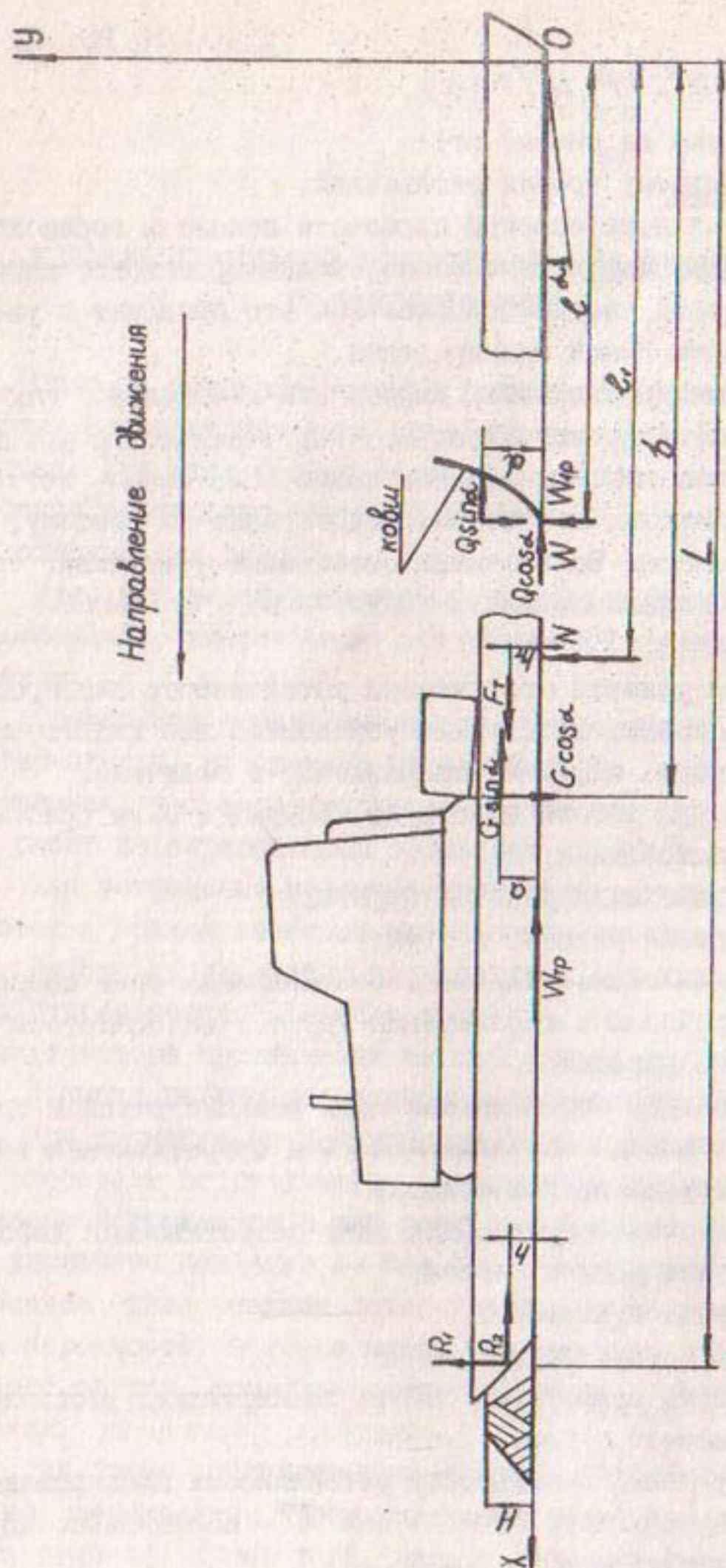


Рис. 1. Схема действия сил на планировщик полозкового типа



Рассмотрим случай, когда планировщик работает на поле, имеющем угол подъема  $\alpha$ .

В этом случае вес планировщика  $G$  и вес грунта в ковше  $Q$  разложим на две составляющие: параллельную пути  $Q \sin \alpha$  и  $G \sin \alpha$  и перпендикулярную  $Q \cos \alpha$  и  $G \cos \alpha$ . Очевидно, составляющие силы  $Q \sin \alpha$  и  $G \sin \alpha$  оказывают дополнительное сопротивление движению планировщика на подъемах. Условие устойчивости планировщика относительно крайней точки опорной поверхности позволит в дальнейшем определить рациональное положение его центра тяжести.

Для статической устойчивости планировщика в продольной плоскости необходимо, чтобы были соблюдены условия:

$$\sum x = 0; F_T - R_2 - Q \sin \alpha - G \sin \alpha - W - W_{TP} = 0, \quad (1)$$

$$\sum y = 0; N + R_1 + W_{TP} - G \cos \alpha - Q \cos \alpha = 0, \quad (2)$$

$$\sum M = G a \cdot \sin \alpha + R_1 L + R_2 h + N l_1 + W_{TP} \cdot l + Q d \sin \alpha - G b \cos \alpha - Q \cdot l \cos \alpha - F_T \cdot h_T = 0. \quad (3)$$

Для более эффективного прорезания планировщиком неровностей (а значит улучшения его планирующей способности), уменьшения потерь на передвижение, увеличения его устойчивости целесообразно равномерное распределение давлений по опорной поверхности. Для получения равномерного распределения давления по длине опорной поверхности планировщика необходимо, чтобы центр динамического давления планировщика совпадал с геометрическим центром опорной поверхности. Под центром динамического давления планировщика понимается точка приложения силы реакции почвы  $N$ . Однако, при работе планировщика создается неравномерность распределения удельных давлений на почву, т.к. под влиянием внешних сил происходит перемещение центра динамического давления относительно геометрического центра опорной поверхности. Статическая устойчивость планировщика в продольной плоскости относительно точки  $O$  характеризует момент  $N l_1$ , который противодействует дифференту планировщика и является стабилизирующим. Стабилизирующий момент характеризует плечо  $l_1$ , оно определяет положение динамического центра давления. Из уравнений (2) и (3) получаем

$$l_1 = \frac{G \cdot h \cos \alpha + Q l \cdot \cos \alpha + F_T h_T - G \cdot a \cdot \sin \alpha - R_1 L - R_2 h - W_{TP} l - Q d \sin \alpha}{G \cos \alpha + Q \cos \alpha - R_1 - W_{TP}} \quad (4)$$



Статическая устойчивость планировщика с уменьшением  $l$ , снижается. Анализируя уравнение (4) можно заметить, что увеличение угла подъема пути и рост высоты неровности  $H$  (следовательно и  $h$ ) вызывает смещение центра давления и уменьшает стабилизирующий момент.

Сила сопротивления деформации возвышенной неровности носком полоза создает момент  $M_R = M_{R_1} + M_{R_2} = R_1 L + R_2 h$ , который уменьшает статическую устойчивость планировщика. Для того, чтобы уменьшить силу сопротивления деформации неровности, а следовательно, снизить тяговое сопротивление полозов, необходимо применять не плоский круговой носок, продольные профили которого выполнены по дуге окружности определенного радиуса, а криволинейный трехгранный с острой режущей передней гранью [2]. Уменьшение силы сопротивления деформации неровности, как это видно из уравнения (4), повысит статическую устойчивость планировщика.

В большинстве случаев планировщики применяются на безуклонных участках или имеющих малый уклон, лишь в горных условиях достигающий  $10-12^\circ$ .

При движении планировщика по горизонтальному участку плечо стабилизирующего момента равно

$$l_s = \frac{G \cdot b + Ql + F_T h_T - R_1 L - R_2 h - W_{1p} \cdot l}{G + Q - R_1 - W_{1p}}. \quad (5)$$

Для равномерного давления полозов на грунт величина  $l_s$  должна быть равна  $\frac{1}{2}L$ , тогда

$$b = \frac{1}{2}L + \frac{(L - 2l)(Q - W_{1p}) + R_1 L + 2R_2 h - 2F_T \cdot h_T}{2G}. \quad (6)$$

Первый член правой части уравнения (6) показывает рациональное положение динамического центра давления по длине опорной поверхности планировщика. Второй член характеризует величину необходимого смещения центра тяжести планировщика относительно середины его опорной поверхности для получения равномерного давления при работе планировщика. Чтобы найти величину смещения, необходимо знать значение величин, входящих в уравнение (6).

Величины  $L$ ,  $l$ ,  $G$ ,  $h_T$  — конструктивные.

Зная высоту деформируемой неровности  $H$ , можно приближенно определить величину  $h$ .

Определение сил  $Q$  и  $W_{1p}$  затруднений не представляет, т.к. формулы, по которым эти силы вычисляются, общеизвестны.



Трудность представляет вычисление силы деформации грунта носом полоза, т. е. в литературе этот вопрос освещен недостаточно.

На наш взгляд весьма приближенно эту силу можно определить методами статики сыпучих сред, как силу отпора грунта при его боковом сжатии [2].

Сила тяги  $F_T$  определяется из уравнения (1). Величины, входящие в это уравнение, вычисляются также по общеизвестным формулам.

Таким образом, увеличение уклона планируемого участка, высоты неровности и силы сопротивления деформации грунта носками полозов уменьшает статическую устойчивость планировщика.

Для увеличения статической устойчивости планировщика при его работе необходимо применять у полозов криволинейные трехгранные носки с острой режущей передней гранью.

Формула (6) позволяет с достаточной точностью определить оптимальное местоположение центра тяжести полозкового планировщика. Это дает возможность не только увеличить статическую устойчивость планировщика во время работы, но и снизить его тяговое сопротивление.

### Л и т е р а т у р а

1. П и щ е к о в Б.М., Б у з д и н Ю.И. Усовершенствованный, длиннобазовый планировщик. - Сб.: "Новое в технике и технологии полива". Научные труды ВНИИМТ, т.9, Коломна, 1976.

2. Г у р а Г.С. Сопротивление скольжению лыжной опоры. - Сб.: "Земледельческая механика". Машиностроение, 1969.

3. Т и м о ф е е в А.И. Элементы механики мобильных с.-х. машин. М., 1976.



## К РАСЧЕТУ ПОЛИВНОГО РЕЖИМА МНОГОЛЕТНИХ НАСАЖДЕНИЙ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ

Локальный характер увлажнения почвы при капельном орошении предопределяет некоторое изменение сложившихся понятий об элементах поливного режима, определяющих основные параметры оросительных систем при данном способе орошения.

Размер поливной нормы зависит от максимального объема воды, аккумулирующегося в очаге или полосе увлажнения и полезно используемого культурой. Под продолжительностью полива подразумевается время подачи воды в очаг увлажнения с целью формирования расчетного контура. Продолжительность межполивного периода определяется объемом активных запасов влаги, аккумулированных в очаге увлажнения, и интенсивностью водопотребления.

Одним из центральных вопросов при разработке режимов орошения является установление размеров контура увлажнения.

В целом контур увлажнения при капельном орошении можно рассматривать в первом приближении, как часть поверхности эллипсоида вращения вокруг вертикальной оси. Причем форма контура может быть шаровидной или вытянутой по глубине или в горизонтальном направлении. В профиле увлажнения четко прослеживается область переувлажнения и постепенного снижения влажности в границах контура увлажнения.

Объем воды, сосредоточенный в границе контура увлажнения или норма полива одного дерева, может быть определен по формуле

$$V_r = \frac{1}{2} \int_{w_2}^{w_1} r^2 h dw = AR^2 H (W_2 - W_1) = AR^2 H \Delta W, \quad (1)$$

где  $H$  — расчетная глубина увлажнения, м;

$W_2 = W_{п.в.}$  — полная влагоемкость, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>; ж)

$W_1$  — порог предполивной влажности почвы, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

$A$  — коэффициент, зависящий от характера формирования контура увлажнения, может быть принят равным 0,67;

$\Delta W$  — активная влагоемкость почв, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

ж) Принятая в статье единица измерений влажности почвы м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> означает наличие влаги (м<sup>3</sup>) в кубическом метре почвы.



$R$  – радиус горизонтальной проекции контура увлажнения, который может быть определен из площади проекции основной массы кроны дерева.

Поливная норма в этом случае будет зависеть от плотности посадки деревьев

$$m = n \cdot V_1 = n \cdot \pi R^2 \cdot H \cdot \Delta W, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (2)$$

где  $n$  – число деревьев на гектаре сада.

При поливе виноградников и пальметтного сада применяется в отдельных случаях технология полосового увлажнения. В этом случае объем подачи воды на 1 м длины полосы можно определить

$$V_2 = A_1 \cdot b \cdot H \cdot \Delta W, \text{ м}^3 \text{ на } 1 \text{ м}, \quad (3)$$

где  $b$  – средняя ширина полосы увлажнения, м;

$H$  – оптимальная глубина увлажнения, м;

$A_1$  – коэффициент, учитывающий характер формирования контура увлажнения, может быть принят при данной технологии 0,25.

Величина поливной нормы в этом случае определяется по формуле

$$m_2 = f \cdot 10^4 \cdot V_2 = A_1 \cdot f \cdot 10^4 \cdot b \cdot H \cdot \Delta W, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (4)$$

где  $f$  – показатель относительного увлажнения площади сада;

$$f = \frac{b}{B},$$

где  $B$  – ширина междурядья.

Глубина увлажнения фруктовых садов и виноградников при капельном орошении не превышает 1,0–1,5 м.

Ориентировочные значения гидрологических характеристик некоторых типов почв приведены в табл. I.

Примечательно то, что независимо от механического состава почв значения их активной влагоемкости достаточно близки между собой.

Для формирования расчетного контура остановимся на основных моментах, определяющих процесс образования контура увлажнения.

Почвы характеризуются коэффициентами фильтрации и влагопроводности, величиной капиллярного давления и состоянием исходной влажности. Изменением расхода капельниц можно управлять процессом формирования контура.



Таблица I

## Гидрологическая характеристика некоторых почв

| Тип почвы         | Механический состав | Влагоемкость, $\text{м}^3/\text{м}^3$ |                            | Порог предполивной влажности, % $W_{\text{пв}}$ от массы почвы | Активная влагоемкость, $\Delta W$ $\text{м}^3/\text{м}^3$ |
|-------------------|---------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
|                   |                     | полная $W_{\text{пв}}$                | наименьшая $W_{\text{нв}}$ |                                                                |                                                           |
| Глинистые         | тонкий              | 0,47                                  | 0,31                       | 80                                                             | 0,23                                                      |
| Тяжелосуглинистые | тонкий              | 0,47                                  | 0,30                       | 80                                                             | 0,23                                                      |
| Суглинистые       | средний             | 0,44                                  | 0,25                       | 75                                                             | 0,25                                                      |
| Легкосуглинистые  | средний             | 0,42                                  | 0,29                       | 70                                                             | 0,26                                                      |
| Супесчаные        | грубый              | 0,39                                  | 0,19                       | 65                                                             | 0,26                                                      |

При этом основным моментом является соотношение скорости вертикальной и горизонтальной влагопроводности почво-грунтов. Скорость перемещения фронта увлажнения зависит от активной поверхности очага переувлажнения, объем которого определяется расходом капельницы типом почвы и его исходной влажностью

$$I = \alpha \cdot q^{2/3}, \quad (5)$$

где  $\alpha$  — эмпирический коэффициент, зависящий от типа почвы и ее исходной влажности,  $\text{см}^{-1} \cdot \text{мин}^{1/3}$ ;

$q$  — расход капельницы,  $\text{см}^3/\text{мин}$ .

Влажность почвы в зоне увлажнения в течение вегетационного периода изменяется в пределах от наименьшей влагоемкости до нижнего порога предполивной влажности, поэтому в дальнейших расчетах по определению коэффициента  $\alpha$  будем иметь в виду среднюю величину влажности рассмотренных пределов. По данным наших исследований для глинистых почв  $\alpha = 0,016-0,018 \text{ см}^{-1} \cdot \text{мин}^{1/3}$  суглинистых  $\alpha = 0,018-0,020 \text{ см}^{-1} \cdot \text{мин}^{1/3}$ , супесчаных  $\alpha = 0,041-0,043 \text{ см}^{-1} \cdot \text{мин}^{1/3}$ .

Зависимость расхода капельниц и диаметра или ширины полосы увлажнения от механического состава почв представлены на рис. I.

По данным Дж. Келлера и Д. Кармелла можно устанавливать расчетный расход капельницы  $q$ . Произведение расхода капельницы  $q$  и их числа  $n$  на одном гектаре составляет удельную водоподачу  $Q$

$$Q = q \cdot n. \quad (6)$$

частное от деления поливной нормы брутто  $m_6$  на удельную водоподачу  $Q$  составит продолжительность полива  $t = \frac{m_6}{Q}$ .



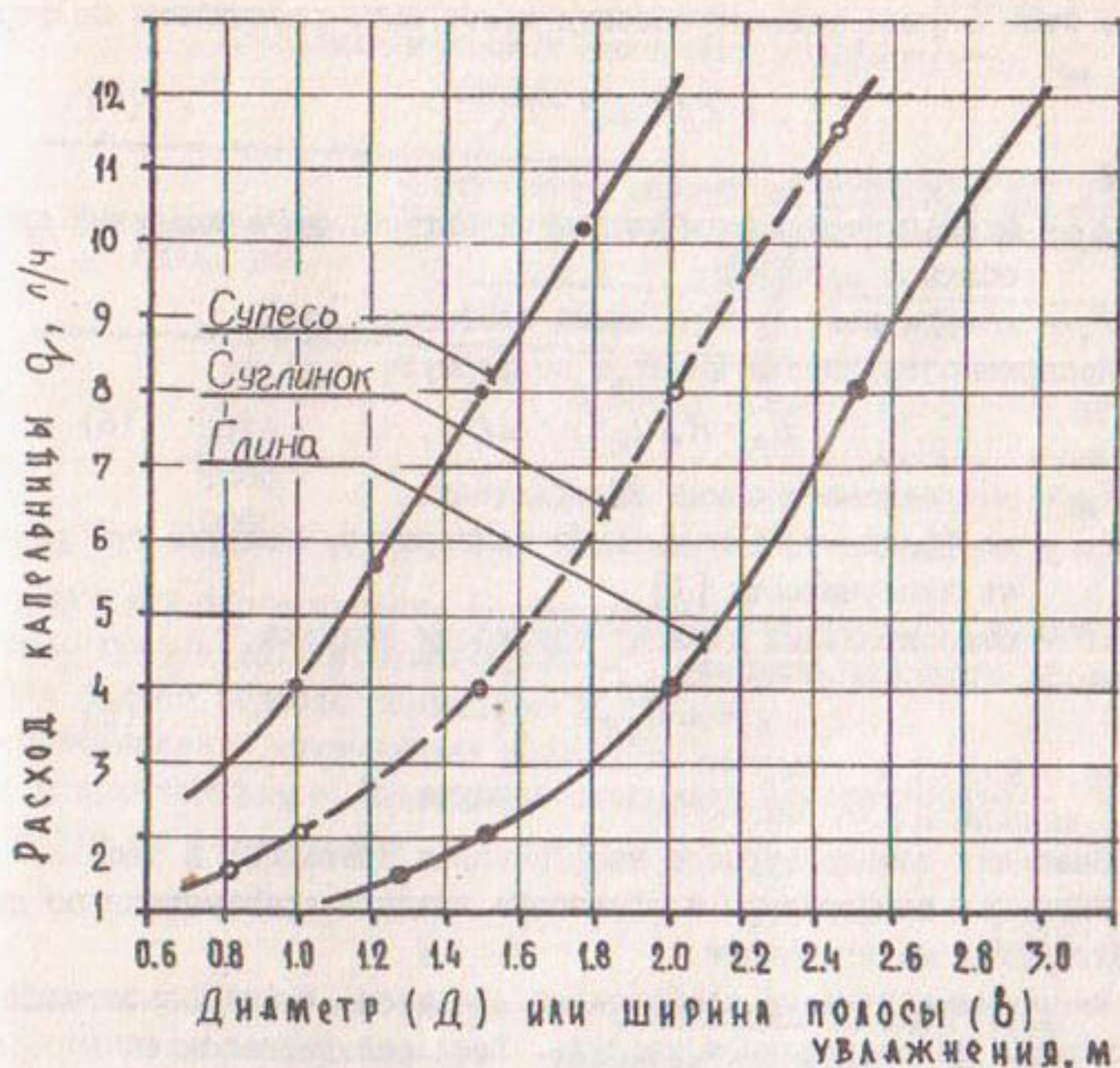


Рис. I. Зависимость диаметра (D) и ширины полосы увлажнения (b) от расхода капельницы и механического состава почвы

Поливная норма брутто существенно зависит от типа почв, равномерности распределения воды между капельницами, степени плотности посадок и частоты атмосферных осадков. Эти вопросы требуют дальнейших исследований. В сухой период на суглинистых почвах при качественном распределении воды между капельницами коэффициент использования поливной воды достигает 0,9–0,95.

Расчетная производительность системы капельного орошения (мощность насосной станции, диаметры трубопроводов) и межполивные периоды определяются по величине дефицита водопотребления в периоды максимального расхода почвенной влаги. В пиковые периоды при отсутствии осадков суммарное водопотребление полностью покрывается в основном только запасами влаги в очаге или полосе увлажнения.



В этом случае водопотребление может быть рассчитано по формуле

$$E_v = K_n \cdot K_b \cdot E_o, \quad (7)$$

где  $E_o$  — испаряемость, мм;

$K_b$  — биологический коэффициент культуры, установленный при обычном орошении;

$K_n$  — коэффициент, учитывающий плотность посадок.

Испаряемость рассчитывается по формуле

$$E_o = K_m \cdot K_t \cdot \Delta \Gamma, \quad (8)$$

где  $K_m$  — микроклиматический коэффициент;

$K_t$  — коэффициент, учитывающий температуру воздуха при расчете испаряемости [1].

$\Delta \Gamma$  — относительный дефицит влажности воздуха

$$\Delta \Gamma = \frac{100 - \Gamma}{100}, \quad (9)$$

где  $\Gamma$  — относительная влажность воздуха, %.

Значения температурного коэффициента приведены в табл.2.

Значения температуры и влажности воздуха принимаются по данным ближайшей метеостанции.

Микроклиматический коэффициент вводится, если метеостанция расположена на неорошаемом участке. Если она расположена на орошаемом массиве, то  $K_m = 1$ , в остальных случаях для летних месяцев значения микроклиматических коэффициентов можно принять по данным, приведенным в табл.3 (разработки автора).

Таблица 2

Температурный коэффициент  $K_t$ , мм

| Температура воздуха, (десятки)<br>°C | Г р а д у с ы (единицы) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                      | 0                       | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| -0                                   | 3,8                     | 3,5  | 3,2  | 2,9  | 2,6  | 2,4  | 2,2  | 1,9  | 1,7  | 1,5  |
| +0                                   | 3,8                     | 4,1  | 4,4  | 4,8  | 5,1  | 5,5  | 5,8  | 6,2  | 6,5  | 6,9  |
| 10                                   | 7,3                     | 7,8  | 8,2  | 8,7  | 9,1  | 9,5  | 10,1 | 10,6 | 11,1 | 11,6 |
| 20                                   | 12,1                    | 12,7 | 13,2 | 13,8 | 14,4 | 15,0 | 15,6 | 16,2 | 16,8 | 17,5 |
| 30                                   | 18,1                    | 18,8 | 19,5 | 20,2 | 20,9 | 21,6 | 22,3 | 23,0 | 23,8 | 24,6 |



Таблица 3

Значения микроклиматических коэффициентов  $K_m$   
летних месяцев

| Орошаемая площадь, га | Отношение испарения с неорошаемой территории к половине значения испаряемости |      |      |      |      |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|
|                       | 0,9                                                                           | 0,75 | 0,5  | 0,25 | 0,1  |
| 10                    | 1                                                                             | 0,98 | 0,96 | 0,93 | 0,91 |
| 100                   | 1                                                                             | 0,98 | 0,95 | 0,91 | 0,84 |
| 1000                  | 1                                                                             | 0,97 | 0,93 | 0,88 | 0,81 |
| 10000                 | 1                                                                             | 0,96 | 0,91 | 0,84 | 0,76 |

Значения биологических коэффициентов для плодовых культур (яблонь, груш и др.) и виноградников в условиях обычного орошения в сухие летние периоды составляют 0,42–0,51.

Коэффициент, учитывающий плотность посадок, с другой стороны можно охарактеризовать показателем относительного увлажнения и определить по зависимости

$$K_n = \frac{1}{\sqrt{1 + (1-f)^2}} \quad (10)$$

где  $f$  – показатель относительного увлажнения площади сада.

Показатель относительного увлажнения при технологии полосового орошения равен отношению ширины полосы увлажнения к ширине междурядья, при технологии очагового увлажнения – площади очага увлажнения к расчетной площади питания культур, которая определяется произведением ширины междурядья на расстояние между деревьями в ряду.

Продолжительность межполивного периода устанавливается отношением величины поливной нормы нетто к интенсивности дефицита водопотребления культур  $T = \frac{m_n}{\Delta E_v}$ . В зависимости от технологии увлажнения поливные нормы устанавливаются по формулам (3, 4).

Предложенный порядок расчета элементов поливного режима культур рекомендуется использовать для установления основных параметров оросительных систем капельного орошения на стадии проектирования.



## Л и т е р а т у р а

1. Д а н и л ь ч е н к о Н.В. Расчет режимов орошения с.-х. культур. - "Гидротехника и мелиорация", 1978, № 1.

2. К е л л е р Д., К а р м е л л Д. Проектирование системы капельного орошения. Перевод с англ. Глендора, 1975.



Инж. Быков В.Г.,

инж. Быкова Т.Ю.

(ВНИИМитП)

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВЫ  
ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ ЯБЛОНЕВОГО САДА С ПОМОЩЬЮ  
ТЕНЗИОМЕТРОВ

Большой интерес в технологии капельного орошения представляет изучение процессов увлажнения почвы в зоне корнеобитания растений. Такой способ орошения приемлем прежде всего для многолетних насаждений. Для изучения особенностей процесса увлажнения почвы в зоне корнеобитания яблонь сортов Голден Делишес и Голденспур в яблоневом саду был заложен полевой опыт. Полевые исследования проводились на опытно-производственном участке в с-зе "Прут" Унгенского аграрно-промышленного объединения "Молдплодоовощпром", где в 1975-1977 гг. эксплуатировался комплект оборудования для капельно-импульсного орошения 480 яблонь.

Почвенный покров опытного участка представлен черноземом обыкновенным на среднем и тяжелом суглинках. Мощность гумусового горизонта - 90-100 см с высоким естественным плодородием. Уклон поверхности участка  $i = 0,05$ . В метровом слое почва имеет следующие водно-физические свойства: объёмная масса -  $1,29 \text{ г/см}^3$ ; влажность - 52%; предельно-полевая влагоемкость (ППВ) - 323 мм; коэффициент фильтрации - 0,9 см/ч. Почвы участка незасолены. Грунтовые воды на массиве пресные, в течение оросительного периода находились ниже 6-7 м и не оказывали влияния на водный режим корнеобитаемого слоя почвы.

Вегетационные периоды 1975 и 1977 гг. были обеспечены атмосферными осадками на уровне близком к среднемноголетней норме, в то время как за тот же период в 1976 г. осадков выпало 395 мм (на 61% больше среднемноголетней нормы). Несмотря на большое количество осадков, в почве наблюдались значительные дефициты влаги, которые объясняются неравномерным распределением осадков в течение вегетации и выпадением их в виде кратковременных ливней.

Капельницы-микроувлажнители устанавливались по одной на каждое дерево в 20 см от штамба яблонь. Расстановка капельниц определялась схемой посадки яблоневого сада (4x2,5 м). Оросительная



вода подавалась по транспортирующим и поливным подземным трубопроводам комплекта к капельницам импульсного действия и накапливалась в них. По командному сигналу понижения давления в трубопроводной сети осуществлялось одновременное дозированное внесение накопленного объема воды под яблони. За каждый "выплеск" вносилось по 0,1 л воды, с частотой водоподачи более 1,5 минуты. Интервал между "выплесками" рассчитывался в зависимости от суточной нормы водоподачи, которая составляла в среднем за вегетационный период 15-20 л на дерево, а оросительная норма - 605-850 м<sup>3</sup>/га.

Поливами поддерживалась средняя влажность почвы в очаге увлажнения корневой системы яблонь на уровне 85% ППВ при одинаковых по вариантам нормах водоподачи.

Формирование очага увлажнения в корнеобитаемом слое почвы определяется, в основном, суточной нормой и интенсивностью водоподачи, а также технологической схемой установки капельниц. Для изучения этого вопроса были испытаны две схемы установки капельниц: с подкрановым надпочвенным расположением (рис.1) и подпочвенным (в пахотном слое) рис.2. Такие схемы позволяют проводить все агротехнические мероприятия во время полива, за исключением культивации почвы на варианте с подкрановым надпочвенным расположением капельниц. На этом варианте поливы прекращались за сутки или в день культивации.

Капельно-импульсное орошение яблоневого сада с подкрановым надпочвенным расположением капельниц происходит путем периодического разбрызгивания оросительной воды по поверхности в радиусе 0,5-0,7 м, (при этом смачивается около 1 м<sup>2</sup> поверхности). Малые объемы "выплеска" (0,1 л) и продолжительный рабочий цикл (накопление + выплеск) обеспечивают хорошее впитывание воды без образования луж (рис.1).

Капельно-импульсное орошение яблонь с подпочвенным расположением капельниц позволяет вносить оросительную воду непосредственно в пахотный слой. Испытания показали, что в результате порционной подачи вода не успевает впитываться и выклинивается на поверхность, образуя лужи площадью 0,01 - 0,05 м<sup>2</sup>. Обсыпка капельниц крупнозернистым песком (объемом 1,0 - 1,5 дм<sup>3</sup>) позволила ликвидировать выклинивание воды за счет временного ее аккумуляирования в пористом песке и последующим впитыванием в почву. Часть воды по капиллярам поднималась вверх к поверхности почвы, образуя



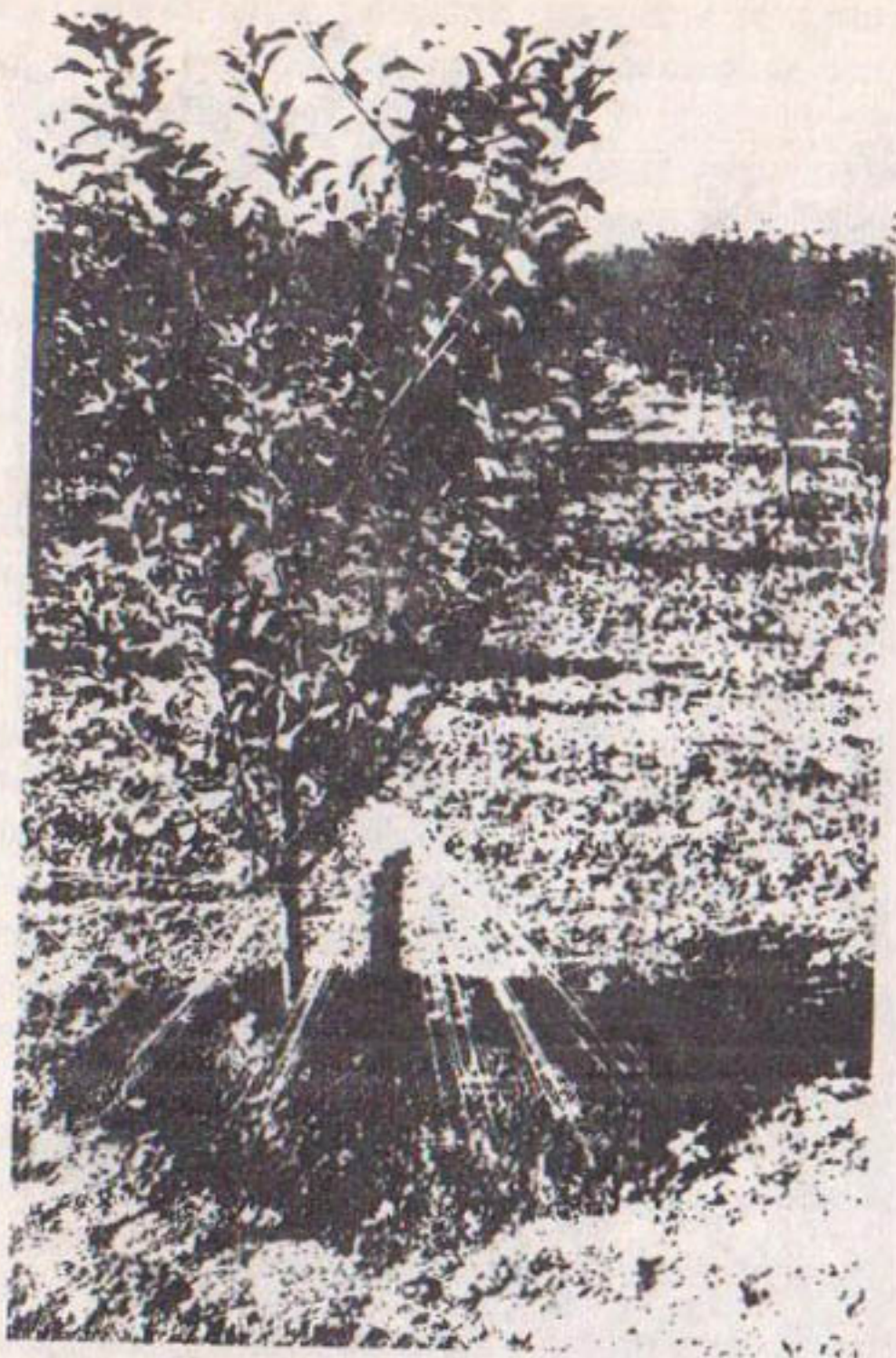


Рис. I. Капельно-импульсное орошение яблоневого сада с под-  
кроновым надпочвенным расположением капельниц (сов-  
хоз "Прут" Молдавской ССР)





Рис. 2. Капельно-импульсное орошение ялонецкого сада с расположением капельниц в пахотном слое почвы (совхоз "Прут" Молдавской ССР)



увлажненное темное пятно площадью  $0,2 - 0,4 \text{ м}^2$  (рис. 2). Другая часть воды за счет гравитационных и капиллярных сил перераспределялась в нижние слои почво-грунта и в стороны от капельницы по горизонтальным слоям. Скорость перераспределения влаги от капельницы к периферии очага увлажнения снижалась по мере уменьшения градиента влажности почвы на единицу пройденного водой отрезка пути и обуславливалась водно-физическими и химическими свойствами почво-грунта.

Суточные нормы водоподачи комплектом капельно-импульсного орошения определялись на основе расчета по метеорологическим факторам, фазам развития и имеющимся влагозапасам в расчетной зоне корнеобитания. Систематически проводилась корректировка нормы водоподачи в зависимости от влажности почвы в очаге увлажнения. Для своевременной корректировки норм водоподачи и изучения процесса перераспределения влаги в очаге увлажнения проводились ежесуточные определения влажности почвы.

Широко распространенный классический метод определения влажности почвы термостатно-весовой является наиболее точным, но трудоемок и требует для определения влажности много времени. Кроме того, влажность почвы, выраженная в процентах от веса сухой почвы, не полностью отражает степень доступности растениям почвенной влаги. Лучше всего характеризует доступность влаги всасывающее давление почвенной влаги, которое обуславливается действием сорбционных и капиллярных сил и характеризует энергетическое состояние почвенной влаги.

Среди известных методов определения энергетического состояния почвенной влаги наибольший интерес представляет тензиометрический, основанный на взаимосвязи между всасывающим давлением почвенной влаги и влажностью почвы. Сущность метода заключается в том, что сосущая сила почвы, которая находится в термодинамическом равновесии с влагой, определяется по разряжению внутри тензиометра.

На опытном участке были установлены серийно выпускаемые в нашей стране тензиометры типа АМ-20-П.

Предварительными полевыми исследованиями было установлено, что влажность почвы в очаге увлажнения уменьшается от центра к его периферии, от полной влагоемкости до естественной влажности. Причем на расстоянии половины радиуса контура увлажнения влажность почвы соответствует средней влажности всего очага. В кон-



кретных условиях опыта эта величина составляла 60 см.

Тензиометры устанавливались по радиусу от капельницы в зоне, соответствующей средней влажности почвы очага увлажнения, по его профилю на глубине 15, 45, 85 см. На контрольном варианте при дождевании были установлены тензиометры в аналогичных условиях.

Тарировочные кривые зависимостей влажности почвы от показаний по индикатору тензиометров (сосущей силы почвы) приведены на рис.3. Имея такие тарировочные кривые и ежесуточные наблюдения за показаниями тензиометра, можно получить суточную динамику влажности почвы в исследуемой точке. Повторения точек наблюдения по площади позволяли наблюдать за динамикой влажности почвы на опытных делянках (рис.4).

Построенные по тензиометрам кривые влажности почвы, в основном, идентичны контрольным кривым, полученным по термостатно-весовому методу. Контрольные измерения проводились раз в декаду. Анализ этих кривых говорит, что в течение периода наблюдений кривая влажности, полученная по тензиометрам, была в среднем выше на 0,5–1,0% (к абсолютно сухой почве), чем контрольная кривая. Максимальные отклонения от контрольной кривой достигали 2,0%. Такие отклонения наблюдались на обоих вариантах: капельном орошении и дождевании. Наибольшие погрешности по тензиометру наблюдались при влажности почвы, близкой к предельной полевой влагоемкости, т.е. при малых величинах сосущей силы почвы. Погрешность в измерениях по тензиометрам в относительных величинах составляет 2,5–6%, что соответствует ошибке в измерении влагозапасов метрового слоя почвы 1,5 – 5,0 мм.

Возможность получения ежесуточной информации о влажности почвы с помощью тензиометров, несмотря на имеющиеся погрешности, в условиях ежедневно меняющегося водного режима почвы от часто выпадающих атмосферных осадков и меняющихся суточных норм водоподачи, позволяет в общем итоге точнее и оперативнее проводить корректировку режима водоподачи на систему капельного орошения в последующий день или любой расчетный период. В условиях большой пестроты почво-грунтов по механическому составу тензиометры позволяют наиболее точно отразить степень доступности почвенной влаги растениям, так как одно и то же процентное содержание влаги в различных почвах по-разному доступно растениям.



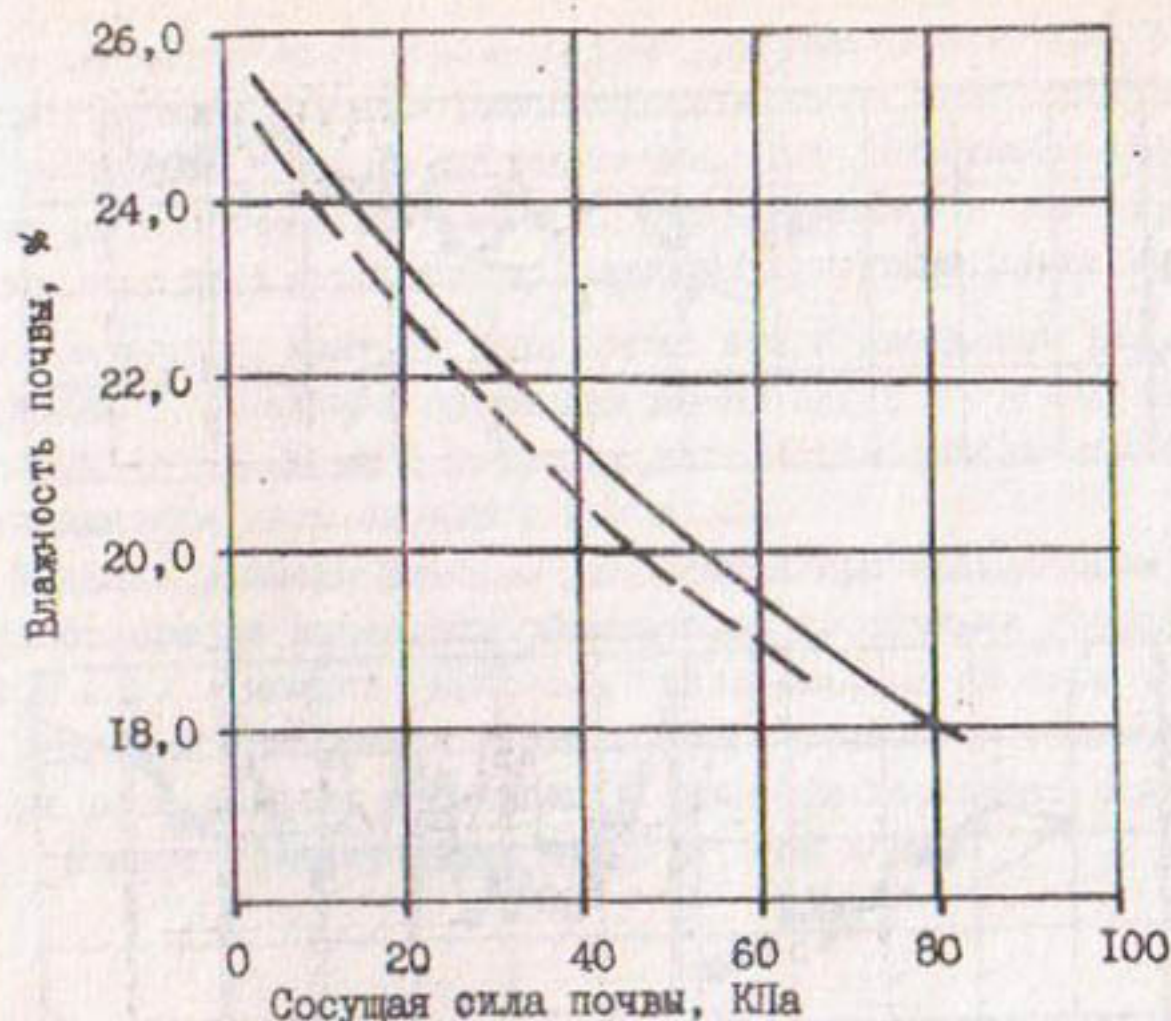


Рис. 3. Тарировочная кривая зависимости влажности от сосущей силы почвы: — — — — — на варианте капельного орошения; ————— на варианте дождевания

Простота и возможность ежесуточного контроля за запасами влаги в почве дают возможность широкого использования тензиометрического метода определения влажности почвы при капельном орошении фруктовых садов.

Однако необходимо обращать внимание на точное соблюдение срока наблюдений по датчикам тензиометров. При замере тензиометрами потенциала влаги в почве, занятой растительностью, концентрация корней вокруг датчика может исказить его показания вследствие влагообмена корня с фильтром и почвой. Особенно сильно этот эффект может сказываться на показаниях тензиометров в жаркие часы суток, когда наблюдается высокая транспирационная способность растений и большие градиенты температуры в верхних слоях почвы. При этом отсос воды корнями из закрытых пор почвы вызывает понижение давления в её воздушной среде, что может повлиять на показания тензиометра. Поэтому замеры потенциала влаги в полевых условиях необходимо проводить в утренние часы, полагая при этом, что за ночь произойдет перераспределение влаги в почве, окружающей датчик, а давление воздуха в её порах станет близким или равным атмосферному.



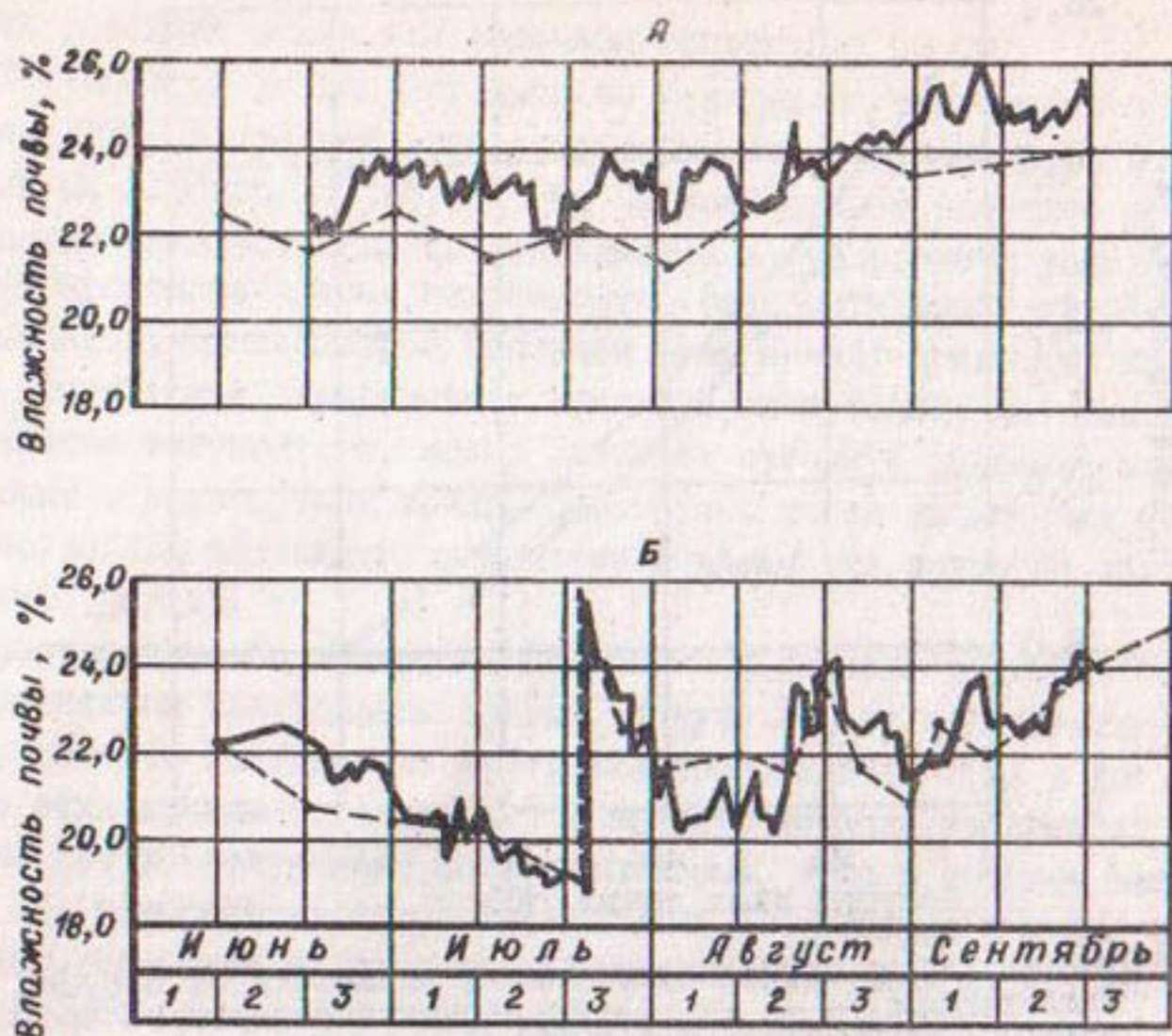


Рис. 4. Динамика влажности почвы на вариантах капельно-импульсного орошения (А) и дождевания (Б): — — — измеренная тензиометрами; — — — термостатно-весовым методом

На опытном участке с помощью тензиометров одновременно проводились наблюдения за динамикой влажности почвы и перераспределением влаги в очагах увлажнения с целью оптимизации технологической схемы расположения капельниц импульсного действия.

Кроме этого проводились специальные наблюдения методом закладки шурфов и бурением скважин с последующим послойным отбором образцов почвы и определением влажности. Характерные карты распределения влаги в очаге увлажнения представлены на рис. 5–6. Рассмотрение карт дает возможность выявить особенности формирования очага увлажнения и сравнить их геометрические размеры при одинаковых нормах водоподачи по вариантам (18–19 л/сут на дерево).

При варианте с подкroновым надпочвенным расположением капельниц гидроизоплеты, характеризующие высокую влажность почвы, располагались преимущественно в верхних горизонтах по сравнению с вариантом расположения капельниц в пахотном горизонте. В пахотном го-



ризонте геометрические размеры контура увлажнения (при варианте с подкroновым надпочвенным расположением капельниц) оказались на 20-30 см больше, чем на сравниваемом. Ниже пахотного слоя большее распространение влаги по горизонтали и в глубину имел очаг увлажнения с расположением капельниц в пахотном горизонте. В слое 60-100 см радиус контура увлажнения при подкroновом надпочвенном расположении капельниц составлял 60-80 см, в то время как на другом варианте - 125 см и более, т.е. обеспечивалось смыкание контуров увлажнения двух соседних капельниц.

Меньшие размеры контура увлажнения при подкroновом надпочвенном расположении капельниц объясняются частичными потерями оросительной воды в момент "выплеска" капельницами на снос мелких капель ветром и испарением влаги с поверхности переувлажненной почвы. При расположении капельниц в пахотном горизонте отмечается более экономное использование оросительной воды.

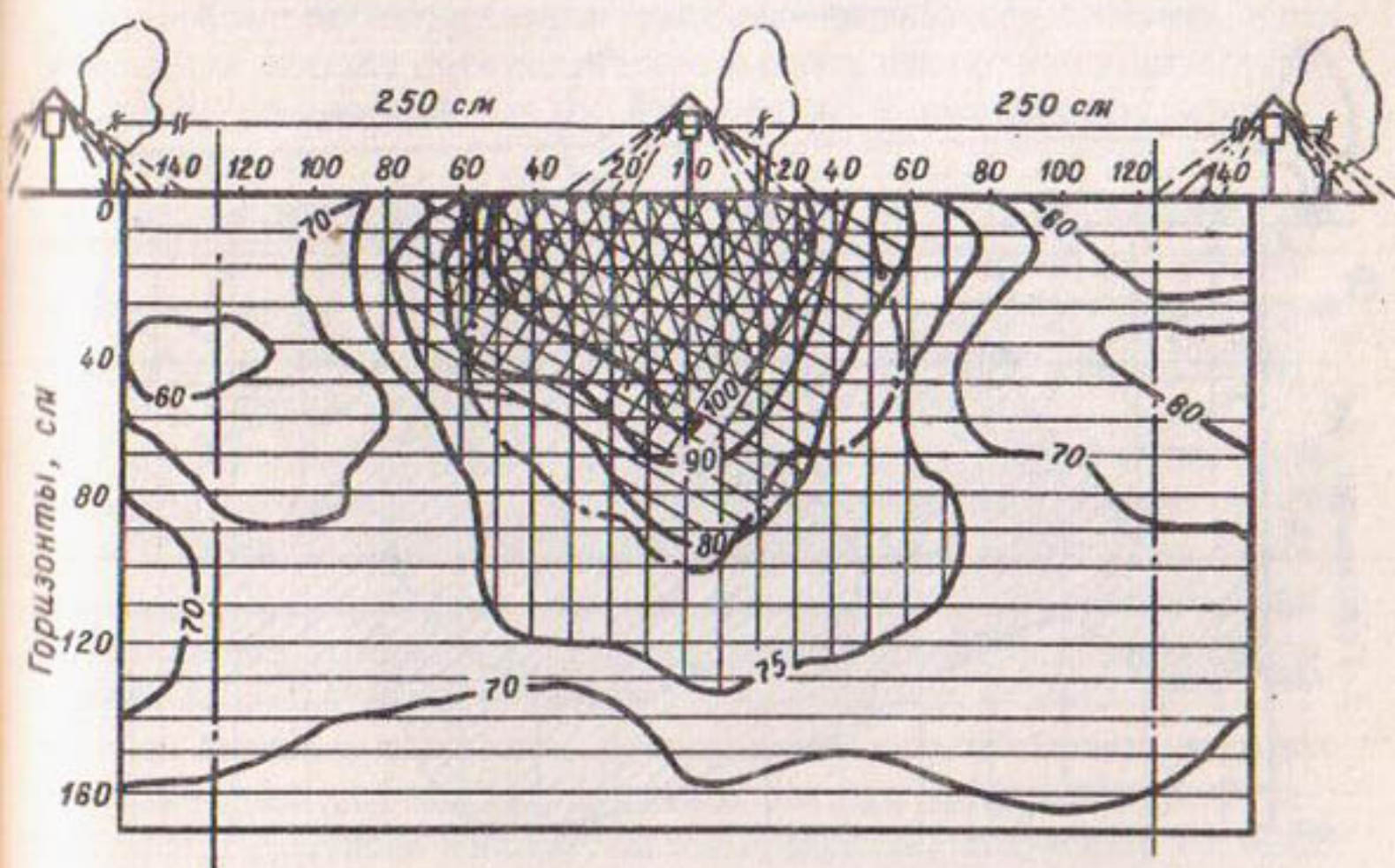


Рис.5. Карта распределения влажности почвы в контуре увлажнения на варианте подкroнового надпочвенного капельно-импульсного орошения: ~ гидроизоплеты, % от ППВ



Одним из основных качественных показателей капельного орошения является соответствие сформированного контура увлажнения зоне распространения основной массы корневой системы яблони. Для установления этого соответствия одновременно с закладкой шурфов фиксировалось распространение корней яблони. Наблюдения показали, что если принять за 100% количество корней, зафиксированных в 0,2 м от штамба яблони, то на расстоянии 0,5 м от штамба, их количество составляет 70%; 1,0 м – 39%, т.е. с удалением от штамба количество корней уменьшается. По глубинному профилю количество корней также снижается. Основная масса корневой системы 4-летних яблонь распространена в слое 10–80 см (рис.6). Наблюдениями установлено, что в конкретных условиях опыта при естественной влажности почвы, на уровне 70–75% ШВ и норме водоподачи 18 л/сут на дерево капельницами импульсного действия, расположенными в пахотном горизонте почвы, увлажняется 75–85% корнеобитаемой зоны яблонь, а капельницами, расположенными на поверхности в подкрановой части дерева – 50–60%.

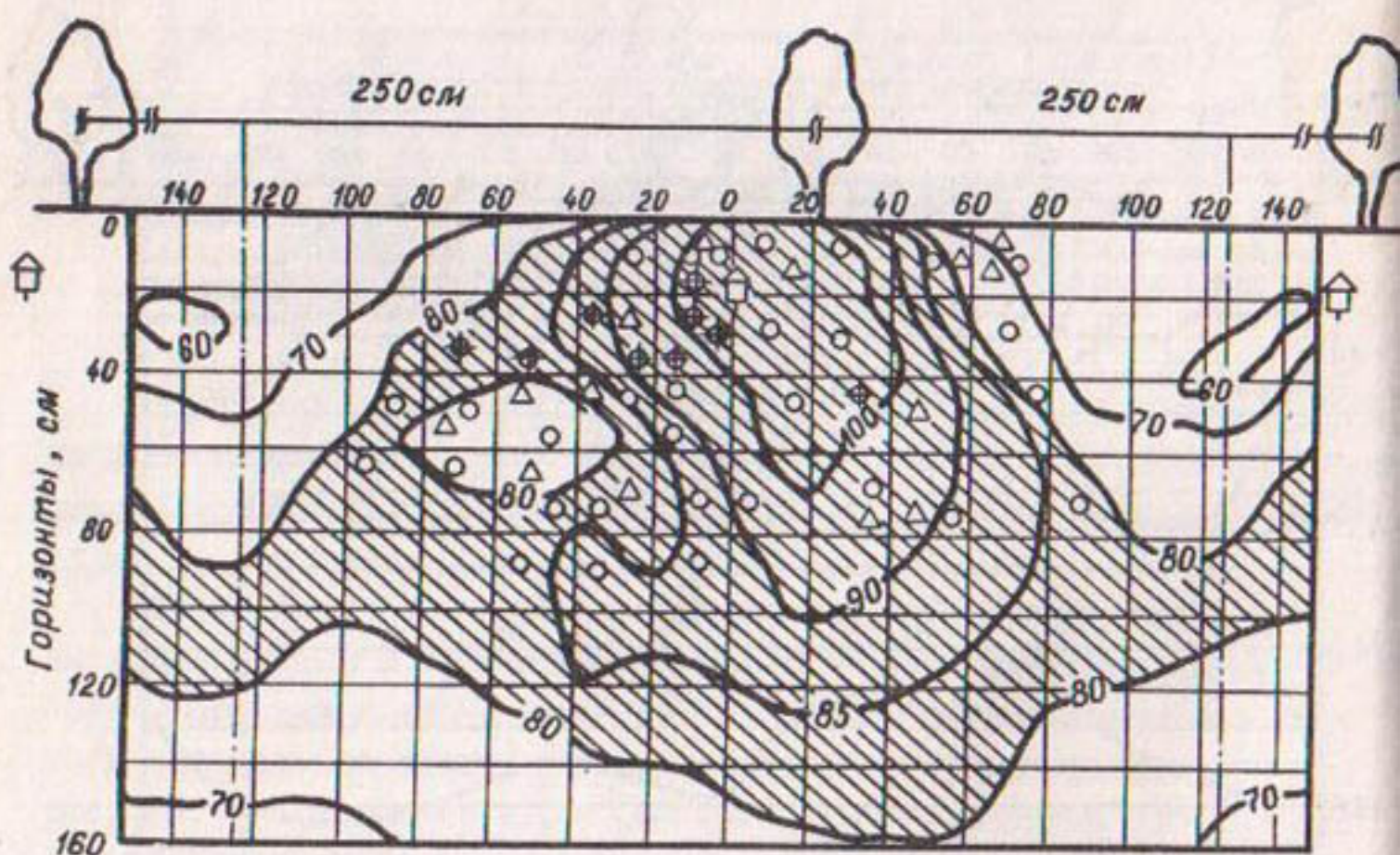


Рис.6. Карта распределения влажности почвы и корневой системы на варианте с расположением капельниц в пахотном слое почвы: ~ – гидроизоплеты, % от ШВ; ○ – корни, диаметром 0–3 мм; △ – корни диаметром 3–10 мм; ⊕ – корни диаметром 10–16 мм



Молодой интенсивный сад, посаженный в 1972 г. в 1976-1977 гг. начал плодоносить. В 1976 г. (I-й год плодоношения) при капельно-импульсном орошении средний урожай яблок составил 20,0, а при дождевании - 21,4 ц/га.

Оценка достоверности разности между средними урожаями вариантов говорит, что она находится в пределах ошибки опыта. Практически одинаковый урожай между вариантами объясняется тем, что закладка плодовых почек происходила в июне 1975 г., в период пуско-наладочных работ комплекта оборудования для капельно-импульсного орошения, когда полив капельным способом не проводился.

Закладка плодовых почек урожая 1977 г. и накопление всей вегетативной массы происходили при благоприятном увлажнении корневой системы деревьев капельным орошением, что привело к повышению продуктивности яблонь. В 1977 г. средняя урожайность яблонь составляла при дождевании 139, при капельно-импульсном орошении - 159 ц/га, прибавка урожая яблок - 14%.

Комплект оборудования капельно-импульсного орошения обеспечивает в течение вегетационного периода подачу необходимого количества оросительной воды в соответствии с потребностью яблоневого сада.

С использованием тензиометров на системах капельного орошения появляется возможность получения непрерывной информации о водном режиме корнеобитаемого слоя почвы с одновременным учетом ежедневно меняющихся внешних естественных и искусственных факторов воздействия на окружающую среду и растение.

Для яблоневого сада со схемой посадки 2,5x4,0 м достаточно одной капельницы импульсного действия на дерево. Подача 15-20 л воды в сутки на дерево в конкретных почвенно-климатических условиях опыта обеспечивает смыкание смежных контуров увлажнения при расположении капельниц в пахотном горизонте, при этом увлажняется 75-85% основной массы корневой системы молодых яблонь.

Капельно-импульсное орошение молодого яблоневого сада уже в первые годы плодоношения показало большую эффективность. Стоимость от реализации дополнительной продукции, полученной от внедрения прогрессивного способа орошения, составляет 980 руб/га.



Предлагаемая технологическая схема расположения капельниц позволит эффективно использовать капельно-импульсное оборудование для орошения промышленных садов и может найти свое широкое применение после апробации в опытно-производственных условиях капельниц импульсного действия с высоким коэффициентом эксплуатационной надежности.

### Л и т е р а т у р а

1. М а к к в и н. Вода в зоне аэрации. Обзорная информация, вып. 8.

2. Р о д е А.А. Водный режим почв и его регулирование. М., изд. АН СССР, 1963.

3. С у д н и ц ы н И.И. Закономерности передвижения почвенной влаги. М., "Наука", 1964.



К. т. н. Носенко В. Ф.,  
инж. Голузин Л. Н.,  
к. т. н. Ломакин А. Т.,  
к. т. н. Шарко А. М.,  
инж. Богачев Ю. Н.  
(ВНИИМИТИ)

## ИССЛЕДОВАНИЯ И ВЫБОР ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

Вопрос правильного, научно обоснованного выбора материалов элементов конструкций систем капельного орошения (трубопроводов, капельниц, соединительной арматуры) имеет важное значение. Задача настоящих исследований — определение работоспособности, функциональной надежности капельниц и трубопроводов опытных автоматизированных систем капельного орошения, выполненных из полимерных материалов.

Как показывает отечественный и зарубежный опыт [1-3], наиболее близкими по физико-механическим и другим свойствам, отвечающим требованиям изготовления, строительства и эксплуатации элементов конструкций систем капельного орошения являются термопластичные полимерные материалы и прежде всего полиэтилены.

Исследовались опытные образцы пластмассовых регулируемых капельниц непрерывного действия "Молдавия-1", капельниц импульсного действия "Коломна-1", поливные трубопроводы серийного изготовления из полиэтилена диаметром 16 и 20 мм (ГОСТ 16337-70).

Капельницы "Молдавия-1" изготовлены на Ленинградском заводе пластмасс им. "Комсомольской правды"; "Коломна-1" — в ГСКБ ВНПО "Радуга" и на заводе пластмасс в Наро-Фоминске. Исходный материал деталей капельниц — полиэтилен высокой и низкой плотности нескольких марок, капрон марки "Б", пластик АБС. Материал труб — полиэтилен низкой плотности.

Методика исследований. В лабораторных и полевых условиях в процессе исследований определяли влияние повышенных и пониженных температур, влажности, ультрафиолетового облучения почвенной среды, растворов минеральных удобрений на элементы систем капельного орошения, выполненные из полимерных материалов.

Испытания на водопоглощение проводили в лабораторных услови-



ях до полного насыщения в дистиллированной воде при температуре окружающей среды  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Значение водопоглощения определяли весовым способом на аналитических весах с точностью до 0,01 г.

Влияние отрицательной и повышенной температуры, влажности и ультрафиолетового облучения на физико-механические свойства капелекниц и трубопроводов исследовали в климатической камере типа 300I марки "Feutron". Влияние отрицательной температуры ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) определяли в течение 600 ч (12 этапов, равных по времени) при влажности 65%. После завершения каждого этапа по пять образцов исследуемых материалов подвергали механическим испытаниям.

Комплексное влияние повышенной температуры и ультрафиолетового облучения определяли в течение 2-х месяцев (60 циклов). Время одного цикла равняется 24 часам. В течение каждого цикла образцы подвергали поочередному воздействию температур  $+50^{\circ}\text{C}$  при относительной влажности 95-100% - 7 часов;  $+20^{\circ}\text{C}$  при влажности 95-100% - 11 часов;  $+20^{\circ}\text{C}$  при влажности 65% и облучении ультрафиолетовыми лучами мощностью 20 Вт с длиной волн 315-400 нм - 5 часов и выдержке на воздухе при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$  при влажности 65% - 1 час. После завершения каждого цикла по пять образцов исследуемых материалов подвергали механическим испытаниям.

Влияние почвенных кислот, щелочей, растворов минеральных удобрений определяли на почвенном стенде. Почвы четырех составов, характерных для центра нечерноземной зоны РСФСР, укладывали на глубину 50 см (табл. I). Капельницы импульсного действия, соединенные полиэтиленовыми шлангами, устанавливали в почву на глубину 100 мм по 4 шт. на каждом из четырех участков стенда. Капельницы непрерывного действия монтировали на трубопроводе стенда на высоте 1 м от поверхности почвы.

Таблица I

Виды почв на стенде капельного орошения ВНИИМитП

| № участка стенда | Виды почв                                                         | Место отбора почвы        |
|------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 1                | Тяжелый суглинок $pH = 7,2$                                       | пойма р. Москвы           |
| 2                | Средний суглинок $pH = 6,6$                                       | плодовый сад ЭПХ ВНИИМитП |
| 3                | Легкий суглинок (тяжелый суглинок - 50% + песок - 50%) $pH = 7,5$ | пойма р. Москвы           |
| 4                | Супесь (средний суглинок - 50% + песок 50%) $pH = 7,05$           | плодовый сад ЭПХ ВНИИМитП |



Минеральные удобрения (аммиачную селитру) вносили в почву в количестве 0,5% в растворенном виде с поливной водой.

Анализ поливной воды и почв проводили ежемесячно в течение всего времени испытаний. Работа стенда осуществлялась в режиме системы импульсно-капельного орошения. Общее время испытаний составило 2 месяца, в том числе на чистой воде - 70%, с внесением минеральных удобрений - 30%. По завершении стендовых испытаний определяли изменение физико-механических свойств материалов капельниц и трубопроводов.

Влияние условий эксплуатации изучали на опытных автоматизированных системах капельного орошения, построенных ВНПО "Радуга" в пос. Радужном Коломенского района Московской области, с-зе "Прут" Унгенского района Молдавской ССР, совхозе-заводе "Алушта" Крымской области

Влияние условий эксплуатации на элементы систем капельного орошения изучали в период 1974-1977 гг. Среднемесячные показатели температуры почвы и окружающего воздуха за время поливного периода брали по данным местных метеослужб. В период испытаний ежемесячно проводили отбор и анализ почв и поливной воды. По завершении годовых циклов полевых испытаний по контрольным образцам определяли работоспособность капельниц, трубопроводов и соединительной арматуры из полимерных материалов.

Результаты исследований. Результаты исследований на водопоглощение представлены на рис. 1 (кривыми 1 - капрон; 2, 3 - полиэтилены ПЭВП и ПЭНП). Видно, что водопоглощение капрона превышает 8% в то время, как у полиэтиленов оно незначительно и составляет 0,3-0,4%. Исходя из того, что водопоглощение капрона может влиять на конструктивные размеры деталей капельниц и снижать их функциональные показатели надежности, последующие исследования проводили на капельницах из полиэтилена. На основании результатов исследований можно сделать вывод, что полиэтилены всех марок являются водостойкими материалами и могут быть рекомендованы для систем капельного орошения.

Результаты исследований (влияния отрицательных и повышенных температур, влажности, ультрафиолетового облучения) представлены на рис. 2, 3. Видно, что в начальный период испытаний происходит заметное снижение показателей прочности и относительного удлинения  $\sigma_r$  и  $\epsilon_r$  у всех марок полиэтиленов. Наиболее значительно



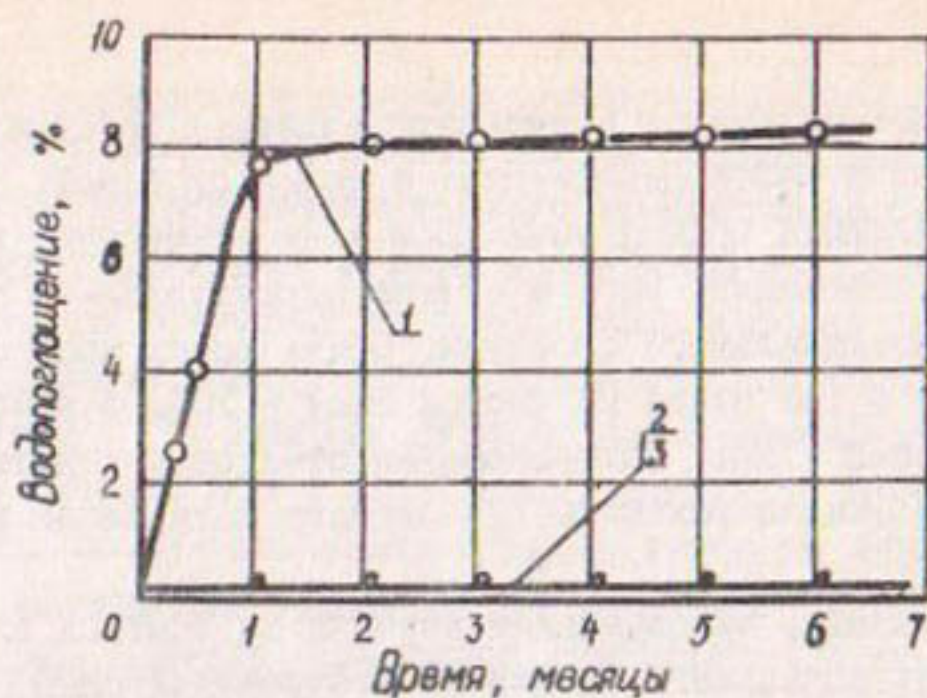


Рис.1. Водопоглощение материалов: 1 - капрон "Б"; 2, 3 ПЭВП марки 208-7; -ПНП марки 107-010

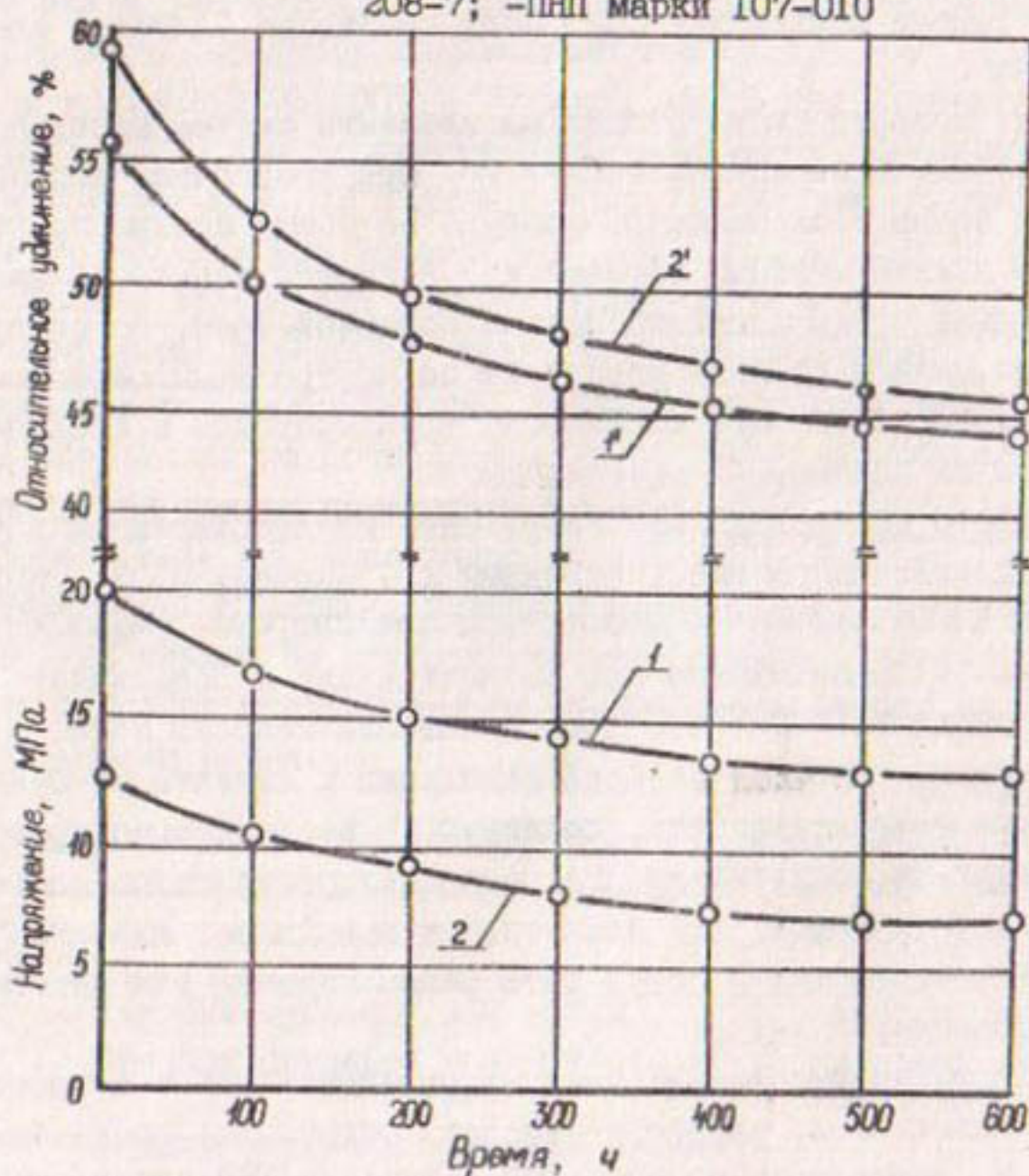


Рис.2. Зависимость прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве материалов капельниц при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$ : 1-1' - ПЭВП марки 208-07; 2-2' - ПЭВП марки 107-010.  
Примечание. Цифры без штриха обозначают прочность, со штрихом - относительное удлинение



оно происходит под влиянием света и повышенной температуры (лабораторные и полевые испытания). Результаты лабораторных и полевых исследований опытных элементов систем капельного орошения, выполненных из различных марок полимерных материалов, показали, что под воздействием окружающей среды эти материалы меняют свои исходные физико-механические свойства. Влияние почвенных кислот и щелочей, поливной воды и минеральных удобрений на прочностные показатели испытанных марок полиэтиленов составляют от 8,9 до 10,0% (стендовые и полевые испытания), что существенно не отражается на работоспособности конструкций элементов систем капельного ороше-

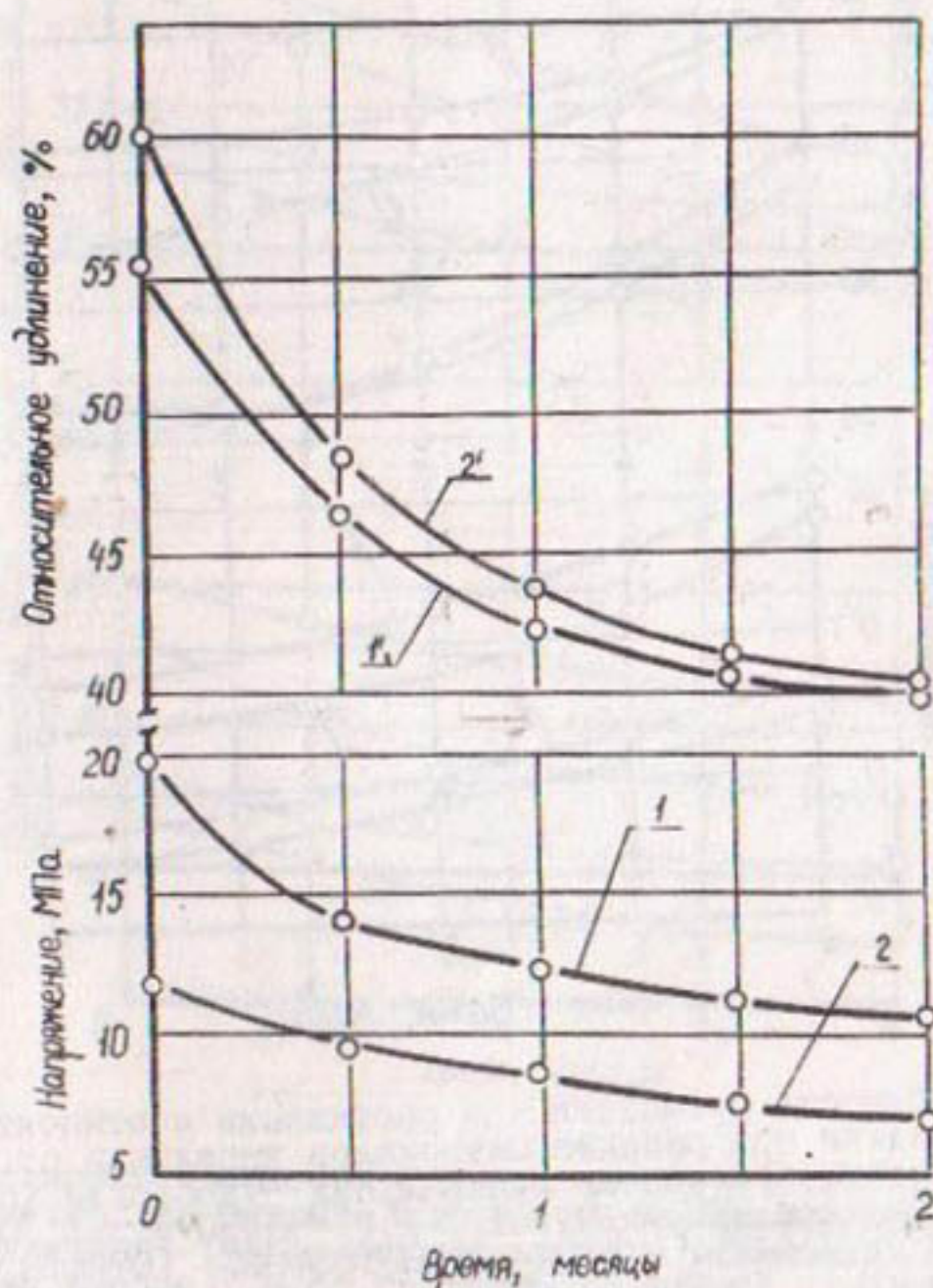


Рис. 3. Зависимость прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве материалов капельниц от температуры (+50°), ультрафиолетового облучения ртутно-кварцевой лампой типа ПРК-2 мощностью 375 ватт, влажности (95%): 1 - 1<sup>I</sup> - ПЭВП марки 208-07; 2 - 2<sup>I</sup> - ПЭНП марки 107-010



ния (рис. 4-7). Таким образом можно отметить, что полиэтилены высокой и низкой плотности устойчивы к воздействию почвенной среды и растворов минеральных удобрений, вносимых с поливной водой.

Воздействие факторов, характеризующих условия эксплуатации (повышенной влажности, солнечной радиации, почвенной среды, колебания температуры воздуха, растворов минеральных удобрений) неодинаково влияют на снижение прочностных свойств термопластичных полимеров.

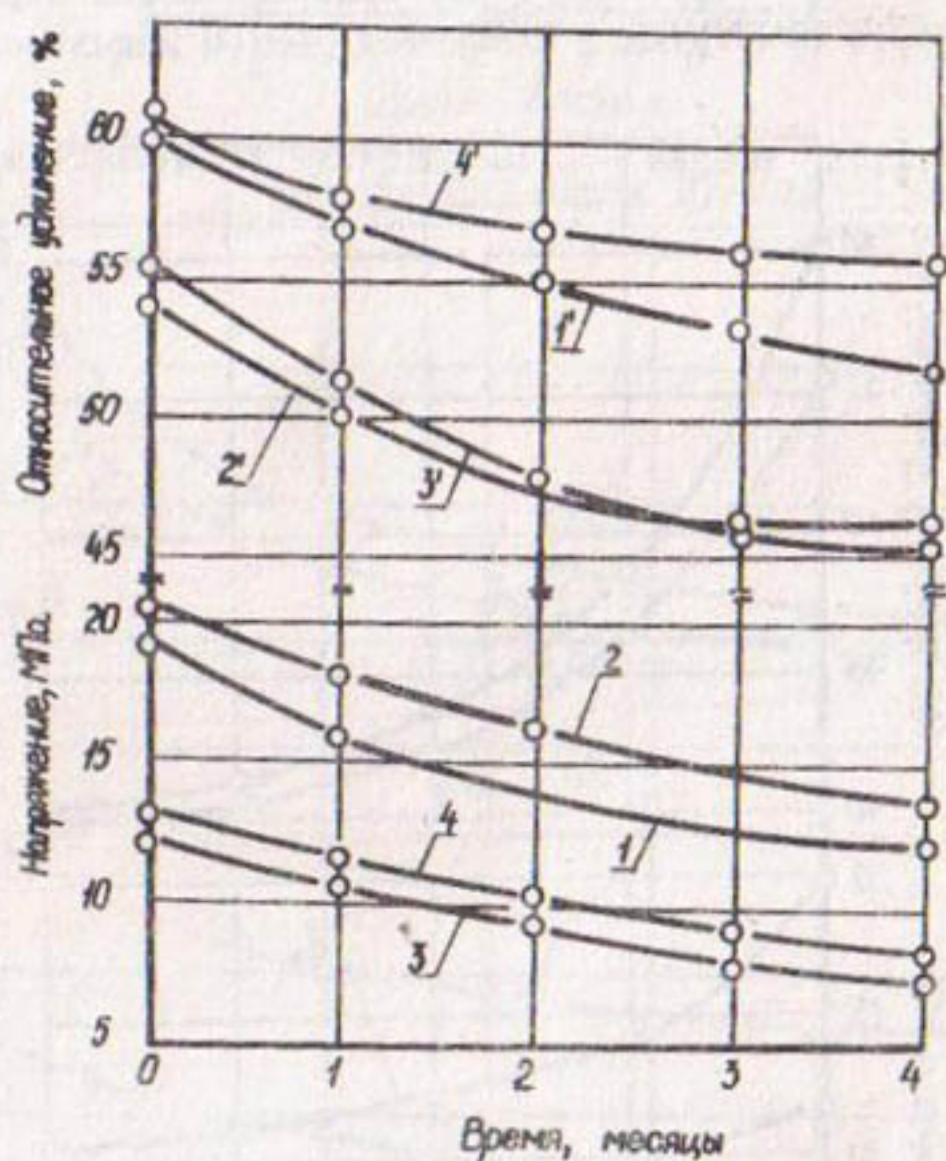


Рис. 4. Зависимость прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве материалов капельниц от почвенной среды, растворов минеральных удобрений (стендовые испытания в ВНИИМТ): 1, 2-Р, 2'- ПЭВД марки 204.07К, 208-07; 3, 4-3, 4' - ПЭНД марки 108-020, 107-010



Наибольшее воздействие на снижение прочностных свойств оказывает повышенная температура и ультрафиолетовое облучение (лабораторные испытания), которые вызывают охрупчивание деталей и ускоряют процесс старения материалов. Это сокращает сроки службы конструкций, является одной из причин выхода их из строя. Для замедления процессов старения необходимо введение в материалы термо- и светостабилизаторов.

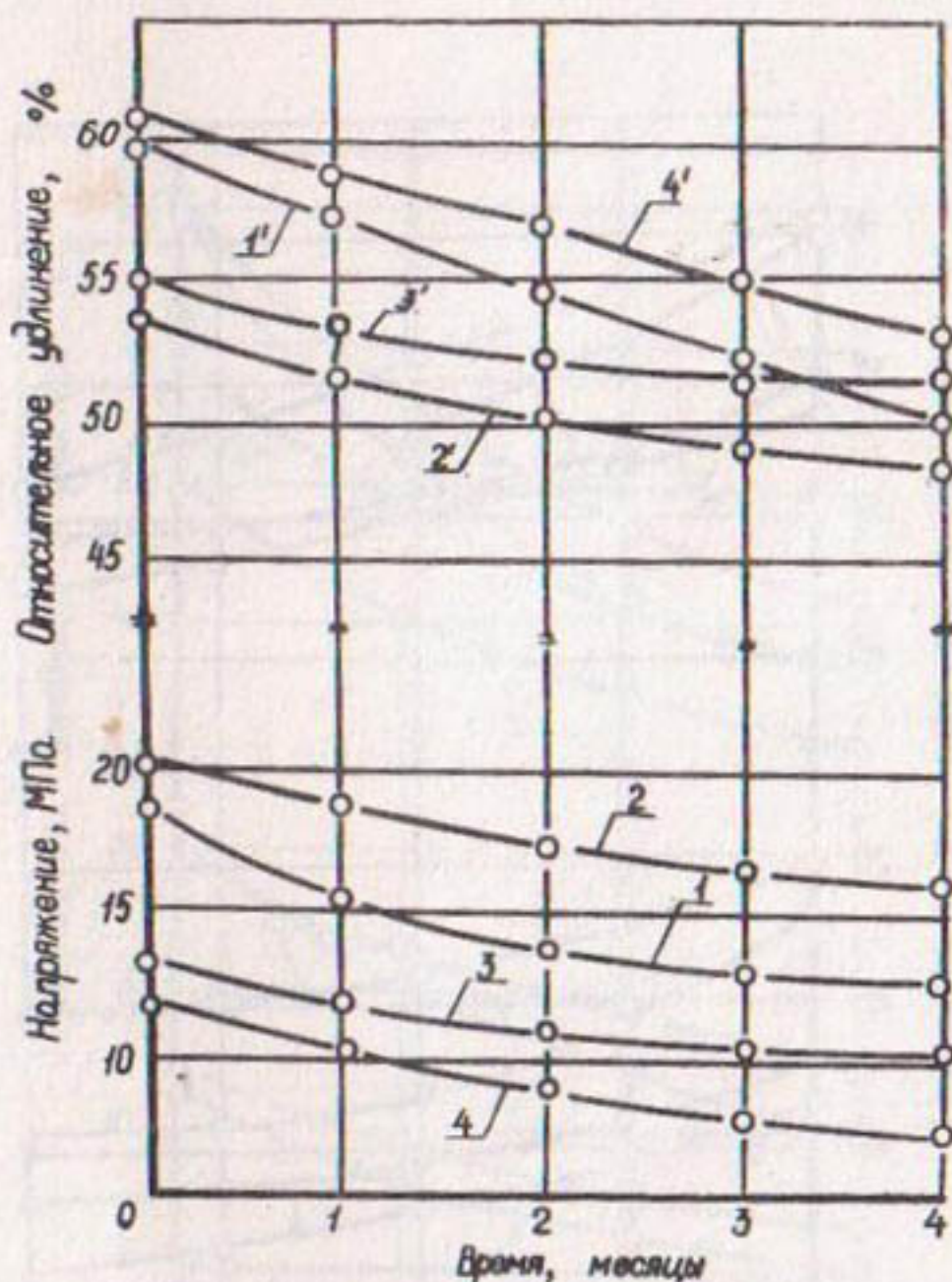


Рис. 5. Зависимость прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве материалов капельниц от условий эксплуатации (надпочвенный вариант размещения капельниц на высоте 1 м от поверхности почвы) — полевые испытания в яблоневом саду ЭИХ ВНИИМитП в сезоне 1975 г:  
 1, 2 — ПЭВП марки 204.07 К, 208.07; 3, 4 — ПЭВП марки 108-020, 107-010



Влияние почвенной среды, поливной воды и минеральных удобрений выразалось в снижении прочности и относительного удлинения у ПЭВП и ПЭНП от 8,9 до 10,0% (стендовые и полевые испытания).

Водопоглощение у ПЭВП и ПЭНП практически одинаково и составило 0,3-0,4% в течение шести месяцев испытаний. Таким образом, полиэтилены всех марок являются водоустойчивыми материалами.

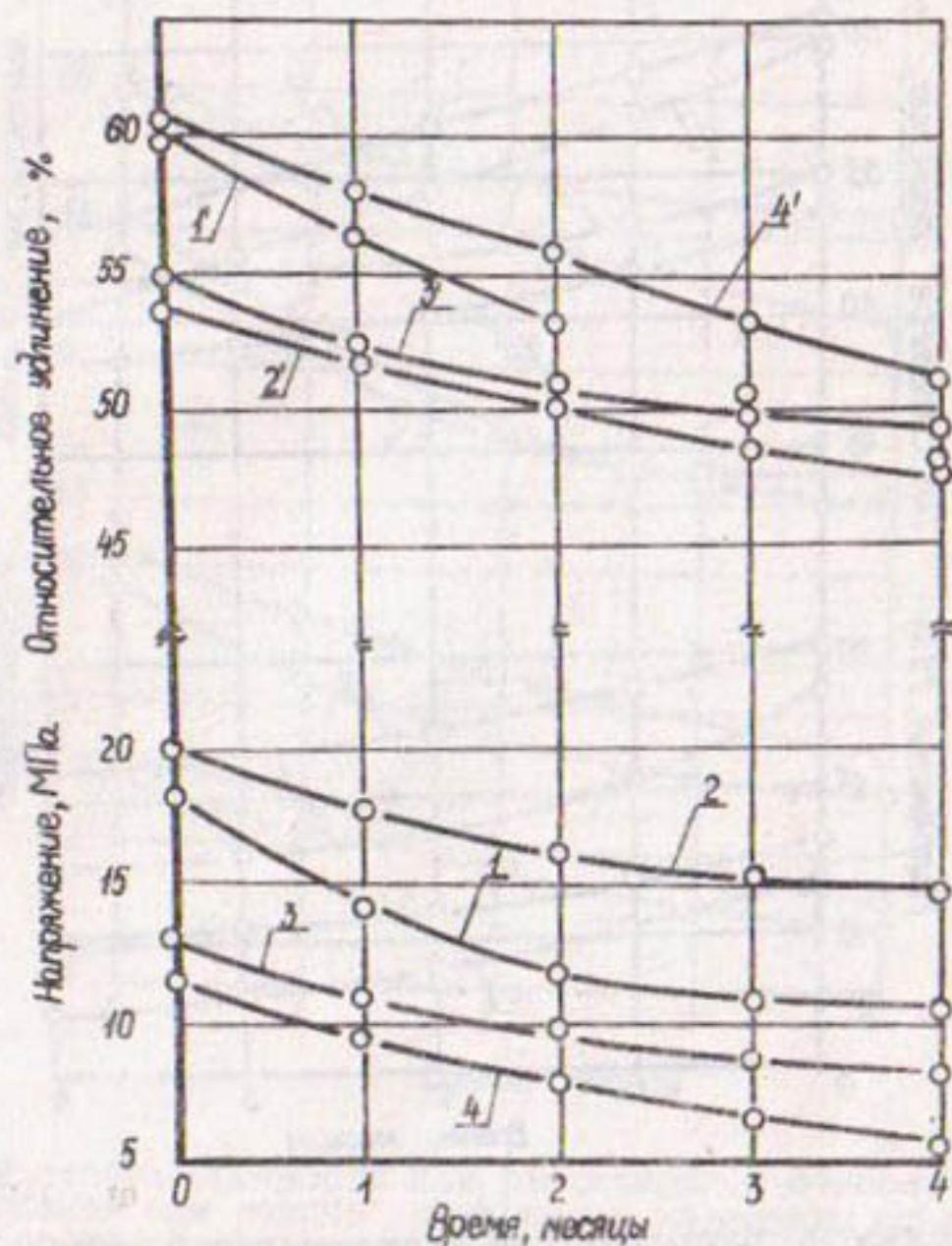


Рис. 6. Зависимость прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве материалов капельниц от условий эксплуатации (внутрипочвенный вариант размещения капельниц на глубине 100 мм от поверхности почвы). — полевые испытания в яблоневом саду ЗИХ ВНИИМ и ТП в сезоне 1975 г.: 1, 2 — 1', 2' — ПЭВП марки 204, 07 К, 208, 07; 3, 4 — 3', 4' — ПЭНП марки 108-020, 107-010



Для элементов систем капельного орошения, работающих в условиях закрытого грунта, в качестве трубопроводов можно применять шланги из ПЭНП, а для деталей капельниц - ПЭВП. При расположении трубопроводной сети и капельниц на поверхности почвы следует применять ПЭНП и ПЭВП со стабилизирующими добавками.

Имеющиеся изменения физико-механических свойств термопластов и, в частности, полиэтиленов ПЭНП и ПЭВП необходимо учитывать при разработке конструкций элементов систем капельного орошения.

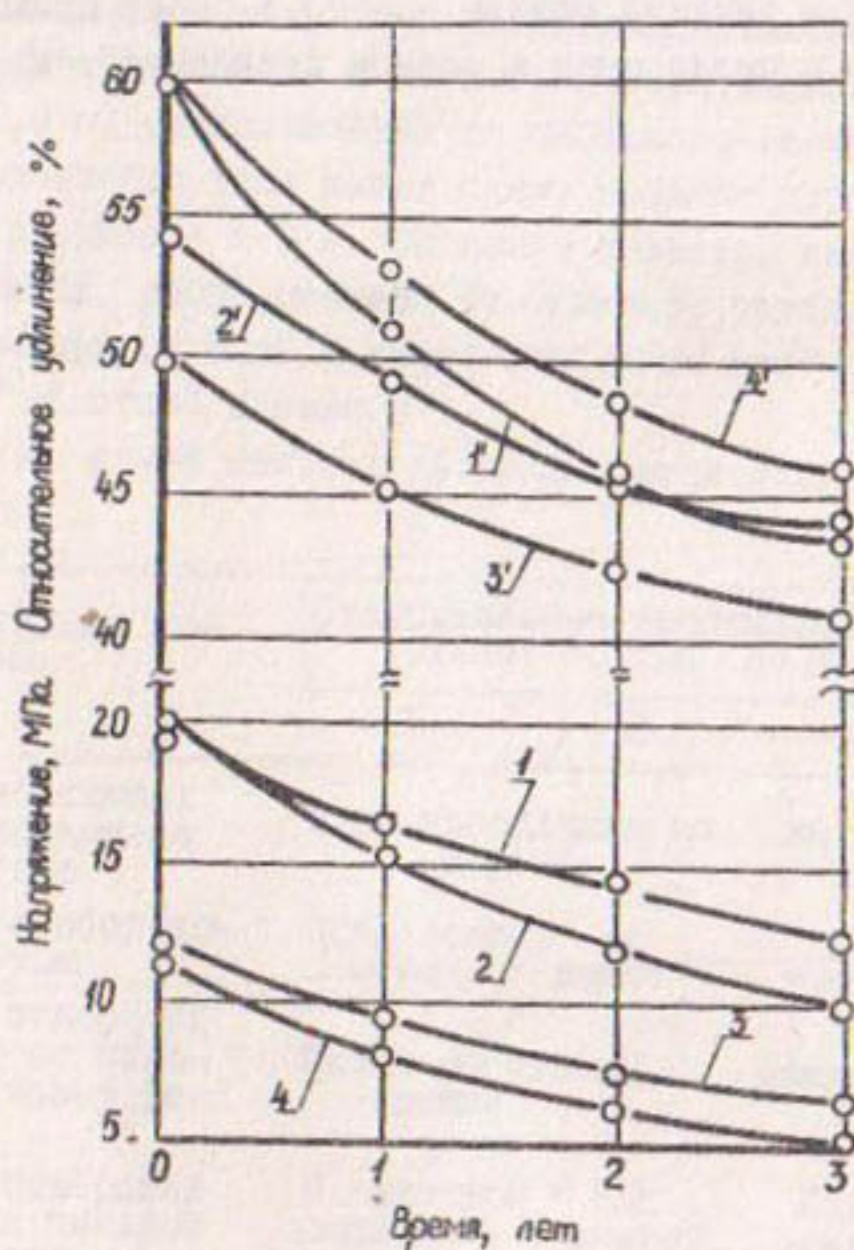


Рис. 7. Зависимость прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве материалов капельниц от условий эксплуатации (полевые испытания в совхозе "Прут" Молдавской ССР в сезонах 1974-1976 гг.): 1, 2 - 1', 2' - ПЭВП марки 204.07 К, 208.07; 3, 4 - 3', 4' - ПЭНП марки 108-020, 107-010



## Л и т е р а т у р а

1. Научно-технический отчет ВНИИМитП за 1976 г. по теме 0.52.133-В "Разработка принципиальных схем и конструкций систем капельного орошения". Коломна.

2. Ломакин А.Т., Голузин Л.Н. Изменение прочностных свойств пластмассовых капельниц и пневмогидроаккумуляторов в процессе их эксплуатации. Труды ВНИИМитП, т.8, Коломна, 1973.

3. Ломакин А.Т., Голузин Л.Н. Применение полимерных материалов в технике полива. - В сб.: "Опыт применения полимерных материалов в мелиорации и водном хозяйстве". М., "Колос", 1973.



# УВЛАЖНЕНИЕ ГРУШЕВОГО САДА ПРИ ИМПУЛЬСНО-КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ НА ВЫСОКОВОДОПРОНИЦАЕМЫХ ПОЧВАХ

Исследования контуров увлажнения, создаваемых капельницами "Коломна-1", проводились в грушевом саду совхоза-завода "Алушта" Крымской области. Отличительными особенностями участка орошения явились почвенные условия. Это аллювиально-делювиальная слабокарбонатная среднесуглинистая и легкоглинистая каменистая почва, мощностью 0,6-1,0 м, расположенная на щебенисто-галечниковом горизонте. Сад пальметтного типа имеет схему посадки деревьев (вступающих в плодоношение) 4 x 5 м. Согласно проекту, каждое дерево снабжено капельницей, расположенной на поливном трубопроводе, на высоте нижней шпалеры (0,5 м) и имеет свободное истечение струи, ориентированное на штаб дерева.

Вариантами опыта явились следующие отличительные элементы техники полива.

| Элемент техники полива                                               | Отличительные особенности элементов техники полива по вариантам |                          |            |               |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------|------------|---------------|
|                                                                      | I                                                               | 2                        | 3          | 4             |
| Количество работающих станков, приходящихся на одно растение         | Одна капельница на дерево                                       | Две капельницы на дерево |            |               |
| Дополнительное оборудование водовыпуска                              | Один водотвод                                                   | Не имеет                 | Не имеет   | Один водотвод |
| Расположение отверстий водотводов по отношению к единичному растению | Около корневой шейки                                            | Между растениями в ряду  |            |               |
| Расположение отверстий по отношению к дневной поверхности почвы      | В пахотном подпахотном горизонте                                | Над землей               | Над землей | На земле      |

В результате исследований было определено, что на площадь увлажнения дневной поверхности почвы мало влияет интенсивность водоподачи в расчете на непрерывность и каждодневность полива. Когда за три дня ежедневных поливов было подано 85 л воды на дерево, то площадь смачивания из капельницы, снабженной водот-



водом, равнялась 0,06-0,14 м<sup>2</sup>, а для капельницы, имевшей свободный выплеск-0,12-0,14 м<sup>2</sup>. Площадь смачивания сократилась на 20-30% когда за три полива было подано 57 л на дерево с межполивными периодами в 2 дня или при снижении интенсивности водоподачи в 3,5 раза.

В тех случаях, когда под дерево было установлено по две капельницы, и за час в сумме подавалось 4-5 л поливной воды, а всего за 6 предшествующих дней было подано 155 л на дерево, то видимая площадь смачивания составила лишь 0,2 м<sup>2</sup>. Раскопка через этот контур увлажнения выявила зону в горизонтальном сечении, равную 2 м<sup>2</sup>, что составляет от площади схемы посадки дерева всего 10%. Почва при этом промачивалась до щебенистого горизонта, и часть поливной воды уходила из корнеобитаемого слоя (рис.1).

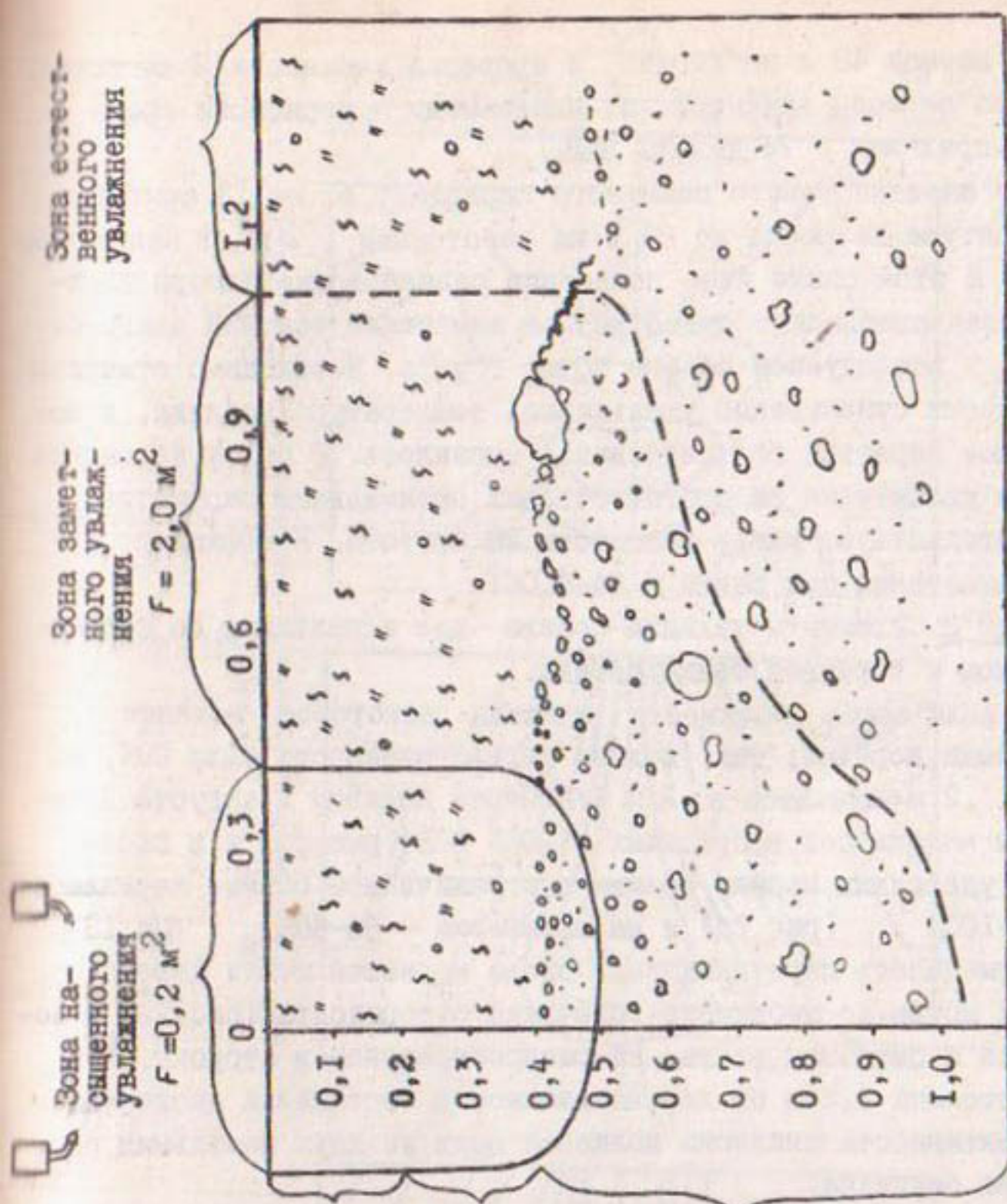
Поскольку на опытно-производственном участке производились отладочные работы, режим орошения сложился асинхронный, то есть не ежедневный. Так, из 44 дней опытного поливного периода (с 1 августа по 13 сентября 1977 г.) поливы проводились 23 дня, 6 дней было с естественными осадками 2-7 мм, в один день выпало 28 мм, и 14 дней без полива. В среднем каждый день поливной воды подавалось по 10,2 л на дерево с объемом выплеска за час 2-2,5 л на дерево. Контроль за влажностью почвы осуществлялся термостатно-весовым методом по глубине профиля через 10 см до щебенистого грунта в 4-х пунктах, расположенных на расстоянии 30, 60, 90, 120 см от капельницы. Наблюдение за одним и тем же контуром увлажнения проводилось 5-7 раз в течение опытного периода.

Рассмотрим результаты импульсно-капельного орошения по вариантам опыта.

Вариант 1. Элементы техники полива - одна капельница с водоотводом, введенным в пахотный горизонт без перфорации и дренирующего заполнителя. Перед поливом влажность слоя почвы 0-80 см вблизи дерева составила 40% и на периферии кроны - 49% ППВ. По мере проведения поливов влажность вблизи водоотвода в этом слое поднималась до 80-100% ППВ, а в точке на расстоянии 0,60 м от дерева влажность почвы была около 60%, и далее влияние поливов не прослеживалось. Влага уходила в песчано-щебенистый горизонт, не создавая оптимальных условий увлажнения.

Вариант 2. Элементы техники полива - одна капельница со свободным выплеском. На 15 июля имели место поливы малыми нормами, вблизи капельницы слой почвы (0-80 см) имел влажность 71%, на расстоянии 0,9 м от дерева снижалась до 63% ППВ. 1 августа был про-





- а
- Характер увлажнения
- б
- 6-11 авг. - 2,2 мм ест. осадков
- 12 авг. - 57 л на дер.
- 13 авг. - 62 л на дер.
- 0,9 мм ест. осадков
- 0,0
- 36 л на дер.
- 11,2 мм ест. осадков
- 14 авг.
- 15 авг.
- 16 авг.
- 17 авг. - 0,8 мм ест. осадков
- в

Рис. I. Профиль увлажнения почво-грунта двумя капельницами "Колонна-1": а) пахотный горизонт; б) подпахотный горизонт; в) горизонт щебня, песка, аргиллита



веден полив нормой 40 л на дерево, и проверка влажности 2 августа показала, что перепад влажности от капельницы к периферии кроны находился в пределах с 74 до 51% ППВ.

К концу анализируемого поливного периода, т.е. на 13 сентября, влажность контура возросла до 84 и на расстоянии 1,2 м от капельницы до 77% ППВ. В этом опыте лишь последние сентябрьские замеры влажности свидетельствовали о существенном изменении условий влагообеспеченности в исследуемом объеме почво-грунта. Необходимо отметить, что в это время существенно уменьшилась температура воздуха, и водопотребление деревьев соответственно снизилось. В целом же сложившийся режим увлажнения не соответствовал оптимальным параметрам, о чем свидетельствует замер влажности 23 августа. Коэффициент локального увлажнения был равен 0,04–0,06.

Вариант 3. Элементы техники полива – две капельницы со свободным выплеском к корневой шейке дерева.

На 11 июля замер влажности показал некоторое влияние поливов малыми нормами; так, вблизи дерева влажность была 69%, на расстоянии 1,2 м снижалась до 63% ППВ. Перед поливом 1 августа влажность почвы находилась в пределах 76–66% ППВ (рис. 2а) и в последующем при удвоенных нормах полива в ограниченном объеме держалась нередко 90–100% (рис. 2б) и на периферии – 50–60%. На 13 сентября отмечалось переувлажнение около корневой шейки дерева от поверхности почвы до щебенисто-галечникового горизонта (рис. 2в) в который уходила избыточная влага, не распространяясь в стороны, так как на расстоянии 1,2 м от дерева влажность составляла около 43% ППВ. Неэффективность выплеска поливной воды из двух капельниц под штамб дерева очевидна.

Коэффициент локального увлажнения был равен 0,06–0,08.

Вариант 4. Элементы техники полива – две капельницы, оборудованные свободно свисающими усами.

На 8 июля до установки второй капельницы под контрольным деревом влажность была равна 56% и в междурядье – 61% ППВ. После полива 1 августа все последующие замеры влажности не показали определенной зоны переувлажнения, как это было при свободным выплеском. Кроме того, свободно свисающий ус от полива к поливу не имел постоянной точки соприкосновения с землей. Перемещался он под действием ветра, почвообрабатывающих орудий и других причин, поэтому четыре точки определения влажности не могли дать представление о контуре увлажнения почвы. Здесь не было постоянного контура увлаж-



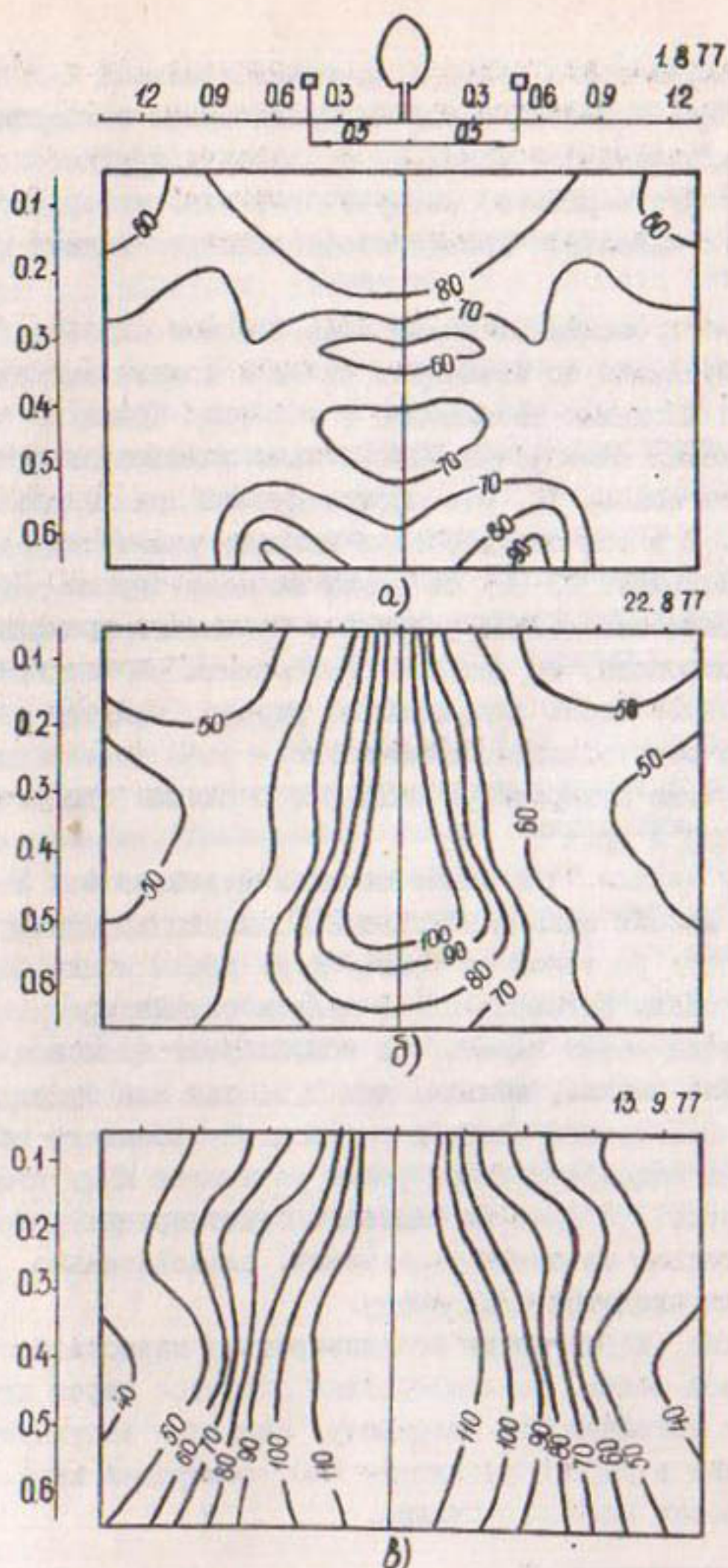


Рис. 2 (а, б, в). Карты распределения влажности в контуре увлажнения вариант 3 □ – капельница "Коломна-1" 0,3; 0,6; 0,9; 1,2 – расстояние от штамба дерева, м 0,1; 0,2; 0,6 – глубина по профилю, м —70— изоплеты влажности в % от ППВ



нения, и миграция этого контура на горизонтальной плоскости в небольших пределах является одной из предпосылок ликвидации анаэробной избыточноувлажненной зоны. Не вдаваясь в другие специфические особенности этого варианта, следует отметить, что рассредоточение выплесков двух капельниц вполне обосновано для данных почвенных условий.

На основе проведенных исследований можно сделать предварительные рекомендации по элементам техники полива импульсно-капельного орошения плодовых насаждений в условиях Крыма на средне- и высокопроницаемых каменистых аллювиально-делювиальных почвах.

Примем за основу <sup>ж)</sup>, что эффективность при локальном орошении достигается в том случае, если площадь увлажнения в интенсивных садах составляет 20-30% от общей площади брутто. Поскольку эту долю площади необходимо увлажнить из одного прямолинейно уложенного трубопровода, то остается определить расход капельницы, найти оптимальное число капельниц на дерево, выбрать элементы дополнительного оборудования, включающие в себя количество водоотводов, количество отверстий в них, расположение отверстий относительно растения и др.

По нашим данным, при схеме посадки деревьев 4 x 5 м. почвоувлажнительный эффект едва достигает 10%, а это не может удовлетворить потребность растений во влаге, т.к. объем контура увлажнения выходит за пределы оптимальных. В данном случае требуемый растениями объем воды можно выдать, но коэффициент её использования будет чрезвычайно низким, меньше, чем 0,9, так как будет иметь место глубинная фильтрация влаги в бесплодный щебенисто-галечниковый горизонт. Если подобрать такой режим установки ИКО, чтобы сократить потери воды, то вряд ли растение будет ориентировать корневую систему только на пятно увлажнения, следовательно, эффективность орошения сведется к минимуму.

В принципе, корни можно локализовать в известной степени вблизи корневой шейки, но последствия скажутся через несколько лет на потере устойчивости ветровалу, снижении засухоустойчивости в случае отказа в работе установки ИКО, отмирании корневой шейки, на нестабильности пищевого режима.

---

<sup>ж)</sup> Келлер Дж., Кармелл Д. Проектирование систем капельного орошения. 1975.



Поэтому для условий грушевого сада в с-зе "Алушта" следует рекомендовать увеличение числа точек водовыдела на каждое дерево с тем, чтобы коэффициент локального увлажнения был не менее 20%. Здесь нельзя применить внутрипочвенный выплеск из-за дренированности почвы. Следовательно, надземное расположение капельниц должно сочетаться с элементами, увеличивающими площадь смачивания. Вполне очевидно, что чем ниже надежность капельниц в работе и чем более неравномерно они работают, тем больше капельниц нужно ставить в расчете на одно дерево. С другой стороны, чем большим количеством водовыделов снабжен водоотвод одной достаточно надежной капельницы, тем более неравномернее будет распределяться поливная вода, вследствие невыравненности водоотвода в горизонтальной плоскости. Расчет числа водовыделов прост. Это четыре точки, достаточно удаленные друг от друга. Можно произвести расчет другим способом — используя рекомендации Келлера и Кармелла. Строго говоря, при одном трубопроводе в ряду, отстоящем один от другого на 5 м, и расходе капельницы 2 л/ч не гарантируется увлажнение в 20%, а лишь 16%. При этом на отрезке трубопровода в 4 м должно быть 6 точек водовыдела. Увеличение числа импульсных капельниц до 4-6 нежелательно по экономическим соображениям, поэтому наличие перечисленных альтернатив позволяет избрать компромиссное решение, по которому на каждое дерево необходимо поставить по 2 капельницы, снабженные T или V-образными фитингами. Водоотводы или усы могут на фитинги не одеваться, если капельница стоит отвесно, и фитинговое устройство обеспечивает удаление основной массы поливной воды, деленной на равные части, на расстояние 1,0-1,2 м друг от друга. Наличие касающихся земли усов, по нашему мнению, в обрабатываемом междурядье нежелательно.



ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДНОЙ СЕТИ ДЛЯ  
СИСТЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

При проектировании систем капельного орошения важным вопросом является правильный гидравлический расчет, который обуславливает выбор необходимых диаметров распределительных, оросительных и магистрального трубопроводов и успешную эксплуатацию системы.

В данной статье приводится методика расчета трубопроводной сети для систем капельного орошения с двумя видами капельниц: непрерывного действия и импульсными.

Системы с капельницами непрерывного действия

Головной расход поливного трубопровода определяется суммарным расходом одновременно работающих оросителей с учетом коэффициента полезного действия трубопровода

$$Q_{расч} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{\eta}, \quad (1)$$

где  $Q_{расч}$  — расход в голове поливного трубопровода, л/с;

$Q_i$  — расход одного оросителя, л/с;

$n$  — количество оросителей одновременно работающих на поливном трубопроводе;

$\eta$  — коэффициент полезного действия поливного трубопровода ( $\eta = 0,98$ ).

Расход оросительного трубопровода, на котором размещаются капельницы, определяется по зависимости

$$Q = \frac{q w}{\eta}, \quad (2)$$

где  $Q$  — расход воды оросительного трубопровода, л/с,

$q$  — ордината гидро модуля в рассматриваемый период, л/с на га,

$w$  — площадь, обслуживаемая оросительным трубопроводом, га;

$\eta$  — коэффициент, учитывающий возможные потери воды в оросительном трубопроводе ( $\eta = 0,98 - 0,97$ ).



Требуемый рабочий напор в голове оросителя определяется

$$H_{op} = h_k + h_r + h_w + h_m, \quad (3)$$

где  $h_k$  — рабочий напор капельницы, при котором обеспечивается подача расчетного расхода воды;

$h_r$  — геодезическая высота;

$h_w$  — потери напора по длине трубопровода;

$h_m$  — местные потери напора.

В системах капельного орошения мы имеем случай непрерывной раздачи расхода по длине трубопровода. Конкретных рекомендаций по расчету потерь напора в оросительных трубопроводах для систем капельного орошения не имеется. Формулы, применяемые и рекомендуемые по теории гидравлики переменной массы, не учитывают специфики процессов, проходящих в системах капельного орошения, а поэтому до уточнения данного вопроса потери напора по длине оросительного трубопровода можно рассчитывать по общепринятой формуле

$$h_w = \frac{1}{3} \cdot \frac{Q^2}{\kappa^2} l, \quad (4)$$

где  $\kappa$  — расходная характеристика трубопровода;

$$\kappa = \sqrt{\frac{g \pi^2 d^5}{8 \lambda}},$$

$d$  — диаметр трубопровода;

$l$  — длина трубопровода;

$g$  — ускорение свободного падения;

$\lambda$  — коэффициент гидравлического трения.

Местные потери напора учитываются путем увеличения потерь напора по длине на 10%, тогда

$$h_w + h_m = \frac{1,1}{3} \cdot \frac{Q^2}{\kappa^2} l. \quad (5)$$

Рабочий напор капельниц определяется по их расходно-напорной характеристике, выбранной для проекта конструкции.

При заданной длине оросителя задача расчета сводится к определению наименьшего диаметра труб, при котором обеспечивается равномерная раздача воды вдоль оросителя с допустимым отклонением расходов отдельных капельниц.

Если обозначить допустимую величину отклонения расходов капельниц  $K_p$ , как отношение расхода первой капельницы к расходу по-



следней, то получим следующее выражение

$$K_p \geq \frac{q_n}{q_k} = \sqrt{\frac{H_{op}}{h_k}},$$

откуда

$$H_{op} \leq K_p^2 \cdot h_k. \quad (6)$$

По существующим в настоящее время литературным данным  $K_p$  можно принимать равным 1,1 - 1,2.

По формуле (3) определяем величину  $H_{op}$  для нескольких диаметров труб. Находим величину минимального диаметра, отвечающего условию (6).

При проектировании систем капельного орошения важно найти оптимальное соотношение между длиной оросительного трубопровода и его диаметром для принятой технологии полива и организации территории орошаемого участка.

Задача решается путем сопоставления различных вариантов по их экономическим показателям, при этом гидравлический расчет оросительного трубопровода для каждого варианта производится по вышеизложенной методике.

Приведем пример гидравлического расчета оросительного трубопровода для полива садовых насаждений.

Для расчета имеем следующие исходные данные:

$l = 240$  м - длина оросительного трубопровода;

$\beta = 8$  м - расстояние между оросителями;

$\beta_k = 6$  м - расстояние между капельницами; число капельниц в точке раздачи - 4 шт.

$q = 0,5$  л/с на га,  $\eta = 0,98$ ,  $h_k = 0$ ,  $K_p = 1,2$ ,  
трубы полиэтиленовые (МРТУ 6-05-917-67).

Определяем:

1. Площадь, орошаемую из трубопровода,

$$S_{op} = l \cdot \beta = 240 \times 8 = 0,192 \text{ га.}$$

2. Расход оросительного трубопровода по формуле (2)

$$Q = \frac{0,192 \cdot 0,5}{0,98} = 0,098 \text{ л/с.}$$

3. Количество капельниц на оросителе

$$n = \frac{l}{\beta} \cdot 4 = \frac{240}{6} \cdot 4 = 160 \text{ шт.}$$



4. Площадь, обслуживаемая одной капельницей,

$$F = \frac{w}{n} = \frac{1920}{160} = 12 \text{ м}^2$$

5. Расход одной капельницы

$$q = \frac{Q}{n} = \frac{0,098}{160} \cdot 3600 = 2,2 \text{ л/ч.}$$

6. Рабочий напор капельницы берем по расходно-напорной характеристике (рис. I)

$$h_k = 10,8 \text{ м.}$$

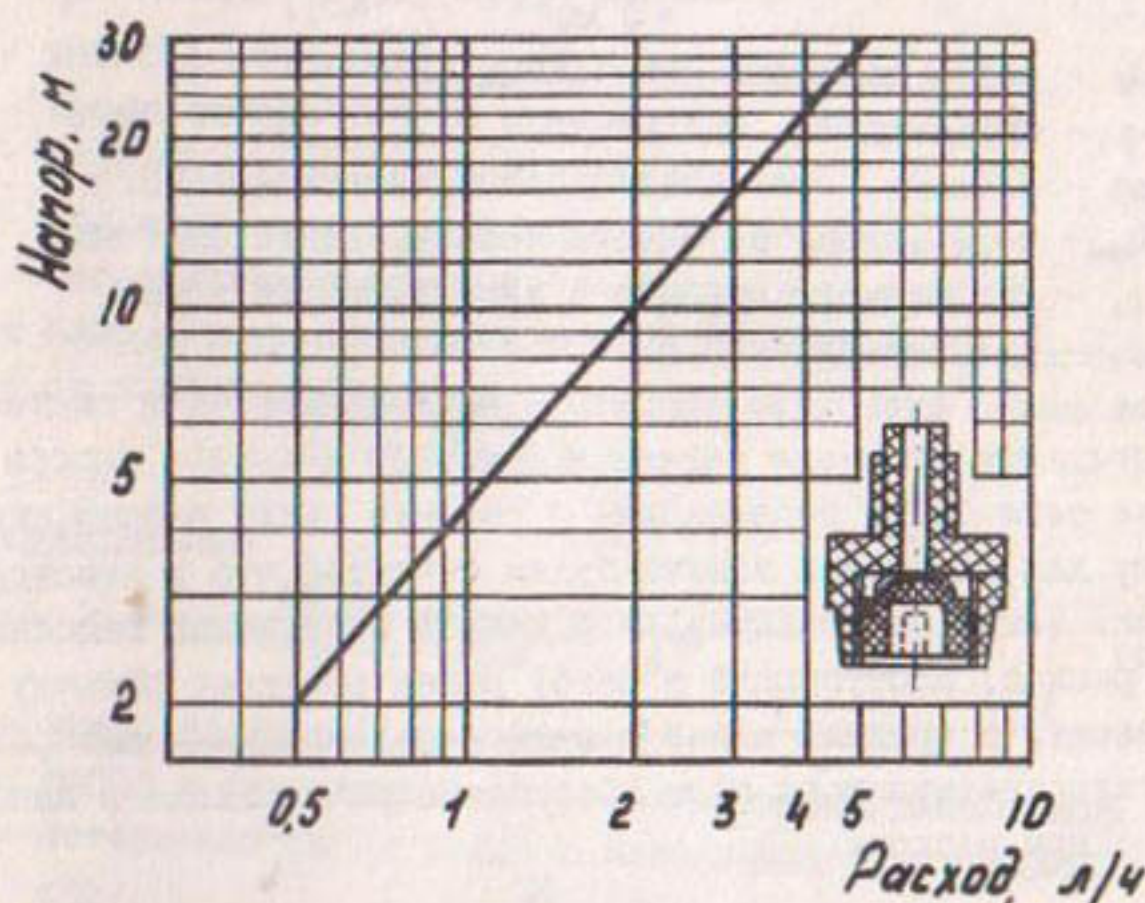


Рис. I. Расходно-напорная характеристика капельницы непрерывного действия

7. Задаемся диаметром трубопровода  $d = 16$  мм. По таблицам Ф.А. Шевелева для пластмассовых труб находим расходную характеристику  $K = 0,298$  л/с, тогда по формуле (3) находим  $H_{\text{тр}}$ :

$$a) \quad h_w + h_m = \frac{1,1}{3} \times \frac{0,098^2}{0,298} \times 240 = 9,54 \text{ м;}$$

$$б) \quad H_{\text{тр}} = 10,8 + 9,54 = 20,34 \text{ м.}$$

8. Проверяем выполнение условия (6):

$$K_p^2 \cdot h_k = 1,2^2 \cdot 10,8 = 15,5 \text{ м;}$$

$$H_{\text{тр}} = 20,34 \geq K_p^2 \cdot h_k = 15,5 \text{ м.}$$

Условие (6) не выполняется.



Аналогичный расчет для диаметра 20 мм дает величину  $H_{\text{кр}} = 14,81$  м, что меньше  $K_p^2 \cdot h_k = 15,5$  м.  
Принимаем окончательно диаметр 20 мм.

### Системы с капельницами импульсного действия

Задачей гидравлического расчета является нахождение таких диаметров труб сети и параметров напорообразующего узла, при которых время заполнения гидроаккумуляторов всех капельниц было бы равно  $T$

$$T = \frac{V_g \cdot K_{\text{сут}} \cdot \eta_1}{q \cdot \omega_k} - t_g, \quad (7)$$

где  $V_g$  — объем вытеска капельницы, л;  
 $q$  — гидромодуль, л/с на га;  
 $\omega_k$  — площадь, орошаемая одной капельницей, га;  
 $K_{\text{сут}}$  — коэффициент суточного использования системы;  
 $\eta_1$  — коэффициент суточного использования воды;  
 $t_g$  — время вытеска, с,

а приведенные ежегодные затраты — наименьшими. Для систем импульсно-капельного орошения значения расходов и потерь напора на каждом участке сети будут переменными в течение цикла работы системы, поэтому для упрощения задачи будем считать, что в некоторый момент времени, когда гидроаккумулятор каждой капельницы заполнен наполовину, расход, поступающий в него, равен среднему расходу за время заполнения, а средний напор в сети перед капельницами равен напору в гидроаккумуляторе плюс потери напора на входе в капельницу при среднем расходе

$$Q_k^{\text{cp}} = \frac{V_g}{T}. \quad (8)$$

где  $Q_k^{\text{cp}}$  — средний расход, поступающий в капельницу за время заполнения.

Из (7) и (8) получим

$$Q_k^{\text{cp}} = \frac{q \cdot \omega_k}{K_{\text{сут}} \cdot \eta_1} \left( 1 + \frac{t_g}{T} \right). \quad (9)$$

Расход участка сети равен суммарному расходу подвешенных к нему капельниц

$$Q_i^{\text{cp}} = i \cdot Q_k^{\text{cp}},$$

где  $Q_i^{\text{cp}}$  — средний расход  $i$ -го участка сети;  
 $N_i$  — количество капельниц, подвешенных к  $i$ -му участку сети.



$$\text{В голове системы } Q_{cp} = N_K Q_K^{cp}, \quad (I0)$$

где  $N_K$  — количество капельниц на системе.

Напор в сети перед капельницей равен напору, создаваемому насосной станцией при среднем расходе за вычетом потерь напора на участках сети, соединяющих капельницу с насосной станцией (для древовидной сети этот путь только один), плюс разность геодезических отметок насосной станции и капельницы

$$H_j = N(Q_{cp}) - \sum_i h_i + H_{н.с.}^{geo} - H_j^{geo} \quad (II)$$

где  $H_j$  — напор в сети перед  $j$ -й капельницей, м;

$\sum_i h_i$  — сумма потерь напора по участкам, соединяющим  $j$ -ю капельницу с насосной станцией, м;

$H_{н.с.}^{geo}$  — геодезическая отметка насосной станции, м;

$H_j^{geo}$  — геодезическая отметка  $j$ -й капельницы, м.

Потери напора в трубопроводе обычно определяется как степенная функция от расхода и диаметра

$$h_i = K \frac{Q_i^m}{d_i^m} \cdot l_i. \quad (I2)$$

По предположению

$$\frac{\sum_{j=1}^{N_K} H_j}{N_K} = H_K^{cp} + h_K^{cp}, \quad (I3)$$

где  $N_K$  — число капельниц на системе;

$H_K^{cp}$  — напор в гидроаккумуляторе, заполненном наполовину, м;

$h_K^{cp}$  — потери напора на входе в капельницу при среднем расходе, м

$$H_K^{cp} = \frac{2H_n \cdot H_b}{H_n + H_b},$$

где  $H_n, H_b$  — соответственно нижний и верхний рабочий напор капельницы (все напоры абсолютные).

Из (II), (I2) и (I3) получим

$$N(Q_{cp}) = H_{cp}^{geo} - H_{н.с.}^{geo} + H_K^{cp} + h_K^{cp} + \frac{K}{Q_{cp}} \sum_{i=1}^{N_y} \frac{(Q_i^{cp})^{p+1}}{d_i^m} l_i, \quad (I4)$$

где  $N_y$  — число участков сети,  $H_{cp}^{geo} = \sum_{j=1}^{N_K} \frac{H_j^{geo}}{N_K}$ .



Приведенные ежегодные затраты обычно выражаются следующей формулой

$$W = (P_{rp} + E) \sum_{i=1}^{N_y} (a + b \cdot d_i^\alpha) \cdot t_i + p \cdot H(Q) \cdot Q, \quad (I5)$$

где  $W$  - приведенная величина ежегодных затрат, руб;

$P_{rp}$  - нормативный процент ежегодных отчислений на амортизацию и текущий ремонт от строительной стоимости трубопроводной сети;

$E = \frac{1}{t_0}$  - коэффициент эффективности капитальных вложений;

$t_0$  - нормативный срок окупаемости капитальных вложений;

$d_i$  - диаметр труб участков, м;

$t_i$  - длина участков, м;

$a + b d_i^\alpha$  - эмпирическая формула строительной стоимости труб на единицу длины, руб/м;

$H(Q)$  - напор, создаваемый насосной станцией, м;

$Q$  - расход, подаваемый в систему

$$p = \frac{(P_{nc} + E) \cdot f \cdot r + 8760 \cdot \phi \cdot \gamma}{102 \eta},$$

$P_{nc}$  - нормативный процент отчисления от строительной стоимости насосных станций;

$f$  - стоимость строительства насосной станции на единицу установленной мощности, руб/кВт;

$r$  - коэффициент резерва насосного оборудования;

$\phi$  - стоимость одного кВт.ч электроэнергии, руб./кВт.ч;

$\gamma$  - коэффициент неравномерности расходования энергии на подачу воды в течение расчетного периода времени;

$\eta$  - общий коэффициент полезного действия насосной станции.

Подставим (I4) в (I5), продифференцируем полученную функцию по  $d_i$  и приравняем все производные к нулю. В точке экстремума

$$d_i = \left[ \frac{p \cdot m \cdot K}{(P_{rp} + E) \alpha \cdot b} \right]^{\frac{1}{m+\alpha}} (Q_i^{cp})^{\frac{\beta+1}{m+\alpha}} \quad (I6)$$

Нетрудно доказать, что функция имеет минимум в данной точке. Напор, создаваемый насосной станцией, при  $Q = Q_{cp}$

$$H(Q_{cp}) = H_{cp}^{zco} - H_{nc}^{zco} + H_K^{cp} + h_K^{cp} + \frac{K}{Q_{cp}} \sum_{i=1}^{N_y} \frac{(Q_i^{cp})^{\beta+1}}{d_i^m} \cdot t_i, \quad (I7)$$

где  $d_i$  - определены по формуле (I6).



При подборе насосных агрегатов кроме условия (I7) необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\max H(Q) + H_{\kappa.c}^{z.c.} \geq H_0 + \max H_j^{z.c.} + 5 \text{ м}, \quad (\text{I8})$$

где  $\max H(Q)$  – максимальный напор, создаваемый насосной станцией, м;

$\max H_j^{z.c.}$  – максимальная геодезическая отметка капельниц, м.

Выполнение этого условия обеспечивает заполнение гидроаккумуляторов всех капельниц до расчетного объема.

Подставив в формулу (I6) значения входящих в нее величин, получим

$$d_i = 0,81 (Q_i^{cp})^{0,442} \quad (\text{I9})$$

где  $d_i$  – в метрах;  $Q_i^{cp}$  – в м<sup>3</sup>/с.

Так как для систем капельного орошения число участков трубопроводов последнего и предпоследнего порядка (поливных и распределительных) очень велико, то рассчитывать диаметр на каждом участке нецелесообразно, тем более, что обычно диаметр трубопровода выбирается постоянным по длине из-за удобства монтажа.

В этом случае формула (I6) принимает следующий вид

$$d_r = \left[ \frac{\rho \cdot m \cdot \kappa}{(\rho_r \rho + E) \alpha \cdot \beta} \right]^{\frac{1}{m \cdot \alpha}} \cdot \left[ \frac{\sum_r t_i (Q_i^{cp})^{\beta+1}}{\sum_r t_i} \right]^{\frac{1}{m + \alpha}}, \quad (\text{20})$$

где  $d_r$  – диаметр трубопровода;

$\sum_r t_i$  – сумма длин участков данного трубопровода;

$\sum_r t_i = l_r$  – длина трубопровода.

В данном случае сумму можно заменить интегралом

$$\frac{\sum_r t_i (Q_i^{cp})^{\beta+1}}{l_r} = \frac{\int_r (Q_r^{cp} \cdot \frac{l}{l_r})^{\beta+1} d \cdot l}{l_r} = \frac{(Q_r^{cp})^{\beta+1}}{\beta + 2}.$$

Окончательно получим

$$d_r = 0,855 (Q_r^{cp})^{0,442}, \quad (\text{2I})$$

где  $Q_r^{cp}$  – расход в голове данного трубопровода.

Требуемый рабочий напор в голове системы импульсно-капельного орошения при расходе  $Q_{cp} = N_{\kappa} \cdot Q_{\kappa}^{cp}$  определяется по формуле (I7). Подставив в нее (20) и значения  $\beta = 1,774$ ,  $m = 4,774$  и заменив суммы интегралами, получим

$$H = (QH_{cp}) = H_{cp}^{z.c.} - H_{\kappa.c}^{z.c.} + H_{\kappa}^{cp} + h_{\kappa}^{cp} + 1,1 \left[ \frac{0,00208}{Q_{cp}} \sum_r l_r (Q_r^{cp})^{2,442} + \frac{0,00286}{Q_{cp}} \sum_i t_i (Q_i)^{2,442} \right],$$



где  $I, I$  - коэффициент для учета местных потерь;

$\sum_r$  - сумма по всем трубопроводам последнего и предпоследнего порядка (поливным и распределительным);

$\frac{\sum}{L}$  - сумма по участкам трубопроводов старших порядков.

Приведем пример расчета диаметров трубопроводной сети и параметров напоробразующего узла системы импульсно-капельного орошения.

Для расчета имеем следующие исходные данные:

$$H_f^{тео} = H_{н.с.}^{тео} - \text{для всех капельниц.}$$

От насосной станции идет один распределитель длиной 100 м, через каждые 5 м от него отходят 20 оросителей длиной 50 м каждый. Расстояние между капельницами на оросителе 5 м. На каждом оросителе расположено по 20 капельниц.

$$q = 0,5 \text{ л/с на га; } H_0 = 20 \text{ м; } H_k^{ср} = 10 \text{ м; } h_k^{ср} = 0.$$

I Площадь, поливаемая одним оросителем, равна

$$w = 5 \cdot 50 = 250 \text{ м}^2 = 0,025 \text{ га.}$$

Расход в голове оросителя  $Q_{ор} = q w = 0,0125 \text{ л/с} = 1,25 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с};$

$$d_{ор} = 0,655 (1,25 \cdot 10^{-5})^{0,442} = 6,83 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Выбираем  $d_{ор} = 8 \text{ мм}$  - ближайший больший стандартный диаметр.

2. Расход в голове распределителя

$$Q_{пр} = q w = 0,25 \text{ л/с} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$d_{пр} = 0,655 (2,5 \cdot 10^{-4})^{0,442} = 2,56 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Выбираем  $d_{пр} = 25 \text{ мм.}$

3. При расходе  $Q_{ср} = q w = 0,25 \text{ л/с} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$

$$H(Q_{ср}) = 10 \text{ м} + I, I \left[ \frac{0,00208}{2,5 \cdot 10^{-4}} \cdot 20 \cdot 50 (1,25 \cdot 10^{-5})^{0,664} + \frac{0,00208}{2,5 \cdot 10^{-4}} \cdot 100 (2,5 \cdot 10^{-4})^{0,664} \right] =$$

$$= 10 + I, I [4,6 + 3,4] = 18,8 \text{ м}$$

$$\max H(Q) = 20 + 5 = 25 \text{ м.}$$



К. т. н. Федоренко А. А.  
(ВНИИМИП)

# ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛИВНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

Оросительная сеть системы капельного орошения состоит из магистральных (МТ), распределительных (РТ), участковых (УТ) и поливных трубопроводов (ПТ).

В процессе проектирования систем капельного орошения наибольшая сложность возникает при расчете поливных трубопроводов, которые должны быть запроектированы таким образом, чтобы разность напоров в различных сечениях не превышала допустимых пределов, что создает необходимые условия для обеспечения более равномерного расхода капельниц.

Это ограничение вызывает необходимость точного определения потерь напора в ПТ и во многих случаях необходимость подбора телекопических поливных трубопроводов.

Поливной трубопровод состоит из 2-х участков: подводящего (без капельниц) и поливного с капельницами.

Длиной подводящего участка  $L_{подв.}$  следует считать расстояние от участкового трубопровода до начального сечения поливного трубопровода. За начальное сечение ПТ принимают сечение, расположенное на расстоянии  $L_k$  от первой капельницы в сторону УТ, где  $L_k$  — расстояние между капельницами.

Длина подводящего участка (в зависимости от ширины междуквартальных дорог сада) может изменяться от 0 до 12–14 м. Учитывая, что подводящий участок пропускает транзитом весь расход ПТ, пренебрегать потерями на этом участке не следует.

Так как на подводящем участке нет разбора воды, для определения потерь напора на этом участке следует пользоваться формулой Дарси-Вейсбаха, полученной для условий равномерного движения жидкости

$$h_{подв.} = \lambda \frac{L_{подв.}}{d} \frac{V_o^2}{2g} \quad (I)$$

где  $h_{подв.}$  — потери напора на подводящем участке, м;

$\lambda$  — коэффициент гидравлического трения;

$d$  — внутренний диаметр ПТ, м;



$V_0$  - скорость на подводящем участке ПТ, м/с;  
 $L_{\text{подв.}}$  - длина подводящего участка, м.

Для полиэтиленовых трубопроводов малого диаметра получена экспериментальная зависимость для определения коэффициента гидравлического трения

$$\lambda = \frac{0,612}{Re^{0,285}}, \quad (2)$$

где  $Re$  - число Рейнольдса на подводящем участке;

$$Re = \frac{V_0 d}{\nu}, \quad (3)$$

где  $\nu$  - коэффициент кинематической вязкости жидкости, м<sup>2</sup>/с.

Подставив в формулу (1) значения  $\lambda$  из (2) и  $Re$  из (3) получим расчетную формулу

$$i = \frac{h_{\text{подв.}}}{L_{\text{подв.}}} = \frac{0,612 \nu^{0,285}}{d^{1,285}} \cdot \frac{V_0^{1,735}}{2g}. \quad (4)$$

По этой формуле составлена расчетная таблица для гидравлического расчета трубопроводов из ПНП (ГОСТ 18599-73) типа ТД<sub>н</sub> = 12 мм СД<sub>н</sub> = 16 мм и Д<sub>н</sub> = 20 мм, в которой при различных расходах  $Q_0$  даны значения 1000  $i$ , соответствующие потерям напора в миллиметрах на метр длины трубопровода.

Для определения потерь напора в поливном трубопроводе с капельницами рекомендуется расчетная формула (5), полученная на основании математической обработки экспериментальных данных

$$h_{\text{пол.}} = k_1 k_2 N \frac{L_{\text{пол.}} \nu^{2-m} (nq)^m}{2 d^{3+m}}, \quad (5)$$

где  $h_{\text{пол.}}$  - величина потерь напора в поливном трубопроводе с капельницами, м;

$n$  - количество капельниц на поливном трубопроводе, шт.;

$q$  - расход капельницы, л/ч;

$L_{\text{пол.}}$  - длина поливного трубопровода с капельницами, м;

$N$  - коэффициент, зависящий от длины поливного трубопровода и учитывающий переходные размерные коэффициенты, определяется по табл. I;

$m$  - показатель степени, зависящий от длины поливного трубопровода, определяется по табл. I;

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

$k_1$  - коэффициент, учитывающий тип капельниц и способ подключения их к ПТ;



$k_2$  - коэффициент, учитывающий изменение местных сопротивлений при изменении расстояния между капельницами.

Таблица I

Значения величин  $m$  и  $N$

| $L_{пол},$<br>м | $m$   | $N$                      | $L_{пол},$<br>м | $m$   | $N$                     |
|-----------------|-------|--------------------------|-----------------|-------|-------------------------|
| 190             | 1,660 | $3,22460 \cdot 10^{-12}$ | 100             | 1,173 | $4,06008 \cdot 10^{-7}$ |
| 180             | 1,580 | $2,13590 \cdot 10^{-11}$ | 90              | 1,140 | $9,45690 \cdot 10^{-7}$ |
| 170             | 1,516 | $1,01874 \cdot 10^{-10}$ | 80              | 1,113 | $1,81402 \cdot 10^{-6}$ |
| 160             | 1,455 | $4,59641 \cdot 10^{-10}$ | 70              | 1,085 | $4,06520 \cdot 10^{-6}$ |
| 150             | 1,395 | $1,86736 \cdot 10^{-9}$  | 60              | 1,060 | $8,13510 \cdot 10^{-6}$ |
| 140             | 1,345 | $6,54530 \cdot 10^{-9}$  | 50              | 1,040 | $1,50864 \cdot 10^{-5}$ |
| 130             | 1,295 | $2,20710 \cdot 10^{-8}$  | 40              | 1,020 | $2,85623 \cdot 10^{-5}$ |
| 120             | 1,250 | $6,44550 \cdot 10^{-8}$  | 30              | 1,000 | $6,15584 \cdot 10^{-5}$ |
| 110             | 1,210 | $1,57721 \cdot 10^{-7}$  |                 |       |                         |

При расчете трубопроводов с проходными капельницами можно принимать  $k_1 = 1,0$ , для трубопроводов с тупиковыми капельницами  $k_1 = 0,95$ .

Значения коэффициентов  $k_2$  в зависимости от расстояния между капельницами определяют по формуле

$$k_2 = 1,06 - 0,02 L_k. \quad (6)$$

Расход, поступающий в начальное сечение поливного трубопровода, определяется по зависимости

$$Q_{пт} = \frac{n q}{3600}, \quad (7)$$

где  $Q_{пт}$  - расход поливного трубопровода, л/с.

Скорость в начальном сечении поливного трубопровода

$$V_0 = \frac{Q_{пт}}{250 \pi d^2}. \quad (8)$$

Для обеспечения расчетов по определению потерь напора в поливных трубопроводах при проектировании систем капельного орошения по уравнению (5) составлены расчетные таблицы, в которых потери напора даны как функция длины поливного трубопровода, расстояния между капельницами и расхода капельниц, т.е.  $h_{пол} = f(L_{пол}; L_k; q)$  для трубопроводов из ПНП типа  $\tau d_n = 12$  мм,  $с d_n = 16$  мм и  $d_n = 20$  мм.



Суммарные потери напора в ПТ определяются как

$$h_{\text{ПТ}} = h_{\text{подв}} + h_{\text{пол}}. \quad (8)$$

Применение зависимости (5) позволяет построить пьезометрическую линию для поливного трубопровода, т.е. находить напор в любом сечении ПТ.

При проектировании сети поливных трубопроводов необходимо учитывать уклон местности. Напор в произвольном сечении ПТ с учетом уклона местности определяется по зависимости

$$H_x = H_1 + i_n L_x - (h_{\text{ПТ}} - h_x) \quad (10)$$

или

$$H_x = H_1 + (Z_n - Z_x) - (h_{\text{ПТ}} - h_x), \quad (11)$$

- где  $H_x$  — напор в произвольном сечении ПТ, м;  
 $H_1$  — напор в участковом трубопроводе на уровне ПТ, м;  
 $i_n$  — уклон ПТ;  
 $L_x$  — длина поливного трубопровода от УТ до рассматриваемого сечения, м;  
 $(Z_n - Z_x)$  — разность отметок, начального и рассматриваемого сечений, м;  
 $h_x$  — потери напора от конца ПТ до рассматриваемого сечения, м;  
 $h_{\text{ПТ}}$  — суммарные потери напора в ПТ, м.

Для обеспечения равномерного расхода капельниц по длине поливного трубопровода разность напоров в начале и конце ПТ не должна превышать 15% от напора  $H_1$ , т.е. должно соблюдаться условие

$$0,85 H_1 \leq H_2 \leq 1,15 H_1. \quad (12)$$

Соблюдение этого условия достигается изменением диаметра ПТ, либо подбором диаметров телескопического трубопровода.

Гидравлический расчет ПТ выполняется в следующем порядке: по зависимости (7) определяется расход  $Q_{\text{ПТ}}$ ;  $h_{\text{подв}}$  — из формулы (4);  $h_{\text{пол}}$  — по зависимости (5); общие потери  $h_{\text{ПТ}}$  — по формуле (9); ПТ разделяется на несколько участков; обозначив длину каждого участка от конца ПТ, определяются потери  $h_x$  на каждом участке; по данным расчетов строится пьезометрическая линия (рис.1). Зона  $aa, bb$  является зоной допустимых напоров согласно условию (12).







Возможны три случая положения пьезометрической линии:

Пьезометрическая линия занимает положение  $ACB$ . В этом случае диаметр трубопровода  $d_1$  недостаточен для соблюдения условия (I2) и следует принять больший диаметр.

Пьезометрическая линия занимает положение  $AC_1B_2$ . Условие (I2) соблюдается при постоянном диаметре  $d_2$ , однако возможно более экономичное решение.

В точке  $C$ , соответствующей  $H_x(\min)$ , экономичнее предусмотреть изменение диаметра, тогда пьезометрическая линия займет положение  $AC_1B_1$ . На участке  $AC_1$  следует принять диаметр ПТ  $d_2$ , а на участке  $C_1B_1$  — диаметр  $d_1$ .

Таким образом, предлагаемые экспериментальные зависимости и методика расчета поливных трубопроводов позволяют выполнять подбор диаметров телескопических ПТ, обеспечивающих заданный напор в любом сечении трубопровода и определить место изменения диаметра, что является необходимым условием для обеспечения равномерного расхода капельниц.



## ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО КЛАПАНА-КАПЕЛЬНИЦЫ

Интенсивное развитие сельского хозяйства стимулирует создание новых и совершенствование давно применяемых способов орошения. При этом одним из основных требований является экономное расходование воды, снижение до минимума непроизводительных затрат. Большие перспективы в этой связи открываются перед капельным орошением, создающим режим медленного (капля за каплей) поступления расхода в почву непосредственно в зону максимального развития корневой системы растения. Принцип капельного орошения позволяет воплотить в реальность идею автоматического взаимодействия системы почва-растение-поливной расход.

В В/О "Союзводпроект" разработана конструкция капельницы, обеспечивающая автоматическое поддержание требуемой влажности почвы <sup>ж)</sup>. Капельница рекомендуется к применению на садово-ягодных участках, для полива зерновых, пастбищ и т.д.

В статье излагаются результаты лабораторных испытаний опытных образцов капельницы, выполненных в МГМИ.

Капельница (рис.1) представляет собой закрытый цилиндр, в центре основания (1) которого имеется отверстие. На дне цилиндра в кольцевой канавке уложена уплотнительная резиновая прокладка (2). Цилиндр герметически разделен упругой диафрагмой (3) на две камеры, в одной из которых размещен торцевой клапан (4), а в другой - закрытый крышкой (5), набухающий материал (6) с асбестовым фитилем (7), концы последнего через боковые отверстия выпущены наружу. В боковых стенках, образующих цилиндр, под углом  $90^\circ$  просверлены 4 отверстия, от которых отходят водораздатчики (8). Клапан крепится на оросительном трубопроводе с помощью переходной втулки.

Изменение влажности почвы через асбестовый фитиль вызывает изменение влажности набухающего тела (мембраны). Увеличивая при набухании свою толщину, мембрана давит на пружинящую диафрагму и прижимает торцевой клапан к уплотнительной резиновой прокладке. Отверстие в основании капельницы закрывается, подача расхода прекращается. При высыхании почвы процесс повторяется в том же порядке, но при этом толщина мембраны уменьшается, диафрагма и клапан поднимаются, капельница включается в работу. В описанной конструкции в качестве привода используется мембрана, состоящая из нескольких

ж) Авторское свидетельство № 5298II.



(10÷30) ионитовых пластин марки КУ-2 с коэффициентом набухания 1,5.

Гидравлические испытания клапана-капельницы были проведены при различной длине водораздатчиков  $\ell$  (10÷50 см); напор на входе в камеру  $H$  изменялся в диапазоне 0,5÷4,7 м. Расходы по каждому водораздатчику измерялись одновременно объёмным способом. При одном напоре повторность измерений пятикратная. В каждом опыте фиксировалась температура воздуха и воды.

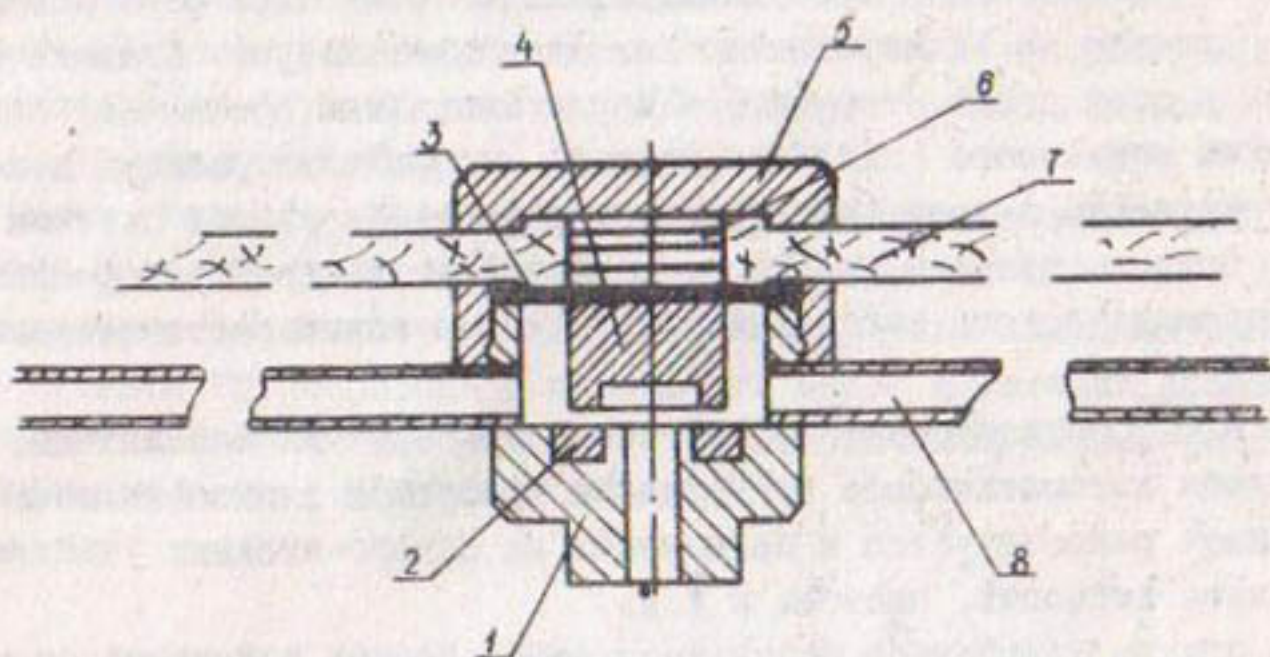


Рис.1. Автоматический клапан-капельница конструкции В/О "Союзводпроект": 1 - основание капельницы; 2 - резиновая прокладка; 3 - диафрагма; 4 - торцевой клапан; 5 - крышка капельницы; 6 - набухающее тело; 7 - фитиль; 8 - водораздатчики

Движение воды по водораздатчикам капельницы происходит при очень малых скоростях ( $U < 0,35$  м/с,  $Re < 1000$ ). При этом имеет место ламинарный режим, близкий к так называемому ползущему движению. Аналогичный характер движения наблюдается при фильтрации жидкости через слой мелкозернистой среды из твердых частиц.

В общем случае такого движения коэффициент расхода определяется (при относительной длине  $\ell/d = idem$ ) тремя параметрами:  $Re$ ,  $We$  и  $Fr$ , отражающими соответственно влияние сил вязкости, поверхностного натяжения и гравитационной. Результаты обработки опытных данных в координатах  $\mu = f(Re)$ ,  $\mu = f(We)$ ,  $\mu = f(Fr)$  представлены на рис.2.



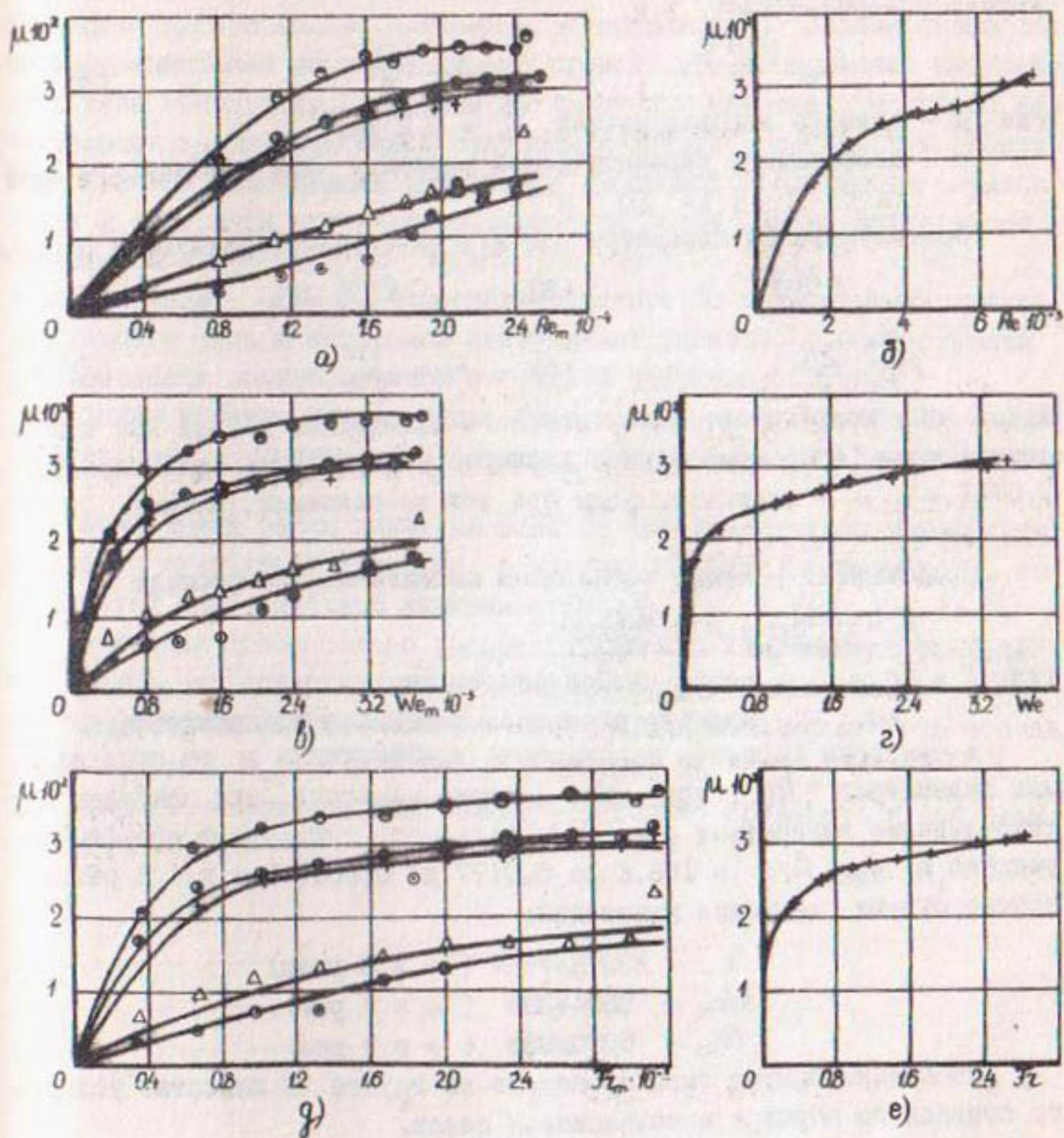


Рис. 2. Графики зависимости: а)  $\mu = f(Re_m)$ ; б)  $\mu = f(Re)$ ; в)  $\mu = f(We_m)$ ; г)  $\mu = f(We)$ ; д)  $\mu = f(Fz_m)$ ; е)  $\mu = f(Fz)$  при относительных длинах водораздатчиков  $l/d$   
 $\Delta$  - 33,3;  $\circ$  - 66,6;  $\bullet$  - 133,3;  $\bullet$  - 166,6



Числа Рейнольдса подсчитывались по скорости, определяемой действующим напором  $H$  (без учета потерь), и по средней скорости в трубке водораздатчика, т.е.

$$Re_m = \frac{\sqrt{2gH} \cdot d}{\nu}, \quad Re = \frac{Vd}{\nu}, \quad (2)$$

где  $d$  - диаметр водораздатчика,  $d = 0,3$  см;

$\nu$  - коэффициент кинематической вязкости при температуре воды  $14^\circ\text{C}$   $\nu = 1,17 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

Соответственно параметры  $We$  и  $Fr$  вычислялись следующим образом

$$We_m = \frac{\rho \sqrt{2gH} d}{\sigma} \quad (3) \quad We = \frac{\rho V^2 d}{\sigma} \quad (4)$$

$$Fr_m = \frac{2H}{d} \quad (5) \quad Fr = \frac{V^2}{ga} \quad (6)$$

Здесь  $\sigma$  - коэффициент поверхностного натяжения, равный при температуре воды  $14^\circ\text{C}$ , атмосферном давлении и нормальной силе тяжести  $0,0751$  н/м;  $\rho$  - плотность воды при тех же условиях, равная  $1000$  кг/м<sup>3</sup>.

Коэффициент расхода капельницы определялся по формуле

$$\mu = \frac{Q}{4\omega\sqrt{2gH}} = \frac{\sum q_i}{4\omega\sqrt{2gH}}, \quad (7)$$

где  $Q = \sum q_i$  - общий расход капельницы;

$\omega$  - площадь поперечного сечения водораздатчика.

Анализируя характер зависимости коэффициента  $\mu$  от определяющих параметров  $Re$ ,  $We$ ,  $Fr$ , легко заметить, что наиболее ощутимо влияние вязкостных сил. Так, например, уменьшению коэффициента расхода  $\mu$  при  $\ell/d = 166,6$  от  $0,0177$  до  $0,0037$  ( $\sim$  в  $4,8$  раза) соответствуют следующие изменения:

$$Re_m - 23978 \div 7994 \quad (\sim \text{в } 3 \text{ раза}),$$

$$We_m - 3594 \div 399 \quad (\sim \text{в } 9 \text{ раз}),$$

$$Fr_m - 3000 \div 333 \quad (\sim \text{в } 9 \text{ раз}).$$

Несколько опытов было проведено на грунте. В качестве условного почвенного образца использовался песок.

#### Фракционный состав песка

| размеры в мм | процентное содержание |
|--------------|-----------------------|
| 0,5          | 19,45                 |
| 0,5 - 0,25   | 45,63                 |
| 0,25 - 0,16  | 27,40                 |
| 0,16 - 0,10  | 5,50                  |
| 0,10 - 0,08  | 1,47                  |
| 0,08         | 0,55                  |



Исследования проводились при длине водораздатчиков 50 см и напоре 4,5 м. Заданной влажностью считалось предельное насыщение песка после первого полива. Фиксация её проводилась весовым способом. По мере высыхания почвы синхронно происходило и высыхание набухающего тела капельницы (мембраны из ионитовых пластин). Получены качественные характеристики и выявлены некоторые особенности работы испытываемой конструкции капельницы. Например, если масса образца почвы в состоянии предельного насыщения после полива капельницей составляла 5860 г, то через 19 часов - 5875 г, а еще через 24 часа - 6688 г, что свидетельствует о медленном высыхании набухающего тела и медленном поступлении расхода, о возрастающей интенсивности полива по мере высыхания набухающего тела.

Таким образом, клапан-капельница конструкции В/О "Союзводпроект" обеспечивает автоматический режим работы по заданной влажности почвы.

Ламинарный режим движения воды по водораздатчикам капельницы близок к "ползущему" движению при этом коэффициент расхода  $\mu$  определяется критериальной зависимостью  $\mu = f(\ell/d, Re, We, Fr)$ .

Учитывая относительно слабое влияние на коэффициент расхода капельницы сил поверхностного натяжения ( $We$ ) и сил тяжести ( $Fr$ ) для практических расчетов пропускной способности может быть использован график  $\mu = f(\ell/d, Re_m)$  на рис. 2а.

Работоспособность капельницы необходимо проверить в натуральных условиях



РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ КАПЕЛЬНИЦ НЕПРЕРЫВНОГО  
И ПОРЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ

Анализ развития техники полива за последние годы свидетельствует об интенсивной разработке совершенных оросительных систем нового типа, основанных на непрерывном водоснабжении растений водой на протяжении вегетационного периода в соответствии с ходом их водопотребления. Такими системами являются системы капельного орошения.

Современная система капельного орошения включает насосную станцию с системой фильтров, регулятор давления, гидроподкормщик, магистральный, распределительный и поливной трубопроводы и капельные водовыпуски.

По конструкции капельные водовыпуски делятся на нерегулируемые по расходу, автономно регулируемые и саморегулируемые. Они могут быть бесфильтровыми, со съёмными фильтрами и самоочищающимися.

В настоящее время наметились тенденции по разработке и введению в производство капельниц-водовыпусков: непрерывного и порционного действия. Основным недостатком капельниц непрерывного действия является вероятность засорения механическими примесями, постоянно находящимися в оросительной воде, заиливание проходных дрелирующих каналов и закупоривание малых проходных отверстий солями, находящимися в оросительной воде.

Капельницы порционного действия наиболее устойчивы против засорения. Для них не требуется тщательной очистки оросительной воды, а следовательно, и дорогостоящих фильтров.

Ниже приводятся результаты лабораторных исследований капельниц конструкции ВНИИМитП, УкрНИИГим, ВНИИводполимер, НРБ и США.

Описание конструкций всех испытанных капельниц приведено в отчете ВНИИМитП по теме 02.03 за 1977 г.

Капельница "Молдавия-1" (ВНИИМитП)

По заданию Минводхоза СССР были проведены испытания капельниц "Молдавия-1". В первой опытной партии капельниц шайбы-прокладки



были сферической формы из резины двух видов. Материал дросселя — полиэтилен и полипропилен. Осредненная расходно-напорная характеристика и схема конструкции капельницы представлены на рис. I. При испытаниях выявлено:

- капельницы с шайбами-прокладками из резины 970 работоспособны;
- режим истечения — капельный;
- при напорах до 10 м капельницы работают в неустойчивом режиме;
- утечка воды в местах соединения штуцера с оросителем и корпуса с крышкой;
- материал дросселя (полиэтилен или полипропилен) не оказывает существенного влияния на гидравлические параметры капельницы;
- засорение капельниц при их работе на мутной воде отмечается при  $\rho = 2-4$  г/л через 1-3 часа, при  $\rho = 1$  г/л через 6-7 часов.

Было рекомендовано доработать конструкцию уплотнения между корпусом и крышкой капельницы с целью предотвращения утечки воды между ними и улучшения герметизации узла присоединения.

С учетом доработки конструкции деталей была изготовлена опытная партия капельницы в количестве 300 штук. Испытывались капельницы, корпус и дроссель которых изготовлены из полиэтилена, полипропилена и пластика АВС; шайбы-прокладки имели плоскую и сферическую формы. Кроме того, в опытной партии были частично изменены размеры корпуса и присоединительного узла крышки и корпуса.

Из 300 испытанных капельниц с крышками из разного материала (по 100 штук в каждом варианте) утечка воды между корпусом и крышкой при напоре 24 м наблюдалась у 1% капельниц с крышками из пластика АВС, из полипропилена — у 15%, из полиэтилена — у 73%. По полученным результатам лучшая герметичность конструкции достигается с применением крышек из пластика АВС. На обеспечение уплотнения помимо крышки капельницы оказывает влияние шайба-прокладка, изготовленная из резины В14 (средняя толщина 2,1 мм), и корпус.

В процессе работы капельницы отмечается деформация уплотняющей кромки корпуса. Величина изменения диаметра кромки корпуса зависит в основном от напора и продолжительности работы капельницы. Уменьшение диаметра кромки является следствием деформации корпуса под действием давления воды, а также напряжений в корпусе, вызванных сборкой капельницы.



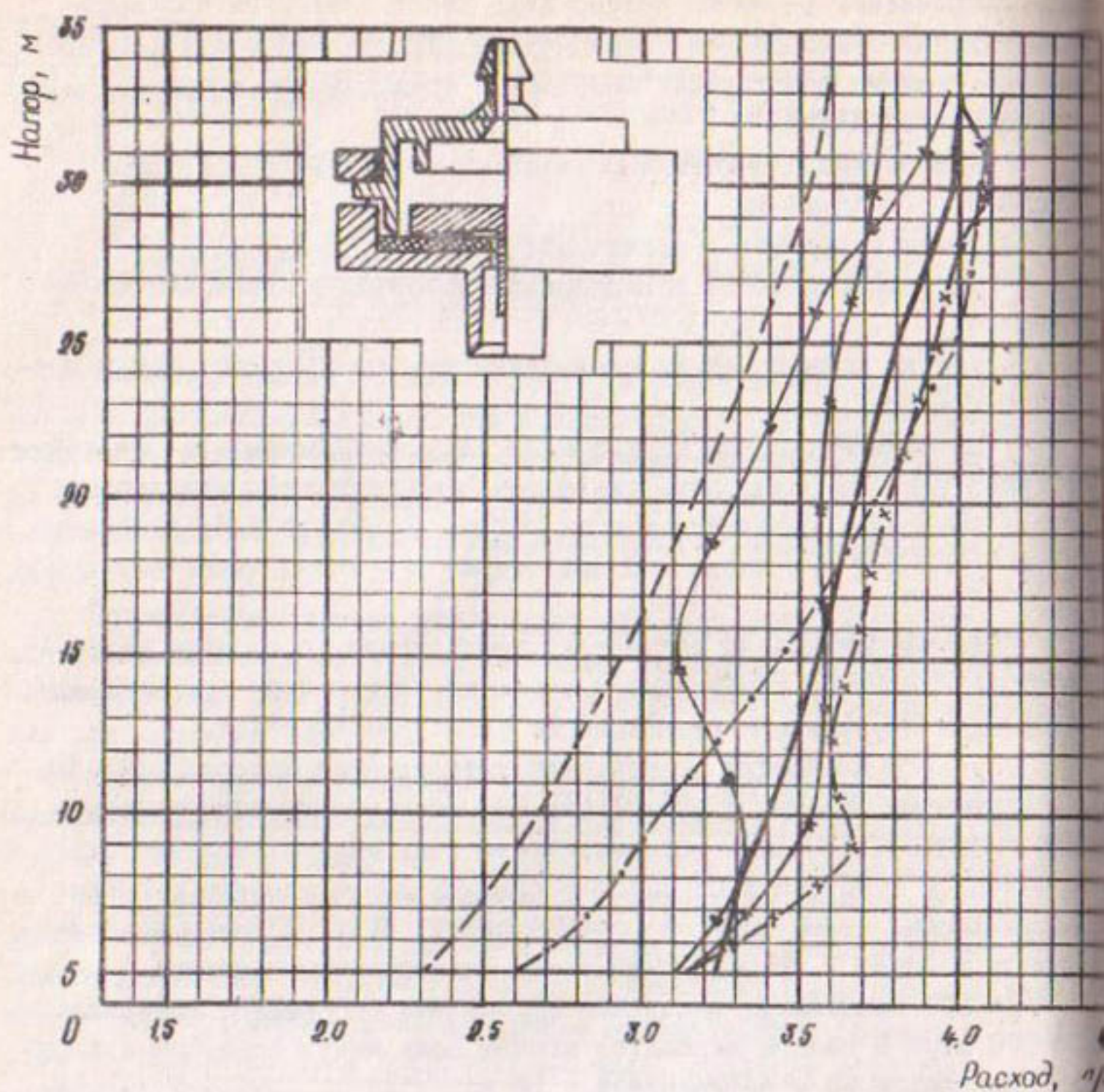


Рис. I. Расходно-напорные характеристики капельниц "Молдавия-I":

- первая опытная партия с прокладками из резины 970;
- с дросселем из полиэтилена (ПЭ), шайба-прокладка из резины В14;
- · — · — с дросселем из пластика АВС, шайба-прокладка из резины В14;
- X — с дросселем из полипропилена, шайба-прокладка из резины В14;
- X — шайба-прокладка плоская (резина В-14), дроссель ПЭ;
- ▲ — шайба-прокладка сферическая (резина 970), дроссель ПЭ



Эллипсная форма очертания уплотняющей кромки корпуса ухудшает уплотнение между корпусом и крышкой капельницы. По предложению лаборатории гидравлики и КБ ВНИИМТП была изменена конструкция корпуса и крышки (косой замок и увеличенные размеры корпуса). Капельницы, изготовленные по этим рекомендациям, работают без утечек до напора 35 м.

Следующий этап исследования – выявление возможного влияния материала дросселя на характер расходно-напорной характеристики. С этой целью было отобрано 25 капельниц с крышками из пластика АВС и плоскими шайбами-прокладками из резины В14, дроссели которых заменяли тремя видами материала. В результате проведенных опытов получены расходно-напорные характеристики капельниц при различном материале дросселя, осредненные значения которых приведены на рис. I. Все капельницы, независимо от материала деталей в рабочем диапазоне напоров, работают в капельном режиме истечения. При малых напорах наблюдается струйный режим истечения, который носит неустойчивый характер. Коэффициент вариации расхода при фиксированном напоре с дросселями, изготовленными из различного материала, приведен в табл. I.

Таблица I

| Материал дросселя | Коэффициент вариации при различном напоре, % |       |      |      |      |       |      |
|-------------------|----------------------------------------------|-------|------|------|------|-------|------|
|                   | 5                                            | 10    | 15   | 20   | 25   | 30    | 35   |
| Полиэтилен        | 13,56                                        | 8,28  | 8,29 | 6,29 | 7,51 | 8,94  | 6,85 |
| Полипропилен      | 37,56                                        | 29,51 | 8,25 | 6,84 | 6,53 | 10,32 | 6,29 |
| Пластик АВС       | 8,14                                         | 5,89  | 4,05 | 4,33 | 5,52 | 4,68  | 7,65 |

Анализ табличных данных показывает, что более стабильный расход отмечается у капельницы с дросселем из пластика АВС. Коэффициент вариации в рабочем диапазоне напоров изменяется в пределах 4–6%, худший коэффициент вариации – с дросселем из полипропилена.

Осредненные расходно-напорные характеристики капельниц позволяют сделать вывод, что в диапазоне напоров 10–21 м наблюдается стабилизация расхода, ярко выраженная для капельниц с дросселем из полиэтилена и полипропилена. Отклонение от среднего расхода в данном диапазоне напоров составляет соответственно  $\pm 4,8$  и 3%. Для капельниц с дросселем из пластика АВС стабилизация выражена



слабее (отклонение от среднего расхода составляет  $\pm 10\%$ ).

Для выбора формы и материала резиновой шайбы-прокладки были отобраны пять капельниц со стабилизированным расходом, работающие в выбранном диапазоне напоров без утечек. Получены их расходно-напорные характеристики (рис. I) для двух вариантов материала шайб-прокладок: из резины 970 и ВГ4. Дроссели были из полиэтилена. Анализ графиков показывает, что материал шайбы-прокладки оказывает влияние на расходно-напорную характеристику капельницы. В диапазоне напоров 10-26 м капельницы с шайбой-прокладкой из резины ВГ4 дают практически одинаковый расход. Расходно-напорная характеристика с шайбой-прокладкой из резины 970 смещена в сторону уменьшения расхода, стабилизация расхода резко уменьшается.

При непрерывной продолжительной ( $t = 20$  ч) работе капельниц на чистой воде ( $\rho = 0,0234$  мг/л) их расход уменьшается незначительно. Так при постоянном напоре 22 м расход уменьшился с 3,8 до 3,7 л/ч, т.е. на 2,6%.

Исследования капельниц на оросительной воде с мутностью 1-4 г/л показали, что при  $\rho = 2-4$  г/л истечение прекращается через 3 ч, при  $\rho = 1$  г/л - через 6 ч. При этом механические примеси (ил) скапливаются на шайбе-прокладке, дросселе и его спирали, закрывая проход воды из капельницы. При выключении и включении насоса или при снижении напора до 0,5-3,0 м происходит частичное очищение капельниц, далее они начинают работать в прежнем режиме, но засорение происходит быстрее, чем в первом случае. При промывке капельниц путем механического поднятия дросселя во время их работы в некоторых случаях происходит изменение капельного режима истечения на струйное со значительным увеличением расхода. Такое явление объясняется тем, что крупные механические частицы попадают на ребро спирали дросселя и вследствие этого он неплотно прилегает к шайбе-прокладке, увеличивая проходное сечение.

Влияние материала деталей капельниц на характер их засорения не обнаружено. Засорение зависит только от мутности механических примесей. При мутности оросительной воды 0,5 г/л капельницы устойчиво работают в течение 16 ч, при  $\rho = 0,75$  г/л засорение отдельных капельниц отмечается после 14 часов непрерывной работы.

При мутности оросительной воды 1,5 г/л и максимальной крупности механических частиц до 0,5 мм (на стенде установлен фильтр с



ичейками 0,5 x 0,5 мм) работоспособность капельниц характеризуется опытными данными, приведенными в табл.2.

Таблица 2

| Продолжительность работы, ч                       | 0,5 | 5 | 10 | 15   | 20   | 27    |
|---------------------------------------------------|-----|---|----|------|------|-------|
| % засорившихся капельниц от общего числа (72 шт.) | 1,4 | 7 | 14 | 14,5 | 15,1 | 18,05 |

Результаты опытных данных показывают, что капельницы "Молдавия-1" работоспособны. Рабочий напор для них рекомендуется в пределах 10-30 м. Расходно-напорная характеристика определяется сочетанием вида материала дросселя и шайбы-прокладки. Для производства рекомендуется использовать дроссель из полиэтилена по гидравлическим показателям, а шайбу-прокладку - плоской формы из резины В14. При этом расход капельницы составляет 3,4-4,05 л/ч.

Расход капельницы "Молдавия-1" не зависит от ее положения на оросителе. Удовлетворительная герметизация достигается у капельниц с косым соединительным замком и увеличенными размерами корпуса. Для изготовления корпуса рекомендован полиэтилен, а для крышки - полипропилен. Допустимый напор для этого варианта конструкции составляет 30 м. Конструкция капельниц позволяет проводить гидравлическую и механическую промывку без выключения системы.

#### Капельница конструкции УкрНИИГиМ

Принцип работы капельницы основан на следующем. Вода поступает из оросителя (см.рис.2) через отверстие патрубка хомута (1) и штуцер крышки. Далее обтекает конус дросселирующего стержня (2) и поступает в корпус (3), наполняя пространство между поплавком (5) и корпусом, при этом часть воды сливается через калиброванное отверстие втулки (4). По мере заполнения корпуса водой поплавок начинает всплывать, острый стержень попадает в отверстие крышки и дросселирует его до установления равновесия (приток воды из оросителя равен оттоку воды через отверстие втулки на сброс). При этом расход капельницы определяется, в основном, диаметром выходного отверстия и уровнем воды, установившимся внутри корпуса.

Исследования 17 капельниц проводились на чистой и мутной воде ( $\rho = 0,25-1,5$  г/л). При изменении напора от 1 до 22 м отмеча-



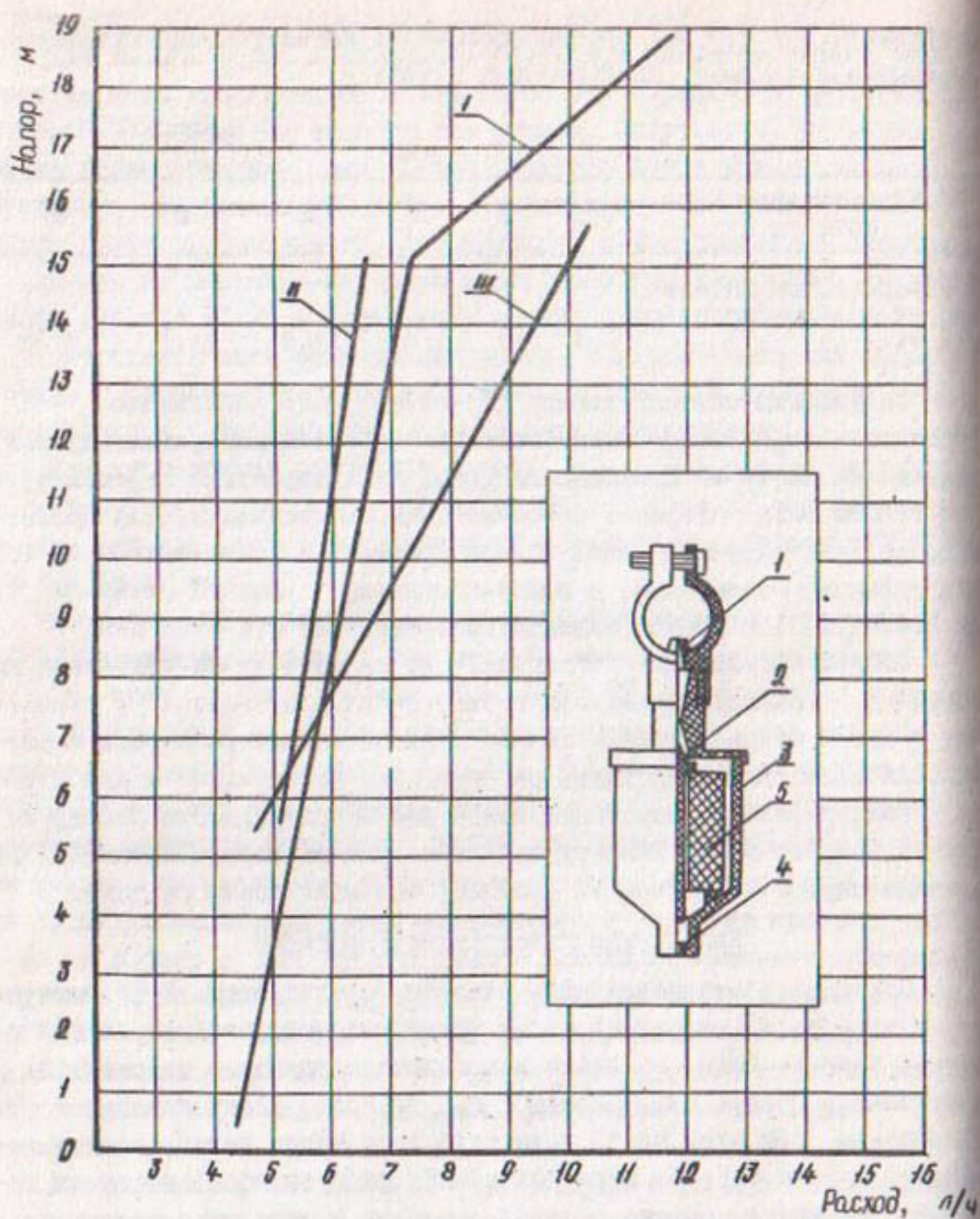


Рис. 2. Расходно-напорные характеристики при различных положениях капельниц конструкции УкрНИИТМ относительно оси трубопровода



ются утечки воды через отверстия крышки капельниц. При напорах до 8 м у всех капельниц наблюдаются периодические утечки. Величина утечек всех капельниц мала по сравнению с расходом и существенно не влияет на расходно-напорную характеристику. При изменении режима или при физическом воздействии на поплавки удается ликвидировать утечки, но через некоторое время они возобновляются. При напорах свыше 8 м начинаются непрерывные утечки и расход капельницы при этом может увеличиваться на 100% и более. Количество капельниц, работающих с утечкой при различных напорах, приведено в табл. 3.

Таблица 3

|                             |     |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|
| Напор начала утечки, м      | 6,8 | 12   | 13,6 | 15,2 | 16,8 | 18   | 20,4 |
| Количество капельниц, шт.   | 1   | 2    | 3    | 4    | 10   | 16   | 17   |
| % от общего числа капельниц | 5,9 | 11,8 | 18,7 | 23,6 | 58,8 | 94,2 | 100  |

При вертикальной установке всех 17 капельниц получены расходно-напорные характеристики. На рис. 2 приведена осредненная характеристика для исследуемых капельниц (I). Разброс расхода для различных капельниц составил  $\pm 25\%$ . Рабочий диапазон напоров целесообразно принять в пределах 0,5 – 14 м. Расход капельниц в этом диапазоне напоров изменяется от 4,5 до 7,2 л/ч. При  $H = 14$  м отмечается значительное увеличение расхода. При постоянном напоре разброс расходов капельниц составляет  $\pm 20\%$ .

Для определения влияния положения капельниц на трубопроводе на характер их работы были вмонтированы четыре капельницы, работающие без утечек при напоре до 18 м. Результат исследований приведен на рис. 2.

При отклонении капельницы от вертикали на  $45^\circ$  (III) наблюдались значительные утечки у трех капельниц, начиная с напора 5,6 м (у одной капельницы утечка началась при напоре 12 м). При этом расход капельниц значительно увеличивается.

При угле отклонения  $22,5^\circ$  (II) значительные утечки у всех капельниц наблюдались только при напоре свыше 15,2 м и на расход практически не влияли.

Исследования капельниц при работе на мутной воде проводились при  $\rho = 0,5-1,5$  г/л в интервале через 0,5 г/л и с максималь-



ной крупностью частиц 0,5 мм. При крупности механических частиц свыше 0,5 мм отмечается перекрытие калиброванного отверстия вставки корпуса и отверстия крышки, вследствие чего истечение из капельниц прекращается. При установке сетчатого фильтра с размером ячеек 0,5x0,5 мм (на всасывающей линии насоса) засорение капельниц при различной мутности не наблюдалось. При этом илстые механические частицы накапливались на внутренней конической поверхности корпуса и вставки, при резком изменении режима работы установки (отключение насоса и его пуск) происходит частичное очищение капельниц. При непрерывной работе на мутной воде 1,5 г/л и максимальной крупности частиц менее 0,5 мм в течение 10 часов засорение капельниц не отмечалось. Однако расход некоторых из них при постоянном напоре изменялся на 50%.

Анализ полученных опытных данных показывает, что капельницы работоспособны, режим истечения струйный, при отклонении капельницы от вертикали свыше  $22^\circ$  значительно изменяется ее расходно-напорная характеристика, максимальная крупность механических частиц в оросительной воде не должна превышать 0,5 мм.

Основными конструктивными недостатками капельницы являются: значительная материалоемкость, большое количество деталей (10 наименований), узел присоединения к оросителю можно использовать только к одному диаметру трубопровода, материал стержня обладает недостаточной жесткостью, в процессе эксплуатации подвергается деформации конусная часть.

#### Капельница порционного действия "Коломна-I"

Опытная партия капельниц порционного действия "Коломна-I", разработанных отделом непрерывного орошения ВНИИМИТП, изготовлена в двух вариантах с горизонтальным и вертикальным клапанами (рис. 3 а, б).

Было отобрано по пять капельниц обоих вариантов, опыты проводились с ручным и автоматическим (с помощью гидравлического генератора импульсов) управлением. Исследования показали, что объем вытекания капельниц порционного действия удовлетворяет уравнению

$$W_6 = \frac{P_3 - P_c}{P_3 \cdot P_c} \cdot W_0 \cdot P_0 ,$$

где  $W_6$  - объем вытекания,  $\text{см}^3$ ;

$P_3$  и  $P_c$  - полный напор заполнения и сброса, м;

$W_0$  - начальный объем капельницы,  $\text{см}^3$ ;

$P_0$  - атмосферное давление.



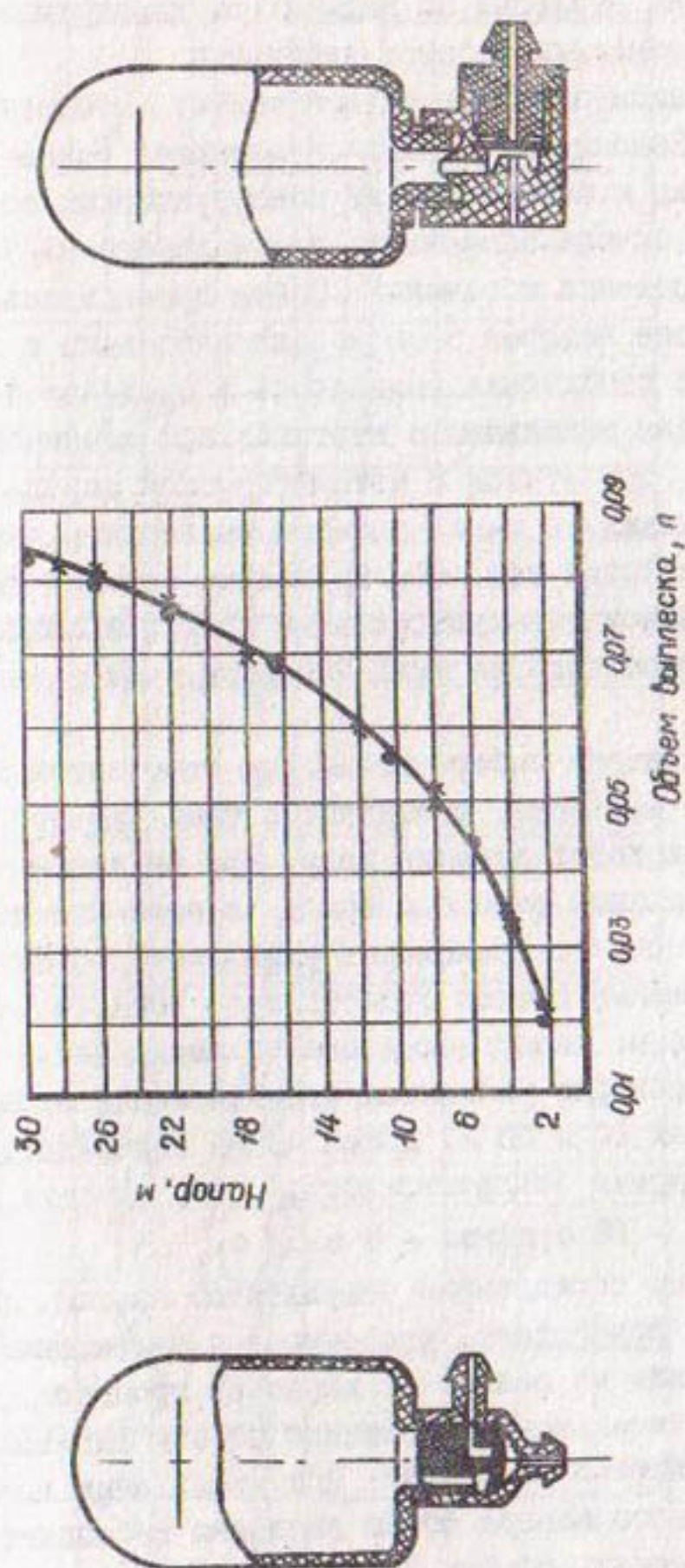


Рис. 3. Расходно-напорная характеристика капельниц порционного действия "Коломна-1":  
 — расчетная кривая; • — с горизонтальным клапаном  
 x — с вертикальным клапаном



На рис. 3 приведены расчетные (по указанной выше формуле) и экспериментальные данные для двух вариантов капельниц. Анализ графика показывает, что объем выплеска не зависит от конструкции клапана, а также от типа управления работой капельниц.

Рабочий цикл капельницы включает четыре такта: заполнение, паузу, выплеск и паузу. Заполнение и выплеск являются основными характеристиками капельниц и зависят от их конструктивных особенностей. Время выплеска в опытах замерялось с начального момента выплеска до полного прекращения истечения. Опыты проводились в 10-кратных повторностях в диапазоне напоров 5-30 м. Для капельниц с горизонтальным клапаном время заполнения колебалось в пределах 4-7 с, время выплеска - 10-12 с, для капельниц с вертикальным клапаном соответственно 3-4 и 4-5 с (при ручном и автоматическом управлении). Разница во времени заполнения, а также времени выплеска у капельниц двух вариантов, объясняется тем, что проходные сечения капельниц с горизонтальным клапаном образуют сложный проход и создают большие гидравлические сопротивления движению воды, чем с вертикальным клапаном.

При длительной непрерывной работе капельниц отмечается небольшое уменьшение объема выплеска, связанное с тем, что во время заполнения капельницы происходит аэрация воды. При выплеске часть воздуха выносится из капельницы вместе с водой, и если его потеря не восполняется из атмосферы, то происходит уменьшение объема выплеска. На характер уменьшения объема существенное влияние оказывает режим работы капельницы: напор заполнения и паузы после выплеска и заполнения. Для проверки указанных предположений проведена серия опытов при напорах 10 и 20 м. Время цикла задавалось 30 и 110 с. По тактам цикла время распределялось: заполнение - 5 с; пауза - 7 и 45 с; выплеск - 10 с; пауза - 8 и 50 с.

Зависимости, построенные по осредненным результатам опытов, приведены на рис. 4. Их анализ показывает, что ручное и автоматическое управление работой капельниц не влияет на характер процесса. Наблюдается тенденция незначительного уменьшения объема выплеска при их продолжительной непрерывной работе. При увеличении времени цикла и уменьшении начального напора объем выплеска не меняется. Менее чувствительны к изменению объема выплеска при продолжительной непрерывной работе капельницы с вертикальным клапаном.



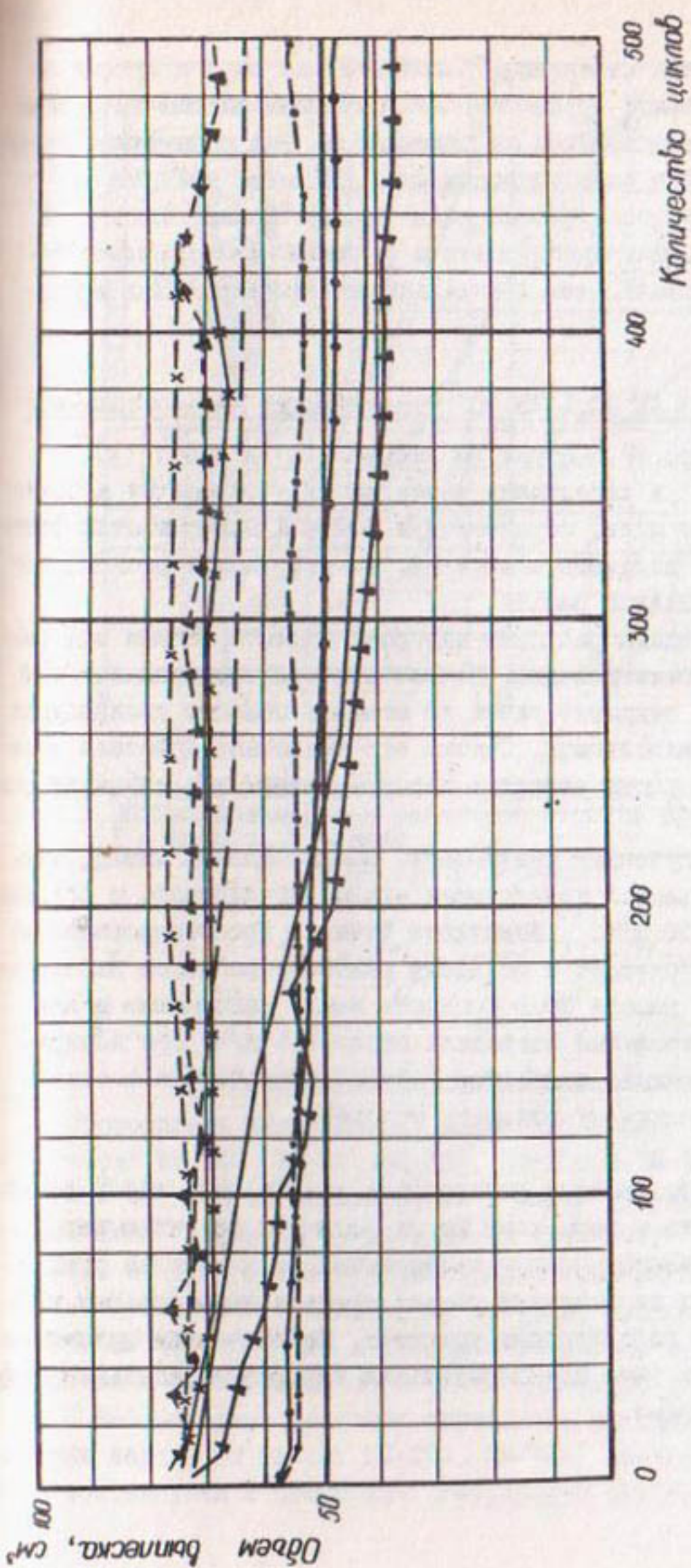


Рис. 4. Зависимость объема вытекка от количества циклов для капельниц с горизонтальным (Г) и вертикальным (В) клапанами:

I. Автоматическое управление  
 $H = 20 \text{ м}$   $t_y = 30 \text{ с}$   $\Gamma$ ;  $-\text{---}-\text{---}$  В  
 $H = 20 \text{ м}$   $t_y = 110 \text{ с}$   $\star \Gamma$ ;  $-\text{x}-\text{x}-\text{x}$  В

П. Ручное управление  
 $H = 20 \text{ м}$   $t_y = 30 \text{ с}$   $\blacktriangle \Gamma$ ;  $-\blacktriangle-\text{---}$  В  
 $H = 10 \text{ м}$   $t_y = 30 \text{ с}$   $\rightarrow \Gamma$ ;  $-\text{---}-\text{---}$  В



При исследовании капельниц "Коломна-1" на воде с мутностью до 2 г/л и максимальной крупностью механических частиц до 0,5 мм засорения проходных отверстий не отмечалось. Все испытуемые капельницы показали хорошую работоспособность. При этом следует отметить, что очистка оросительной воды дорогостоящими фильтрами не требуется и, следовательно, система с такими капельницами будет значительно дешевле, чем с капельницами непрерывного действия.

#### Капельница 33 АН 30.1423.007 (конструкции ВНИИводполимер)

Капельница (рис.5) состоит из корпуса (1) и винта (2).

Вода поступает в капельницу через входное отверстие и проходит через кольцевую щель, образованную боковой поверхностью винта и внутренним краем входного отверстия. Регулирование расхода осуществляется перемещением винта.

На рис.5 приведены расходно-напорные характеристики при различной степени дросселирования. Начало отсчета определялось при напоре 0,6 м путем закрытия винта до момента полного прекращения истечения воды из капельницы. Считая это положение дросселя нулевым, определяли расходно-напорные характеристики при открытии винта на 10, 20, 30°.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что расход капельницы данной конструкции можно регулировать в большом диапазоне от 3 до 20 л/ч. Изменение степени дросселирования на заданную величину приводит к большому разбросу расходов капельниц. Так, например, при напоре 20 м разность между наибольшим и наименьшим расходом капельниц составила около 8,5 л/ч. При возвращении дросселя в прежнее положение расход капельниц не соответствует ранее определенному для этих условий.

В процессе исследований наблюдались утечки воды через резьбовое соединение винта с корпусом. Но их величина по отношению к расходу самой капельницы мала и существенно не влияет на расход. Настройка капельниц на заданный расход требует значительных затрат времени даже в лабораторных условиях. На основании изложенного следует отметить, что предварительная тарировка капельниц практически не осуществима.



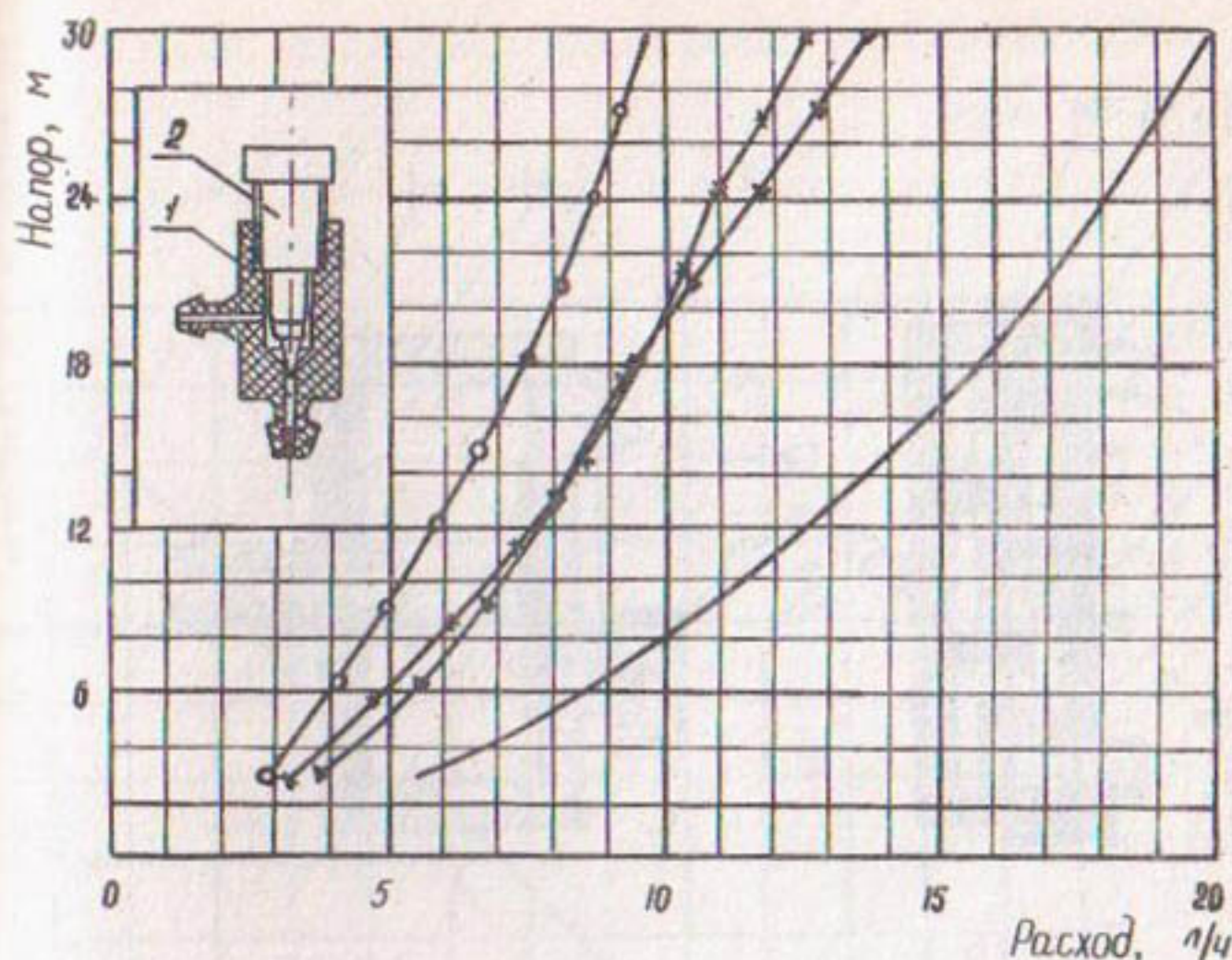


Рис. 5. Расходно-напорная характеристика капельницы конструкции ВНИИводполимер при различной степени дросселирования :  
1 — корпус; 2 — винт

Условные обозначения:

- $\alpha = 0^\circ$  —  $\bigcirc$
- $\alpha = 10^\circ$  —  $\times$
- $\alpha = 20^\circ$  —  $\blacktriangle$
- $\alpha = 30^\circ$  — —

#### Капельницы фирмы "Rain Bird" (США)

Проводились исследования капельниц фирмы "Rain Bird" следующих типов: ЕМ-ТА2, ЕМ-А1, ЕМ-ТА6, ЕМ-ТВ6 и ЕМ-1010 (см. рис. 6). Капельницы типа ЕМ-ТА испытывались с одним, двумя и шестью водовыпусками. Типы капельниц ЕМ-ТА и ЕМ-ТВ отличаются диаметром отверстий мембран, который соответственно равен 0,58 мм и 0,87 мм, что оказывает существенное влияние на величину расхода. Капельницы типа ЕМ-ТА и ЕМ-ТВ относятся к самоочищающимся, а капельница ЕМ-1010 относится к капельницам со стабилизированным расходом.

В лабораторных условиях определены расходно-напорные характеристики капельниц типов: ЕМ-ТА2, ЕМ-ТА6, ЕМ-ТВ6 и ЕМ-1010 для одного водовыпуска и суммарные. Результаты опытов приведены на рис. 7.



7  
8  
5  
4  
1



Таблица 38. Результаты опытов притока к подрусловой дрены (грунтовые модели)

| Параметры дрены              | Характеристика фильтра | $l_1$ , м | $K_{гр}$ , м/сут | $K_{ф}$ , м/сут | $\delta$ , м | $\frac{K_{ф}}{K_{гр}}$ | $\frac{q}{q_0}$ | $\tau_0$ $\frac{\Phi_0}{\Phi_0 + \Phi}$ |
|------------------------------|------------------------|-----------|------------------|-----------------|--------------|------------------------|-----------------|-----------------------------------------|
| $t = 0,31$ м                 | ВВГ-0,5 в 1 слой       | 0,230     | 18,20            | 350             | 0,00038      | 14,7                   | 0,770           | 27,2                                    |
|                              |                        | 0,230     | 20,30            | 350             | 0,00038      | 16,3                   | 0,670           | 24,5                                    |
|                              |                        | 0,100     | 27,00            | 350             | 0,00038      | 21,8                   | 0,570           | 6,43                                    |
|                              |                        | 0,050     | 22,90            | 350             | 0,00038      | 13,4                   | 0,500           | 3,29                                    |
|                              |                        | 0,020     | 19,50            | 350             | 0,00038      | 15,7                   | 0,510           | 1,29                                    |
|                              |                        | 0,020     | 20,50            | 350             | 0,00038      | 16,5                   | 0,510           | 1,24                                    |
|                              |                        | 0,025     | 21,20            | 350             | 0,00038      | 17,1                   | 0,500           | 1,56                                    |
| $T = 0,53$ м<br>$d_T = 0,05$ | ВВГ-0,5 в 2 слоя       | 0,230     | 22,40            | 350             | 0,00110      | 18,0                   | 0,790           | 7,40                                    |
|                              |                        | 0,230     | 20,70            | 350             | 0,00110      | 16,6                   | 0,720           | 8,03                                    |
|                              |                        | 0,100     | 21,30            | 350             | 0,00110      | 17,1                   | 0,730           | 2,74                                    |
|                              |                        | 0,050     | 20,80            | 350             | 0,00110      | 16,7                   | 0,640           | 1,20                                    |
|                              |                        | 0,020     | 22,00            | 350             | 0,00110      | 17,7                   | 0,530           | 0,38                                    |
|                              |                        | 0,005     | 21,30            | 350             | 0,00110      | 17,1                   | 0,450           | 0,08                                    |
| $\Phi_0 = 0,555$             | ВВГ-0,5 в 1 слой       | 0,005     | 22,00            | 350             | 0,00038      | 17,7                   | 0,400           | 0,30                                    |
|                              |                        | 0,230     | 1,42             | 70              | 0,00038      | 49,0                   | 0,860           | 8,15                                    |
|                              |                        | 0,100     | 1,38             | 70              | 0,00038      | 51,0                   | 0,830           | 2,76                                    |
|                              |                        | 0,050     | 1,58             | 70              | 0,00038      | 44,0                   | 0,580           | 1,37                                    |
|                              |                        | 0,020     | 1,58             | 70              | 0,00038      | 44,0                   | 0,520           | 0,47                                    |
|                              |                        | 0,005     | 1,49             | 70              | 0,00038      | 47,0                   | 0,410           | 0,09                                    |
|                              |                        | 0,230     | 1,62             | 150             | 0,00110      | 92,0                   | 0,740           | 4,35                                    |
|                              | ВВГ-0,5 в 3 слоя       | 0,100     | 1,84             | 150             | 0,00110      | 82,0                   | 0,660           | 0,57                                    |
|                              |                        | 0,050     | 1,87             | 150             | 0,00110      | 80,0                   | 0,610           | 0,35                                    |
|                              |                        | 0,025     | 1,92             | 150             | 0,00110      | 79,0                   | 0,450           | 0,15                                    |
|                              | ВВГ-0,5 в 3 слоя       | 0,005     | 2,02             | 150             | 0,00110      | 74,0                   | 0,390           | 0,01                                    |
|                              |                        |           |                  |                 |              |                        |                 |                                         |
|                              |                        |           |                  |                 |              |                        |                 |                                         |
|                              |                        |           |                  |                 |              |                        |                 |                                         |
| $t = 0,65$ м                 | ВВГ-0,5 в 1 слой       | 0,100     | 20,00            | 300             | 0,00035      | 15,0                   | 0,563           | 9,10                                    |
|                              | То же в 2 слоя         | 0,100     | 20,00            | 300             | 0,00070      | 15,0                   | 0,595           | 4,55                                    |
| $T = 1,05$ м                 | » » в 1 слой           | 0,330     | 20,00            | 300             | 0,00035      | 15,0                   | 0,818           | 36,30                                   |
|                              | » » в 2 слоя           | 0,330     | 20,00            | 300             | 0,00070      | 15,0                   | 0,788           | 18,20                                   |
| $\Phi_0 = 0,63$              | » » в 2 слоя           | 0,060     | 20,00            | 300             | 0,00070      | 15,0                   | 0,553           | 2,50                                    |
|                              | » » в 2 слоя           | 0,200     | 20,00            | 300             | 0,00070      | 15,0                   | 0,643           | 10,30                                   |

Исследование притока к щели на приборе ЭГДА выполнялось на моделях из электропроводной бумаги при различных значениях параметров  $H_{гр}$ ,  $l$ ,  $\delta$  и  $\frac{K_{ф}}{K_{гр}}$ . Результаты исследований приведены в табл. 37.

Для подрусловой дрены использовались следующие модели. Дрена составлялась из труб с параметрами:  $d_T = 0,05$  м;  $l_T = 0,23$  м и  $\tau_0 = 0,0015$  м. Как фильтр использовался стеклохолст ВВГ-0,5. Длина и толщина фильтра были различными. В качестве грунтов модели выбирался песок с величиной  $K_{гр} = 20$  м/сут и песок тонкозернистый с  $K_{гр} = 1,5-2$  м/сут. Результаты опытов для этих моделей приведены в табл. 38.



Дрена составлена из гончарных труб с параметрами:  $d_T = 0,072$  м;  $l_T = 0,33$  м;  $\tau_0 = 0,002$  м. Как фильтр использовался стеклохолст ВВГ-0,5. В качестве грунта выбирался песок с величиной  $K_{гр} = 20$  м/сут. Результаты опытов для этих моделей приведены в табл. 38.

При проведении опытов на грунтовых моделях фиксировались показания пьезометров, напор  $H$  и расход  $Q$ . Осредняя перепад давления между пьезометрами П1—П3 и П4—П6 (см. рис. 89),

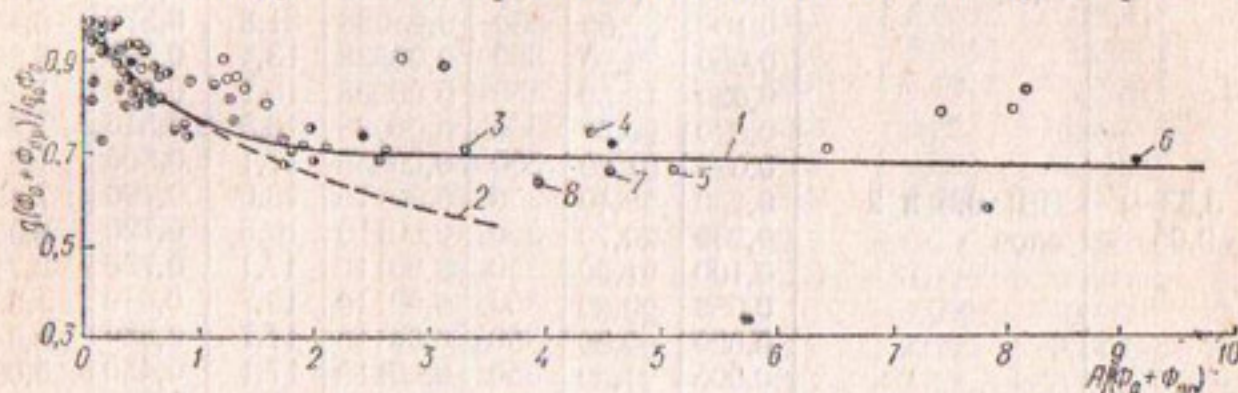


Рис. 90. Зависимость  $\frac{q(\Phi_0 + \Phi_{пр})}{q_0\Phi_0} = f\left(\frac{A}{\Phi_0 + \Phi_{пр}}\right)$  для подрусловой гончарной дрены с волокнистым фильтром:

1 — экспериментальная кривая; 2 — теоретическая кривая; 3 — песок,  $K_{гр} = 20$  м/сут,  $d_T = 0,05$  м,  $l_T = 0,23$ ; 4 — песок,  $K_{гр} = 1,5$  м/сут,  $d_T = 0,05$  м,  $l_T = 0,23$  м; 5 — песок,  $K_{гр} = 20$  м/сут,  $d_T = 0,13$  м,  $l_T = 0,33, 0,66, 1,32$  м; 6 — песок,  $K_{гр} = 20$  м/сут,  $d_T = 0,072$  м,  $l_T = 0,33$  м; 7 — приток к щели, песок,  $K_{гр} = 20$  м/сут; 8 — приток к щели, модели ЭГДА.

вычисляем коэффициент фильтрации грунта модели  $K_{гр}$ . Затем определяем суммарное фильтрационное сопротивление

$$\Phi = \frac{K_{гр} H l}{Q} \quad (IV.62)$$

и находим отношение

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{\Phi_0}{\Phi}, \quad (IV.63)$$

где  $Q_0$  и  $\Phi_0$  — расход и фильтрационное сопротивление «идеальной» дрены. Значение  $\Phi_0$  вычисляли по формуле Ведерникова [23]:

$$\Phi_0 = 0,367 \lg \left[ \lg \left( \frac{\pi}{8} \frac{4t - D}{T} \right) \operatorname{ctg} \left( \frac{\pi}{8} \frac{D}{T} \right) \right], \quad (IV.64)$$

где  $D = d_T + 2\delta$ .

При последующей обработке опытных данных построена экспериментальная зависимость

$$\frac{q(\Phi_0 + \Phi_{пр})}{q_0\Phi_0} = f\left(\frac{A}{\Phi_0 + \Phi_{пр}}\right),$$

показанная на рис. 90.

Были использованы также опыты, выполненные [13] в секторном лотке с фильтрами из базальтового волокна. Результаты опытов показаны на рис. 90, где также построена кривая, полученная по нашему теоретическому решению.



Сопоставляя экспериментальные и теоретические результаты, видим, что они хорошо согласуются при  $A \leq 1,5$ . Этого достаточно, чтобы запроектировать дрена с минимальными дополнительными фильтрационными сопротивлениями.

В 1977 г. была разработана методика фильтрационных расчетов дренажа [129], по которой можно учесть несовершенство гончарной дрены по характеру вскрытия пласта. Расчеты, выполненные нами по этой методике для гончарного дренажа с фильтром из стеклохолста, свидетельствуют о том, что эта методика дает несколько завышенный приток, так как не в полной мере учитывается сопротивление фильтра.

Методика определения дополнительных фильтрационных сопротивлений, изложенная выше, позволяет решить ряд практически важных задач.

1. Оценить несовершенство существующих конструкций дрена. Эта задача возникает тогда, когда по тем или иным соображениям проектируется и строится заведомо несовершенная конструкция дренажа. К такой конструкции можно отнести гончарный дренаж с тонким волокнистым фильтром из стеклохолста.

Рассмотрим три конструкции гончарного дренажа, которые отличаются только длиной полосы фильтра над щелью:  $l_1 = l = 0,33$  м,  $l_1 = 0,1$  м и  $l_1 = 0,016$  м (соединительная муфта конструкции Львовгипроводхоза). Дрена из гончарных труб с наружным диаметром  $d_t = 0,072$  м уложена в слой грунта неограниченной мощности на глубину 1,2 м и работает в режиме подрусовой дрены. Вода стоит на поверхности земли. Фильтр из стеклохолста ВВГ-0,5 толщиной 0,0005 и 0,001 м может кольматироваться. Коэффициент фильтрации закольматированного фильтра при движении жидкости параллельно поверхности холста при  $\delta = 0,0005$  м равен  $K_\phi = 50$  м/сут, а при  $\delta = 0,001$  м  $K_\phi = 70$  м/сут. Рассматриваем работу дрены при следующих коэффициентах фильтрации дренируемого грунта  $K_{гр}$ : 10; 2; 0,5; 0,1 и 0,01 м/сут.

Порядок расчета следующий. По формуле (IV.36) определяем величину  $\Phi_0$ , по (IV.42) —  $\Phi_{пр}$ , а по (IV.56) или (IV.61) —  $A$ . Затем вычисляем параметр  $\frac{A}{\Phi_0 + \Phi_{пр}}$  и по экспериментальному графику

(см. рис. 90) находим параметр  $\frac{q(\Phi_0 + \Phi_{пр})}{q_0\Phi_0}$ , откуда вычисляем отношение  $\frac{q}{q_0}$ , которое характеризует несовершенство дрены. В

табл. 39 приведены результаты вычислений, из которых видно, что конструкции дрена с прерывистым фильтром в любых грунтах обладают несовершенством по характеру вскрытия пласта. Дрена со сплошным фильтром только в тяжелых грунтах при  $K_{гр} \leq 0,01$  м/сут работает как «идеальная», а при  $K_{гр} > 0,01$  м/сут несовершенство дрены возрастает.

При увеличении толщины фильтра водозахватная способность дрены увеличивается. В табл. 39 приведен результат расчета



Т а б л и ц а 39. Результаты расчета параметра  $\frac{q}{q_0}$  для гончарного дренажа с фильтром из стеклохолста

| Характеристика дрены                                                                                                                           | $l_1, \text{ м}$ | $\Phi_0$ | $\Phi_{\text{пр}}$ | $\delta, \text{ м}$ | Значение $q/q_0$ при $K_{\text{гр}}, \text{ м/сут}$ |       |       |       |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------|--------------------|---------------------|-----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                                                                                                                                |                  |          |                    |                     | 10                                                  | 2     | 0,5   | 0,1   | 0,01  |
| Гончарная дрена диаметром 0,072 и 0,33 м, уложенная в слой неограниченной мощности на глубину 1,2 м, защищена фильтром из стеклохолста ВВГ-0,5 | 0,016            | 0,667    | 0,380              | 0,0005              | 0,446                                               | 0,555 | 0,610 | 0,637 | 0,637 |
|                                                                                                                                                | 0,100            | 0,667    | 0,115              | 0,0005              | 0,512                                               | 0,580 | 0,665 | 0,800 | 0,855 |
|                                                                                                                                                | 0,330            | 0,667    | 0                  | 0,0005              | 0,530                                               | 0,600 | 0,680 | 0,820 | 0,990 |
|                                                                                                                                                | 0,016            | 0,667    | 0,380              | 0,0010              | 0,485                                               | 0,592 | 0,625 | 0,637 | 0,637 |
|                                                                                                                                                | 0,100            | 0,667    | 0,115              | 0,0010              | 0,530                                               | 0,605 | 0,683 | 0,828 | 0,855 |
|                                                                                                                                                | 0,330            | 0,667    | 0                  | 0,0010              | 0,570                                               | 0,640 | 0,710 | 0,900 | 1,000 |
| То же, фильтр из базальтового волокна                                                                                                          | 0,330            | 0,585    | 0                  | 0,0250              | 0,910                                               | 0,970 | 0,990 | 1,000 | 1,000 |
| То же, фильтр из стеклохолста, полученного мокрым способом, $K_{\text{ф}} = 30 \text{ м/сут}$                                                  | 0,100            | 0,667    | 0,115              | 0,0010              | 0,500                                               | 0,570 | 0,650 | 0,800 | 0,850 |
|                                                                                                                                                | 0,330            | 0,667    | 0                  | 0,0010              | 0,510                                               | 0,600 | 0,670 | 0,790 | 0,960 |

отношения  $\frac{q}{q_0}$  при толщине фильтра 0,025 м (фильтр из базальтового волокна [114]), который подтверждает этот вывод.

2. Рассчитать рациональную конструкцию дрены, которая будет иметь минимальные дополнительные фильтрационные сопротивления за счет несовершенства конструкции дрены.

Наиболее интересной задачей в этом плане является определение максимальной длины глухих труб для строительства глубокого дренажа с волокнистым фильтром из базальтового штапельного волокна [114].

Если принять, что для рациональной конструкции дрены должно выполняться условие

$$\frac{\Phi_{\text{ф}}}{\Phi_0} \leq \varepsilon \quad (\text{IV.65})$$

при сплошном фильтре и условие

$$\frac{\Phi_{\text{ф}}}{\Phi_0 + \Phi_{\text{пр}}} \leq \varepsilon \quad (\text{IV.66})$$

при прерывистом фильтре, где  $\varepsilon$  — малая величина порядка 0,05 —



0,1, то, учитывая, что при сплошном фильтре  $\Phi_{\phi} = n\Phi_0$ , а при прерывистом  $\Phi_{\phi} = n(\Phi_0 + \Phi_{\text{пр}})$ , получаем

$$n \leq \varepsilon. \quad (\text{IV.67})$$

Используя формулы (IV.51) и (IV.59), можно определить рациональную длину трубы:

при сплошном фильтре

$$l_{\text{рац}} \leq \sqrt{\frac{4\Phi_0 \pi \delta K_{\phi} (d_T + \delta) (3 + \varepsilon) \varepsilon}{K_{\text{гр}}}}. \quad (\text{IV.68})$$

при прерывистом

$$l_{\text{рац}} \leq \sqrt{\frac{4(\Phi_0 + \Phi_{\text{пр}}) \pi \delta K_{\phi} (d_T + \delta) (3 + \varepsilon) \varepsilon}{\sigma_{\text{пр}} K_{\text{гр}}}}, \quad (\text{IV.69})$$

где  $\sigma_{\text{пр}}$  — степень прерывистости дрены,

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{l_1}{l_T}. \quad (\text{IV.70})$$

Рассмотрим следующие расчетные случаи, типичные при строительстве глубокого дренажа. Дрена, состоящая из глухих труб, защищается фильтром из базальтовых штапельных волокон и укладывается в слой грунта неограниченной мощности на глубину 2,5 м. Дрена работает в режиме подрусловой. Толщина фильтра  $\delta = 0,02$  м,  $K_{\phi} = 200$  м/сут. Наружный диаметр труб равен 0,1; 0,15; 0,2 и 0,3 м, коэффициент фильтрации дренируемого грунта  $K_{\text{гр}}$  равен 10; 2; 0,5; 0,1 и 0,01 м/сут. Принимаем  $\varepsilon = 0,1$ .

Таблица 40. Результаты определения рациональной длины глухих дренажных труб, м

| Характеристика дрены                                                                                                                                               | $d_T$ , м | $\Phi_0$ | $\Phi_{\text{пр}}$ | Рациональная длина труб при значениях $K_{\text{гр}}$ , м/сут |      |      |     |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------|--------------------|---------------------------------------------------------------|------|------|-----|------|
|                                                                                                                                                                    |           |          |                    | 10                                                            | 2    | 0,5  | 0,1 | 0,01 |
| Дрена из глухих отрезков труб, защищенная фильтром из базальтово-штапельного волокна, уложена в слой грунта неограниченной мощности на глубину 2,5 м, $\sigma = 1$ | 0,10      | 0,68     | 0                  | 0,34                                                          | 0,76 | 1,52 | 3,4 | 10,8 |
|                                                                                                                                                                    | 0,15      | 0,63     | 0                  | 0,40                                                          | 0,88 | 1,77 | 4,0 | 12,5 |
|                                                                                                                                                                    | 0,20      | 0,59     | 0                  | 0,44                                                          | 0,98 | 1,97 | 4,4 | 14,0 |
|                                                                                                                                                                    | 0,30      | 0,53     | 0                  | 0,50                                                          | 1,10 | 2,26 | 5,0 | 16,0 |
| То же, $\sigma = 0,5$                                                                                                                                              | 0,10      | 0,68     | 0,08               | 0,51                                                          | 1,13 | 2,25 | 5,1 | 16,1 |
|                                                                                                                                                                    | 0,15      | 0,63     | 0,08               | 0,60                                                          | 1,32 | 2,66 | 6,0 | 18,7 |
|                                                                                                                                                                    | 0,20      | 0,59     | 0,08               | 0,66                                                          | 1,40 | 2,98 | 6,6 | 21,0 |
|                                                                                                                                                                    | 0,30      | 0,53     | 0,08               | 0,76                                                          | 1,66 | 3,43 | 7,6 | 24,3 |

Примечание. При  $\sigma = 0,5$  значение  $\Phi_{\text{пр}}$  значительно меньше  $\Phi_0$ , а при  $l_T = 0,5 \div 3$  м и  $d_T = 0,1$  м  $\Phi_{\text{пр}} = 0,052 \div 0,076$ . При вычислении величины  $l_{\text{рац}}$  для прерывистой дрены принимаем  $\Phi_{\text{пр}} = 0,08$ .



В табл. 40 приведены результаты расчетов, по которым построены графики  $l_{\text{рац}} = f(K_{\text{гр}})$  для различных диаметров труб (рис. 91).

Анализируя результаты расчетов, сделаем следующие выводы.

Глубокий гончарный дренаж из труб  $l_r = 0,33$  м с волокнистым фильтром из базальтового штапельного волокна практически во всех случаях работает как «идеальная» дрена.

Учитывая, что при строительстве глубокого мелиоративного дренажа водопроницаемость дренируемых грунтов редко превышает 1 м/сут, длину глухих секций труб можно увеличить до 1,5—2 м. Дренаж из таких труб со сплошным и прерывистым фильтром при величине  $\sigma_{\text{пр}} \geq 0,5$  будет работать хорошо. Здесь надо иметь в виду, что междренные расстояния при применении прерывистого фильтра необходимо определять с учетом несовершенства за счет прерывистости дрены.

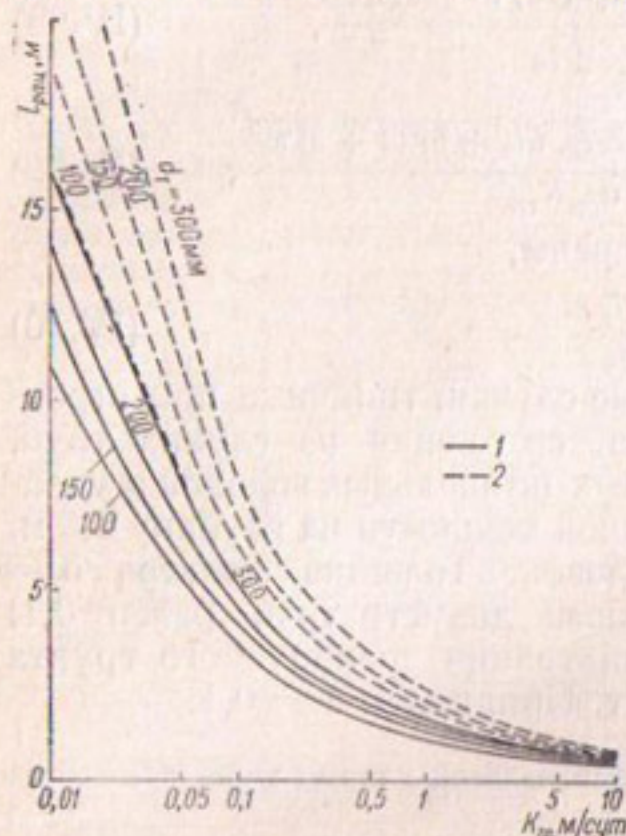


Рис. 91. Зависимость  $l_{\text{рац}} = f(K_{\text{гр}})$  для дренажа из бетонных труб с непрерывным (1) и прерывистым (2) ( $\sigma_{\text{пр}} = 0,5$ ) фильтрами из базальтового волокна ( $\delta = 0,02$  м).

3. Оценить водопроницаемость новых фильтрующих материалов с точки зрения использования их в качестве защитных фильтров гончарного дренажа.

Для защиты гончарного дренажа от заиливания широко используются волокнистые фильтры из стеклянных, базальтовых и полимерных штапельных волокон. Некоторые материалы прошли производственную проверку и общепризнаны [82]. Однако в

процессе усовершенствования конструкций дренажа приходится исследовать новые защитные материалы, свойства которых отличны от свойств известных материалов. Приведенная выше методика позволяет оценить несовершенство конструкции дрены с новым материалом.

В табл. 39 приведены результаты определения отношения  $\frac{q}{q_0}$  для гончарной дрены, защищенной новым стеклохолстом, полученным мокрым способом. Водопроницаемость этого холста меньше, чем стеклохолста ВВГ-0,5, в 1,5—2 раза, тем не менее водозахватная способность дренажа снижается не более чем на 10% по сравнению с аналогичной конструкцией дренажа со стеклохолстом ВВГ-0,5. Поэтому считаем, что новый стеклохолст можно применять в качестве защитного фильтра гончарного дренажа.

4. Определить допустимые отношения  $\left| \frac{K_{\text{ф}}}{K_{\text{гр}}} \right|_{\text{доп}}$ .



Аналогично определению формулы для рациональной длины трубы можно найти допустимое отношение  $\left[ \frac{K_{\phi}}{K_{гр}} \right]_{\text{доп}}$  для случая, когда дрена должна быть близкой к «идеальной»:

$$\left[ \frac{K_{\phi}}{K_{гр}} \right]_{\text{доп}} \geq \frac{L_1 l_1}{4\pi (\Phi_0 + \Phi_{пр}) \delta (d_т + \delta) (3 + \varepsilon) e} \quad (IV.71)$$

Видно, что отношение  $\left[ \frac{K_{\phi}}{K_{гр}} \right]_{\text{доп}}$  для дрен типа гончарных является величиной переменной и в зависимости от конструкции дрены может быть довольно большим числом.

В результате проведенных исследований водозахватной способности гончарного дренажа с волокнистыми фильтрами найдена методика расчета дополнительных фильтрационных сопротивлений за счет несовершенства по характеру вскрытия пласта для подрусловой дрены.

Разработанная методика расчета позволила получить ряд практических результатов, наиболее важные из которых следующие.

Существующие конструкции гончарного дренажа с тонким волокнистым фильтром из стеклохолстов (мелкий дренаж) являются несовершенными.

Гончарный дренаж с фильтрами из матов прошивных в один слой их штапельного базальтового волокна (глубокий дренаж), выпускаемого в соответствии с РСТ УССР 5015-77, близок к «идеальному». При водопроницаемости дренируемого грунта не более 1 м/сут указанную конструкцию дрены можно применять при длине глухих секций труб 1,5—2 м. При этом дополнительные фильтрационные сопротивления будут незначительными и их при расчете дренажа можно не учитывать.

### Выводы

В результате исследований (физическое и математическое моделирование) и аналитических решений предложены расчетные графики, формулы, таблицы, разработаны методы расчета водозахватной способности фильтрационных сопротивлений и параметров горизонтального трубчатого дренажа из гладких перфорированных пластмассовых, асбестоцементных, гончарных, гибких витых поливинилхлоридных, пористобетонных и пористых керамзитовых труб, оборудованных волокнистыми фильтрами из базальтовых, стеклянных и пластмассовых волокон при работе их в различных по водопроницаемости грунтах. Они позволяют учитывать влияние диаметра дрены на ее водозахватную способность, устанавливать необходимую водопроницаемость, толщину и конструкцию волокнистого фильтра, определять оптимальную площадь, размеры, форму и наиболее рациональную схему размещения перфорации по периметру трубы, запроектировать дрена с минимальными дополнительными фильтрационными сопротивлениями, близкую к совершенной по характеру вскрытия пласта дрена.



**ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ВОЛОКНИСТЫХ  
ФИЛЬТРОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВОЛН  
И ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ ФИЛЬТРАЦИИ**

Сборный железобетон находит широкое применение при возведении различных гидротехнических сооружений больших гидроузлов и в гидросооружениях на оросительных, обводнительных и осушительных системах [66].

Применение сборного железобетона в гидротехническом строительстве, особенно для креплений откосов земляных плотин, защитных дамб, каналов, органически связано с применением конструктивных мер по защите откосов или оснований земляных сооружений из связных и особенно несвязных грунтов от размыва фильтрационным и поверхностным потоками. В подавляющем большинстве случаев этот вопрос решается путем устройства обратных фильтров и подготовок из гравия и щебня под бетонным креплением, что довольно дорого. Поэтому целесообразно применение более технологичных и экономичных фильтров из искусственных минеральных волокнистых материалов и изделий из стеклянного и базальтового волокон, укладка которых поддается механизации, а конструкция гарантирует надежность работы сооружений даже при наличии щелей или образовавшихся трещин в защитных бетонных конструкциях [68, 69, 95, 104, 107, 130].

Укладка фильтров и подготовок из гравия и щебня не только очень трудно поддается механизации, но часто они не выполняют своего назначения, что приводит к выносу грунта, деформациям и разрушению креплений и сооружений [9, 69].

Например, при обследовании трехсот блочных сооружений из сборного железобетона, построенных на оросительных системах, во многих случаях зафиксировано расстройство стыков между элементами сборных конструкций. Это вызвало вынос из-под железобетонных элементов материалов фильтров и подготовок, а также во многих случаях сопровождалось размывом грунта оснований и насыпок, а впоследствии приводило к разрушению самих сооружений. Устранение указанных разрушений связано с большими трудностями.

Разрушение крепления из-за выноса поверхностными дождевыми водами гравелисто-галечниковой подготовки и основания из-под



плит крепления откосов наблюдалось на отводящем канале р. Сивки и на канале Северский Донец — Донбасс [9].

На Катта-Курганском водохранилище в 1953—1954 гг. из-за несовершенства конструкций и некачественного строительства происходили значительные разрушения каменного крепления под действием волн.

Указанные примеры свидетельствуют о необходимости создания новых, более экономичных и, самое главное, более надежных типов фильтровых подготовок и конструкций креплений, ориентированных на современные индустриальные методы строительства.

Много лет назад поднимался вопрос о применении в дренажных устройствах гидротехнических сооружений вместо обычных многослойных песчано-гравийных фильтров фильтров из пористого бетона [12, 28, 73]. Однако данный тип фильтров пока не нашел широкого применения из-за плохой работы при наличии просадок и деформации оснований и засыпок, а также вследствие сложной технологии изготовления, потребности в обсыпке отсортированным песком, заилению и высокой стоимости, хотя в некоторых случаях и меньшей, чем стоимость обычных гравийных фильтров.

Кроме названных конструкций фильтров, для борьбы с выносом грунта в креплениях из сборного железобетона применялись растительные волокнистые материалы из травы, мха, соломы, камыша и др. Одним из примеров креплений, уложенных на подготовку из травы, является крепление откосов дамб на Таш-Кепринском водохранилище в Туркмении [69]. Однако фильтры из естественных (органических) волокнистых материалов также имеют существенные недостатки: недолговечность, особенно в условиях переменной влажности, слабую сопротивляемость агрессивным грунтовым водам. Кроме того, сбор таких материалов не везде возможен, а там, где возможен, обходится дорого. Сам же опыт использования волокнистых материалов под креплениями откосов на ряде построенных плотин заслуживает внимания.

Чтобы использовать преимущества и избежать недостатков, присущих фильтрам из щебня, гравия и естественных волокнистых материалов, Никитин [68, 69] предложил применять гибкий упругий фильтр в виде войлока из минеральной ваты (шлаковаты). Вопрос о возможности применения такого фильтра под креплением из бетонных плит откосов земляных сооружений исследовался в лабораторных условиях и дал, в принципе, обнадеживающие результаты. Однако фильтр из шлаковаты не нашел применения в области гидротехнического строительства, так как не является устойчивым к действию воды.

В работе [149] рассмотрен вопрос о применении в береговых защитных сооружениях фильтров из синтетических материалов (маты из стекловолокна, слоенная стекловолокнистая и пластмассовая ткани) вместо многослойных гравийных фильтров. В ней приведены результаты лабораторных исследований и данные о работе рассматриваемых синтетических фильтров после годичного срока эксплуа-



тации в натуральных условиях под облицовкой из бетонных блоков на двух участках защитных морских сооружений во Флориде.

Анализ упомянутых работ свидетельствует о том, что существующие типы обратных фильтровых подготовок представляют самое слабое место в креплениях. Чтобы уменьшить стоимость креплений и обеспечить надежность их работы, необходимо было в первую очередь исследовать и разработать новые конструкции фильтров, позволяющие механизировать все процессы при изготовлении, монтаже и укладке их под крепления, а также отказаться от некоторых операций, неизбежных при устройстве щебенистых фильтров (контроль гранулометрического состава, толщины фильтра и др.).

Вариантами таких фильтров являются предложенные нами фильтры из базальтового и стеклянного волокна, изготавливаемые в виде гибких прошитых матов, войлоков, плит, полос с оболочками из стеклосеток и стеклотканей [82, 88, 95, 104, 130].

Фильтры из искусственных минеральных волокнистых материалов (базальтового и стеклянного волокон) должны обеспечивать контактную прочность защищаемых грунтов при всех видах фильтрации, включая пульсирующую, вызванную действием поверхностного потока на участке сопряжения бьефов за водосбросными сооружениями и волновым воздействием на откосы земляных сооружений или берегов, не подвергаться механической кольматации, быть устойчивыми к действию попеременного намокания и высушивания, замораживания и оттаивания и действию других атмосферных факторов. Для решения этих вопросов в 1963—1973 гг. нами выполнен комплекс исследований, результаты которых излагаются далее.

### **§ 1. Контактная устойчивость грунтов, защищенных волокнистыми фильтрами, при установившейся и пульсирующей фильтрации**

Фильтры из базальтового и стеклянного волокон, уложенные под креплениями откосов земляных плотин, защитных дамб, за шпунтовыми стенами набережных и портовых сооружений и под дренированными креплениями откосов и дна в нижнем бьефе за водосливными плотинами, подвергаются не только воздействию установившейся фильтрации, но и переменным по величине давлениям поверхностного потока и волн, вызывающих в фильтрах пульсирующую фильтрацию.

Пульсация давления, возникающая под плитами крепления за низко- и средненапорными водосливными плотинами, характеризуется обычно амплитудой 0,5—6 м вод. ст. с частотами от 0,1 до 10 Гц. Такие сложные условия работы фильтров требовали детального изучения закономерностей распространения и затухания пульсаций давления в их толще, устойчивости контакта фильтра с защищаемым грунтом при пульсирующей фильтрации.

Вопросы контактной устойчивости грунтов, защищаемых песчано-гравийными фильтрами, и расчет самих фильтров для условий установившейся фильтрации рассмотрены в работах [10, 44, 46],



а для условий пульсирующей фильтрации — в работах [10, 11]. При расчете волокнистых фильтров результаты, полученные в этих работах, нельзя использовать. Кроме того, волокнистые фильтры, в отличие от песчано-гравийных, при защите и дренировании связанных и несвязных грунтов выполняются обычно в виде одного слоя в несколько раз меньшей толщины.

Сведений об использовании в данном направлении и расчетах фильтров из искусственных минеральных волокнистых материалов и изделий из них, насколько нам известно, нет.

Контактная устойчивость грунтов, защищаемых волокнистыми фильтрами, изучалась в условиях установившейся и пульсирующей продольной и восходящей фильтрации. Одновременно с этим рассматривались процессы затухания пульсаций давления в волокнистых фильтрах.

Исследования включали три серии опытов. В первую серию опытов вошло изучение контактной устойчивости тонко-, мелко- и крупнозернистого песков, защищаемых фильтрами из базальтового волокна и стеклотканей при наличии продольной напорной фильтрации, которая возможна в случае движения фильтрационного потока под креплением откосов плотин и каналов от ливневых вод.

Указанные исследования выполнялись на установке, показанной на рис. 92, а гранулометрический состав защищаемых волокнистыми фильтрами грунтов приведен в табл. 41.

Методика проведения опытов данной серии заключалась в следующем. В нижнюю часть лотка 6, имеющую длину 1,2, высоту 0,3 и ширину 0,16 м, поочередно загружали испытываемые пески 13, сверху которых на половину длины лотка укладывали стеклоткань 14 (четырёхремизный усиленный сатин ТССНФ), а на другую половину — войлок из штапельного базальтового волокна 15, которые, в свою очередь, пригружались слоем щебня 16 с размером фракций  $d = 10 \div 25$  мм и  $d = 25 \div 40$  мм.

Вода в лоток подавалась из резервуара 1 с помощью насоса 3 по напорному шлангу 4 через напорный стояк 5. Вода во время опыта

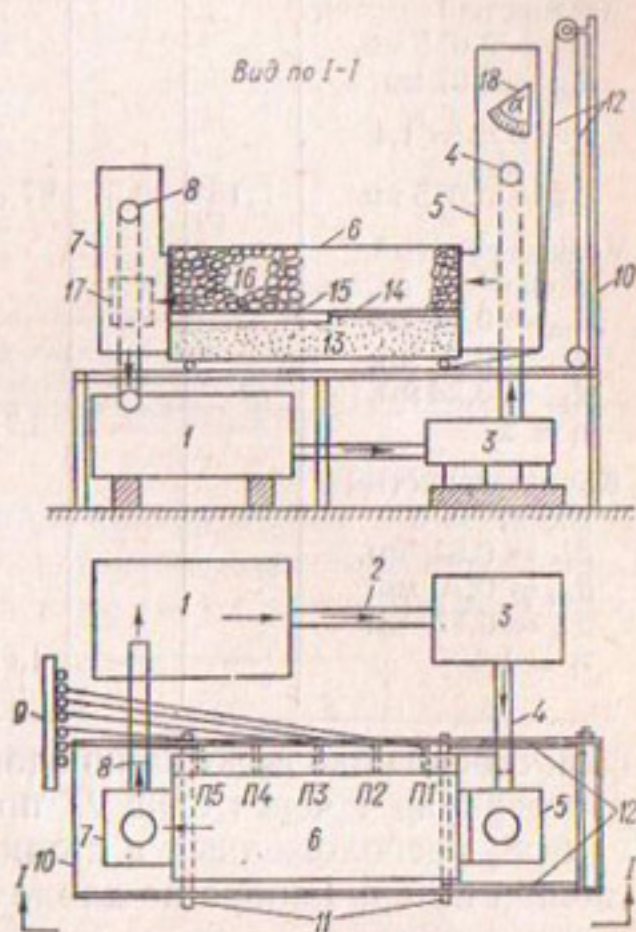


Рис. 92. Схема установки:

1 — резервуар с водой; 2 — всасывающий шланг; 3 — насос; 4 — напорный шланг; 5 — напорный стояк; 6 — лоток; 7 — безнапорный стояк; 8 — слив; 9 — шкала пьезометров; 10 — опорная рама; 11 — опорные стержни; 12 — лебедка; 13 — песок; 14 — фильтр из стеклоткани; 15 — фильтр из войлока; 16 — щебень; 17 — окно для слива воды; 18 — шкала.



Т а б л и ц а 41. Гранулометрический состав грунтов, исследованных на контактную устойчивость, при защите волокнистыми фильтрами

| Грунт                                                                                                                                                 | Процент содержания частиц диаметром, мм |               |              |              |              |              |              |             |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
|                                                                                                                                                       | 0,01                                    | 0,01—<br>0,05 | 0,05—<br>0,1 | 0,1—<br>0,25 | 0,25—<br>0,5 | 0,5—<br>0,75 | 0,75—<br>1,0 | 1,0—<br>2,0 | 2,0—<br>3,0 |
| Полтавский тонко-<br>зернистый песок,<br>$d_{10} = 0,055$ мм,<br>$d_{50} = 0,07$ мм,<br>$\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}} = 1,4$ ,<br>$d_{60} = 0,075$ мм | 1,15                                    | 0,5           | 97,80        | 4,50         | 0,07         | —            | —            | —           | —           |
| Мелкозернистый<br>речной песок,<br>$d_{10} = 0,12$ мм,<br>$d_{50} = 0,20$ мм,<br>$d_{60} = 0,24$ мм,<br>$\eta = 2$                                    | —                                       | —             | 2,71         | 62,46        | 31,41        | —            | 2,75         | 0,49        | 0,28        |
| Крупнозернистый<br>песок,<br>$d_{10} = 0,54$ мм,<br>$d_{50} = 0,70$ мм,<br>$d_{60} = 0,77$ мм<br>$\eta = 1,4$                                         | —                                       | —             | 1,54         | 43,68        | 45,11        | 5,35         | 3,73         | 0,49        | 0,10        |

фильтровала вдоль лотка по слоям фильтра и далее снова поступала в резервуар 1 через слив 17 при безнапорной фильтрации и через слив 8, расположенный в стояке 7, при напорной фильтрации. Величина потерь напора по длине лотка измерялась с помощью пяти пьезометров.

Исследование контактной устойчивости грунта с рассматриваемыми фильтрами выполнялось при напорной фильтрации, характеризующейся различными градиентами, и горизонтальном и наклонном положениях лотка. Угол наклона лотка с помощью специального устройства изменялся от нуля до  $35^\circ$ . Во время опытов измерялись величины давления по длине лотка и фильтрационные расходы воды, а затем определялись величины градиентов и скорости фильтрации в пригрузке и фильтрах. Кроме того, велись визуальные наблюдения за устойчивостью частиц грунта по линии контакта его с фильтром из стеклоткани и войлока. Результаты исследований сведены в соответствующие таблицы; одну из них (табл. 42) для опытов с мелкозернистым речным песком мы здесь приводим. Видно, что при градиентах, достигающих единицы, и максимальной скорости фильтрации в пригрузке, равной 19 см/с, никакого выноса частиц из защищаемого мелкозернистого песка через ткань и войлок в пригружающий слой щебня не было. Аналогичная картина наблюдалась и в опытах с полтавским тонко- и крупнозернистым песками.



Т а б л и ц а 42. Результаты исследований контактной устойчивости мелкозернистого песка при напорной продольной фильтрации, защищенного волокнистыми фильтрами

| Номер опыта | Среднее значение градиентов | Скорость фильтрации в пригрузке, см/с | Угол наклона лотка, град | Коэффициент откоса грунта, защищенного фильтром |
|-------------|-----------------------------|---------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------|
| 1           | 0,50                        | 12,7                                  | 0                        |                                                 |
| 2           | 0,60                        | 14,7                                  | 6                        | 9,5                                             |
| 3           | 0,70                        | 15,8                                  | 8                        | 7,0                                             |
| 4           | 0,75                        | 16,2                                  | 11                       | 5,0                                             |
| 5           | 0,80                        | 17,0                                  | 14                       | 4,0                                             |
| 6           | 0,88                        | 17,8                                  | 18                       | 3,0                                             |
| 7           | 0,97                        | 18,6                                  | 22                       | 2,5                                             |
| 8           | 1,00                        | 19,0                                  | 25                       | 2,0                                             |
| 9           | 1,00                        | 18,8                                  | 35                       | 1,5                                             |

Примечание. Вынос частиц мелкозернистого песка через стеклоткань ТССНФ и войлок из базальтового волокна вдоль контакта фильтра с песком отсутствовал. Отсутствовал также вынос волокон фильтров в пригрузку из щебня  $d = 25-40$  мм.

Во вторую серию опытов вошли исследования на контактную устойчивость мелкозернистого песка, защищаемого фильтром в виде войлоков из базальтового волокна и матов из стеклянного волокна

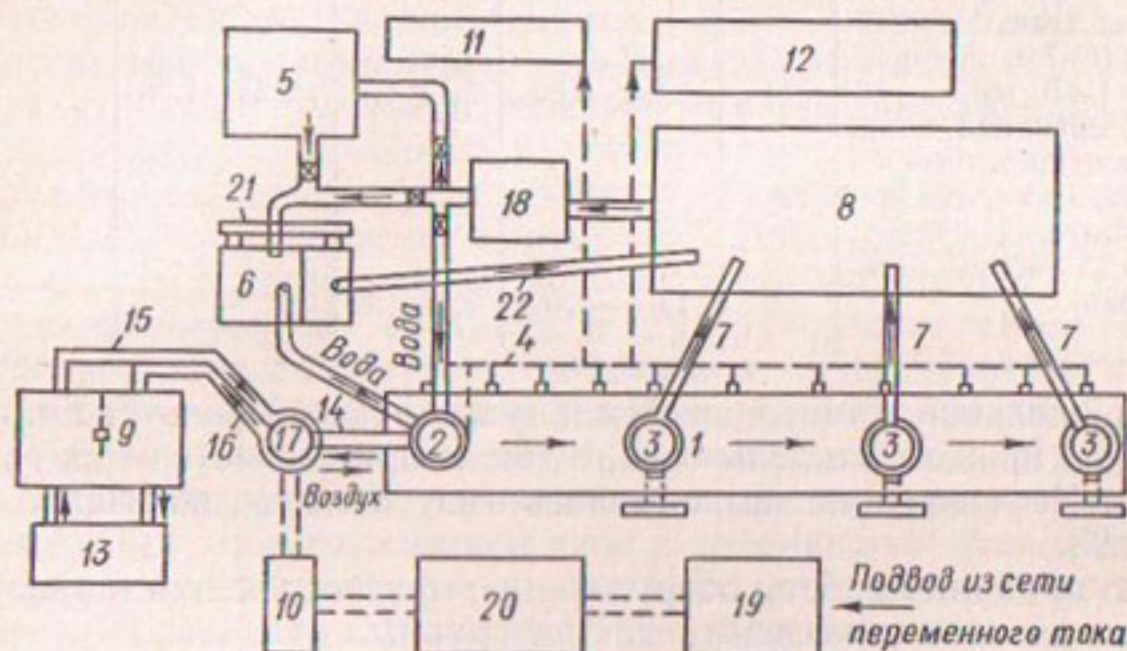


Рис. 93. Схема стенда:

1 — лоток; 2 — напорный стояк; 3 — безнапорный стояк; 4 — штуцера для пьезометров и датчиков; 5 — напорный бак; 6 — бак со сливом; 7 — слив; 8 — заборный бак; 9 — ресивер; 10 — электромотор; 11 — шкала пьезометров; 12 — аппаратура для записи пульсаций давлений; 13 — компрессор; 14 — гофрированный шланг; 15 и 16 — шланги давления и вакуума; 17 — камера шатуно-кривошипного механизма; 18 — насос; 19 — генератор постоянного тока; 20 — схема Леонардо; 21 — рама с успокоителем; 22 — шланг для слива воды.

и из стеклянной фильтровальной ткани саржевого переплетения (ТСФ (6)-7с) и стеклянной фильтровальной ткани сатинового переплетения (четырёхремизный усиленный двухлицевой сатин ТССНФ),



Т а б л и ц а 43. Результаты исследований контактной устойчивости мелкозернистых песков, защищенных фильтрами из стеклотканей, войлоков и матов из базальтового волокон

| Сведения о грунте и конструкции фильтров                                                             | Количество опытов | Амплитуда пульсации давления, м вод. ст. | Частота колебаний, Гц | Градиенты | Состояние фильтра и грунта                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------------------|-----------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Мелкозернистый песок (основание), маты из стекловолокна (фильтр), щебень, $d = 10-25$ мм (пригрузка) | 17                | 0,56—5,68                                | 8,3—2,0               | 0,4—0,95  | Никаких нарушений в конструкции фильтров и по линии контакта фильтров с песком не произошло |
| Мелкозернистый песок, войлок из базальтового волокна, щебень, $d = 10-25$ мм                         | 3                 | 0,75—5,50                                | 7,2—2,0               | 0,19—0,82 |                                                                                             |
| Мелкозернистый песок, войлок из базальтового волокна, щебень, $d = 25-40$ мм                         | 5                 | 0,80—5,80                                | 6,3—2,0               | 0,56—1,22 |                                                                                             |
| Мелкозернистый песок, стеклоткань ТСФ(6)-7 с, щебень, $d = 5-10$ мм                                  | 13                | 0,95—6,20                                | 6,2—1,1               | 0,28—0,93 |                                                                                             |
| Мелкозернистый песок, стеклоткань ТСФ(6)-7 с, щебень, $d = 1-5$ мм                                   | 11                | 0,94—6,60                                | 6,1—1,1               | 0,25—1,36 |                                                                                             |
| Мелкозернистый песок (основание), стеклоткань ТССНФ (фильтр), щебень, $d = 25-40$ мм (пригрузка)     | 2                 | 1,37—3,46                                | 2,3—1,8               | —         |                                                                                             |

при продольной установившейся и пульсирующей фильтрации и при наличии каждой в отдельности, а также при совместном их воздействии. Исследования выполнялись на стенде, показанном на рис. 93.

По принципу работы оборудование, приспособления и аппаратуру стенда можно разделить на три группы.

1. Приспособления и механизмы, предназначенные для подачи воды и создания продольного фильтрационного потока в фильтрах. Сюда входят резервуар с водой, насос с электромотором, лоток для загрузки грунта и фильтров, напорный и безнапорный стояки и штуцер для подключения пьезометров и индуктивных датчиков.

2. Оборудование и механизмы, предназначенные для создания пульсаций давления в грунте, фильтрах и пригрузке из щебня: генератор постоянного тока, селеновый выпрямитель с реостатом и электромотором, компрессор, ресивер с камерой давления и вакуума и поршневая камера с шатунно-кривошипным механизмом.



3. Аппаратура и приспособления для измерений пульсаций давления и пьезометры.

В данной серии опытов исследовались следующие схемы фильтров: слой мелкозернистого песка (основание) толщиной 10 см прикрывался стеклотканью ТСФ(б)-7с или ТССНФ в одно сложение, войлоком из базальтового штапельного волокна ( $d_{э.в} = 15$  мк) и матами из стеклянного штапельного волокна ( $d_{э.в} = 10$  мк) с толщиной слоя 1,0 см, которые, в свою очередь, пригружались слоем гравия или щебня толщиной 8—9 см с фракциями  $d = 5\div 40$  мм (табл. 43). Исследовалась также устойчивость песка, защищенного слоем фильтра из войлоков и матов с толщиной слоя 12,0 см без пригружающего слоя из щебня.

Исследования выполнялись при установившейся и пульсирующей фильтрации и совместном их воздействии.

Продольный фильтрационный поток в лотке создавался механизмами и приспособлениями первой группы, а колебание давлений (пульсирующая фильтрация) — оборудованием, механизмами и приспособлениями второй группы.

Величина напора по длине испытываемых фильтров при наличии продольной установившейся фильтрации измерялась с помощью пьезометров, а амплитуды давления в различных точках по длине лотка — с помощью пяти индуктивных датчиков. Результаты записывались осциллографом МПО-2 на одну пленку. Скорость записи на фотопленку составляла 50 мм/с, время записи, 5—10 с. Всего по исследованию контактной устойчивости грунтов, защищаемых указанными конструкциями фильтров при действии на них пульсирующего потока, выполнен 51 опыт.

В процессе каждого опыта через три окна из оргстекла велись тщательные визуальные наблюдения за устойчивостью частиц грунта по контакту с исследуемыми волокнистыми фильтрами и устойчивостью фильтров по контакту с пригружающим слоем щебня.

Обработка осциллограмм сводилась к определению в каждом опыте по трем-четырем кадрам величин размахов пульсации давления, частот колебаний давления и величин максимальных градиентов в пульсирующем и установившемся фильтрационных потоках, проходящих в пригружающем слое и волокнистых фильтрах. Вопросы, касающиеся обработки опытного материала по затуханию пульсаций давления в фильтрах, более подробно рассмотрены в следующем параграфе.

После опытов фильтры тщательно просматривались визуально и под микроскопом, определялась их водопроницаемость и сравнивалась с исходной. Было установлено, что через стеклосетки и войлоки частицы грунта не проникали и не откладывались внутри фильтров. Результаты обработки опытного материала по контактной устойчивости мелкозернистых песков, защищаемых волокнистыми фильтрами, приведены в табл. 43. Видно, что при изменении амплитуды пульсации давления от 0,5 до 6,4 м вод. ст., частотах колебаний от 0,8 до 9 Гц и градиентах давления от 0,14 до 1,4 в опытах не



наблюдались контактный размыв слоя мелких песков, проникновение частиц песка через стеклоткани и войлоки, а также вынос отдельных элементарных волокон из войлоков и матов в пригружающий слой щебня. Аналогичные результаты имеем и для установившейся продольной фильтрации при градиентах, изменявшихся в пределах 0,02—3, а также при совместном воздействии установившейся и пульсирующей фильтраций. Следовательно, исследованные фильтры из стеклотканей, войлоков и матов обладают высокими защитными свойствами и являются практически непроницаемыми для мелкозернистых песков при самых невыгодных режимах фильтрации, которые могут встречаться на практике.

В третью серию опытов вошли исследования контактной устойчивости полтавского тонкозернистого и мелкозернистого песков (табл. 44), защищенных в виде войлоков из базальтового волокна, матов из стеклянного волокна, стеклянной фильтровальной тканью саржевого (ТСФ (б)-7 с) и сатинового переплетения (четырёхремизный усиленный двухлицевой сатин ТССНФ), а также в сочетании войлоков и матов со стеклотканями. Исследования выполнялись для напорной восходящей и поперечной пульсирующей фильтрации на специальном стенде.

Стенд в этих опытах отличался от показанного на рис. 93 только тем, что вместо продольного лотка испытываемые грунты и фильтры закладывались в вертикальный фильтрационный прибор диаметром 200 мм и высотой 1,5 м. Для визуального наблюдения за состоянием контакта в стенке прибора были устроены окна из оргстекла. Прибор оборудовался пьезометрами с выводами на шкалу и индуктивными датчиками давления. Его можно было использовать для исследования контактной устойчивости грунтов, защищенных волокнистыми фильтрами, на восходящую и нисходящую напорную установившуюся и пульсирующую фильтрацию. Методика проведения исследований заключалась в следующем. В фильтрационный прибор на слой мелкозернистого щебня укладывался слой тонко- или мелкозернистого песка толщиной 52 см, сверху песка укладывались волокнистые фильтры различной конструкции (см. табл. 44), которые пригружались в одних случаях мелкозернистым ( $d = 1 \div 10$  мм), а в других — крупнозернистым щебнем ( $d = 25 \div 60$  мм). Подводя воду снизу, в фильтрационном приборе создавали восходящую установившуюся фильтрацию с градиентами давления  $I = 3 \div 4$ , заведомо разрушающими для непригруженного грунта. Состояние контакта фиксировалось визуально через смотровые окна, а также путем осмотра и исследований фильтров после опытов под микроскопом и на водопроницаемость.

Пульсирующий фильтрационный поток создавался с помощью приспособлений и механизмов, описанных в предыдущей серии опытов, и характеризовался максимальными амплитудами от 4 до 6 м вод. ст. и частотами 0,8—10 Гц. Амплитуды и частоты колебаний давления фиксировались индуктивными датчиками и записывались на пленку. Состояние контакта в этих опытах, как и при установившейся



Т а б л и ц а 44. Результаты исследований контактной устойчивости грунтов, защищенных волокнистыми фильтрами, при установившейся восходящей и поперечной пульсирующей фильтрации

| Грунт и конструкция фильтра                                                                                       | Напорная восходящая фильтрация |                           |                                                                                                                         | Пульсирующая поперечная фильтрация                      |                        |                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                   | Градиент                       | Время работы установки, ч | Состояние контакта                                                                                                      | Максимальная пульсация давления в пригрузке, м вод. ст. | Время работы установки | Состояние контакта                                          |
| Щебень, $d = 25-40$ мм (пригрузка)<br>Маты из стеклянного волокна (фильтр)<br>Песок тонкозернистый (основание)    | 3,8                            | 17                        | Контакт не нарушен, выноса песка через и внутрь мата нет                                                                | $\pm 2-3$                                               | 1 ч 15 мин             | Контакт не нарушен, выноса частиц через и внутрь мата нет   |
| Щебень, $d = 25-40$ мм (пригрузка)<br>Войлок из базальтового волокна (фильтр)<br>Песок тонкозернистый (основание) | 4,4                            | 19                        | То же                                                                                                                   | $\pm 2-3$                                               | 1 ч 30 мин             | То же                                                       |
| Щебень, $d = 25-60$ мм (пригрузка)<br>Стеклоткань ТСФ(6)-7 с (фильтр)<br>Тонкозернистый песок (основание)         | Перепад 0,8 м                  | —                         | Через ткань прошло небольшое количество песка диаметром $d \leq 0,05$ мм, контакт фильтр — грунт практически не нарушен | $\pm 2-3$                                               | 5 ч                    | Через ткань прошли частицы песка диаметром $d \leq 0,14$ мм |
| Щебень, $d = 26-60$ мм (пригрузка)<br>Стеклоткань ТССНФ (фильтр)<br>Мелкозернистый речной песок (основание)       | Перепад 0,53 м                 | —                         | То же                                                                                                                   | $\pm 2-3$                                               | 4 ч                    | То же                                                       |
| Щебень, $d = 5-10$ мм (пригрузка)<br>Войлок из ба-                                                                | 4,4                            | 19                        | Контакт не нарушен, выноса песка через и                                                                                | $\pm 2-3,4$                                             | 2 ч 2 мин              | В войлок песок не проник, через ткань про-                  |



| Грунт<br>и конструкция<br>фильтра                                                                                                                                                                                                                        | Напорная восходящая<br>фильтрация |                                             |                                                                                                                                                                                                                 | Пульсирующая поперечная фильтрация                                      |                                |                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                          | Гра-<br>диент                     | Время<br>рабо-<br>ты ус-<br>танов-<br>ки, ч | Состояние<br>контакта                                                                                                                                                                                           | Максималь-<br>ная пульса-<br>ция давления<br>в пригрузке,<br>м вод. ст. | Время ра-<br>боты<br>установки | Состояние<br>контакта                                                                                                                                 |
| зальтового во-<br>локна<br>(фильтр)<br>Стеклоткань<br>ТССНФ в<br>один слой<br>Песок тонкозер-<br>нистый (осно-<br>вание)<br>Щебень, $d =$<br>$= 25-60$ мм<br>(пригрузка)<br>Стеклоткань<br>ТССНФ<br>(фильтр)<br>Тонкозернистый<br>песок (основа-<br>ние) | Пере-<br>пад<br>2,05 м            | 20                                          | внутри мата<br>нет<br><br><br><br><br><br>Через ткань<br>прошло не-<br>большое ко-<br>личество<br>частиц диа-<br>метром $d \leq$<br>$\leq 0,07$ мм,<br>контакт фи-<br>льтр — грунт<br>практически<br>не нарушен | $\pm 2-3$                                                               | 1 ч<br>10 мин                  | шли части-<br>цы грунта<br>диаметром<br>$d \leq 0,14$ мм<br><br><br><br><br>Через ткань<br>прошли час-<br>тицы песка<br>диаметром<br>$d \leq 0,14$ мм |

фильтрации, проверялось визуально через смотровые окна и посредством осмотра и исследования фильтра на водопроницаемость после опытов. Исследования проводились отдельно для установившейся и пульсирующей фильтрации и при совместном воздействии их на фильтр и защищаемый грунт.

Методика обработки опытного материала была аналогична методике предыдущих серий опытов. Результаты опытов и анализы грунтов основания до начала опытов и прошедших через ткани помещены в табл. 44. Видно, что в опытах при установившейся фильтрации, характеризующейся градиентами  $I = 3-4,4$  и перепадами давления (фильтр из одних стеклотканей) до 2,0 м вод. ст., выноса частиц грунта из тонко- и мелкозернистого песков через фильтры из войлоков и стекломатов, отложения их внутри этих фильтров, нарушения контактной устойчивости и наличия суффозионных явлений не наблюдалось, через стеклоткани проходило незначительное количество частиц грунта диаметром  $d \leq 0,05-0,77$  мм, т. е. в два-три раза меньшем диаметра частиц, получаемых при просеивании через сита из этих тканей, а контакт фильтр — грунт практически не был нарушен.

При пульсирующей поперечной фильтрации и защите грунтов фильтрами из войлоков и стекломатов наблюдалась картина, аналогичная для случая установившейся восходящей фильтрации, а при



защите грунта фильтрами из одних стеклотканей происходил интенсивный вынос частиц грунта диаметром  $d \leq 0,14$  мм, т. е. таких, какие получаются при просеивании через сита из этих тканей.

Следовательно, при поперечной пульсирующей фильтрации были наихудшие условия работы фильтров, и при их проектировании, особенно для защиты несвязных мелкозернистых грунтов, следует применять объемные фильтры в виде войлоков, матов или плит из базальтового и стеклянного волокон с оболочками из наиболее проницаемых стеклосеток и стеклотканей; только стеклоткани или стеклосетки применять в этих условиях нельзя.

На основании анализа полученных результатов во всех трех сериях опытов можно отметить следующее. Минеральные войлоки, маты или плиты, состоящие из элементарных волокон диаметром от 10 до 40 мк (базальтовое и стеклянное волокна), в сочетании со стеклотканями или стеклосетками-оболочками хорошо выполняют роль обратных фильтров и предохраняют основания из связных и несвязных грунтов от фильтрационных разрушений не только при продольной (напорной и напорно-безнапорной) фильтрации, характеризующейся градиентами до 10, но и при пульсирующей с размахом пульсаций давления от 0,2 до 6,4 м вод. ст., частотами колебаний от 0,5 до 10 Гц и градиентами давления до 1,5.

Фильтры из стеклотканей могут обеспечить фильтрационную устойчивость связных и несвязных грунтов для условий установившейся восходящей, нисходящей и продольной фильтрации и не обеспечивают ее при пульсирующей фильтрации. Поэтому при проектировании волокнистых фильтров под креплениями в нижнем бьефе и напорных откосах плотин для защиты грунтов следует применять фильтры в виде матов, войлоков и плит из стеклянного и базальтового волокон с оболочками из наиболее водопроницаемых стеклотканей или стеклосеток [82, 88, 95, 104, 107].

## **§ 2. Исследования и расчет затухания пульсаций давления в фильтрах из базальтового и стеклянного волокон**

Фильтры, уложенные под крепления в нижнем бьефе за водосбросными гидротехническими сооружениями, под напорными откосами земляных плотин и защитных дамб, чаще всего подвержены переменным по величине и времени давлениям как поверхностного, так и фильтрационного потока. Пульсация давления, наблюдаемая в этих условиях, обычно имеет амплитуды колебания давлений до 6 м вод. ст. и характеризуется частотами от 0,5 до 10 Гц. Естественно, такие тяжелые условия работы фильтров требовали детального изучения закономерностей распределения и затухания пульсаций давления в толще самих фильтров. В настоящее время данные вопросы только частично исследованы для песчано-гравийных фильтров [10, 11, 16]. Что касается волокнистых фильтров, то их применение в дренажах гидротехнических сооружений требует очень тщатель-



ного и всестороннего изучения при работе в условиях пульсирующего фильтрационного потока. Поэтому мы выполнили опыты по изучению процессов затухания пульсаций давления в волокнистых фильтрах из базальтового и стеклянного волокон. Впервые такие опыты с волокнистыми фильтрами, как разведывательные, были выполнены нами в 1964 г. на стенде рис. 93 и опубликованы в статье [93]. В результате обработки и анализа указанных опытов выяснено, что применяемые в датчиках мембраны обладали рядом недостатков, основными из которых являлись большие прогибы мембраны, что увеличивало инерционность датчика и могло заметно исказить значения давления в измеряемой точке при колебаниях большой частоты. Поэтому, чтобы учесть влияние указанных недостатков на затухание импульсов давления в фильтрах при обработке разведывательных опытов, при расчетах приходилось вносить поправки. Эти погрешности можно было исключить путем применения в датчиках новых, более совершенных мембран меньшего диаметра, обладающих высокой чувствительностью при минимальном прогибе. Кроме того, необходимо было внести ряд изменений в приспособления, устройства, механизмы и аппаратуру, предназначенную для создания и измерения пульсаций давления в волокнистых фильтрах. Учитывая важность этого вопроса и недостаточную его изученность, необходимо было дополнить данные исследования целым рядом новых серий опытов, которые позволили бы более тщательно изучить процесс затухания пульсации давления в рассматриваемых фильтрах с учетом их плотности, диаметра элементарных волокон фильтров, а также амплитуды и частоты колебаний давления.

Таблица 45. Основные физико-механические и фильтрационные характеристики фильтров из базальтового штапельного волокна

| Средний диаметр элементарного волокна фильтра, мк | Давление на фильтр, МПа | Масса фильтра            |                             | Коэффициент фильтрации, м/сут |
|---------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
|                                                   |                         | загружаемого в лоток, кг | объемная, кг/м <sup>3</sup> |                               |
| 10                                                | 0,002                   | 6,5                      | 80                          | 605                           |
| 10                                                | 0,005                   | 8,2                      | 100                         | 328                           |
| 10                                                | 0,010                   | 9,3                      | 120                         | 216                           |
| 10                                                | 0,020                   | 12,3                     | 150                         | 147                           |
| 15                                                | 0,002                   | 8,5                      | 105                         | 864                           |
| 15                                                | 0,005                   | 9,7                      | 120                         | 560                           |
| 15                                                | 0,010                   | 11,5                     | 140                         | 344                           |
| 15                                                | 0,020                   | 13,4                     | 164                         | 233                           |
| 15                                                | 0,050                   | 18,0                     | 220                         | 86                            |
| 19,2                                              | 0,002                   | 8,5                      | 105                         | 1290                          |
| 19,2                                              | 0,005                   | 9,7                      | 120                         | 705                           |
| 19,2                                              | 0,010                   | 11,5                     | 140                         | 431                           |
| 19,2                                              | 0,020                   | 13,7                     | 167                         | 292                           |
| 19,2                                              | 0,050                   | 18,7                     | 230                         | 172                           |

Примечание. Объем загружаемой части лотка  $W = 0,082 \text{ м}^3$  во всех опытах был постоянным.



Методика выполнения опытов заключалась в следующем. Исследования затухания пульсационных импульсов давления выполнялись для войлоков из базальтового волокна, состоящих из элементарных волокон диаметром 10, 15 и 19,2 мк, воспринимающих давления в процессе опытов от 0,002 до 0,05 МПа, объемная масса войлоков при этом изменялась от 80 до 230 кг/м<sup>3</sup>, а коэффициент фильтрации — от 1300 до 80 м/сут. Данные, характеризующие изменение объемной массы и коэффициента фильтрации войлоков с давлением, помещены в табл. 45.

Опыты состояли из трех серий. Первая серия выполнялась при наличии в лотке продольного установившегося фильтрационного

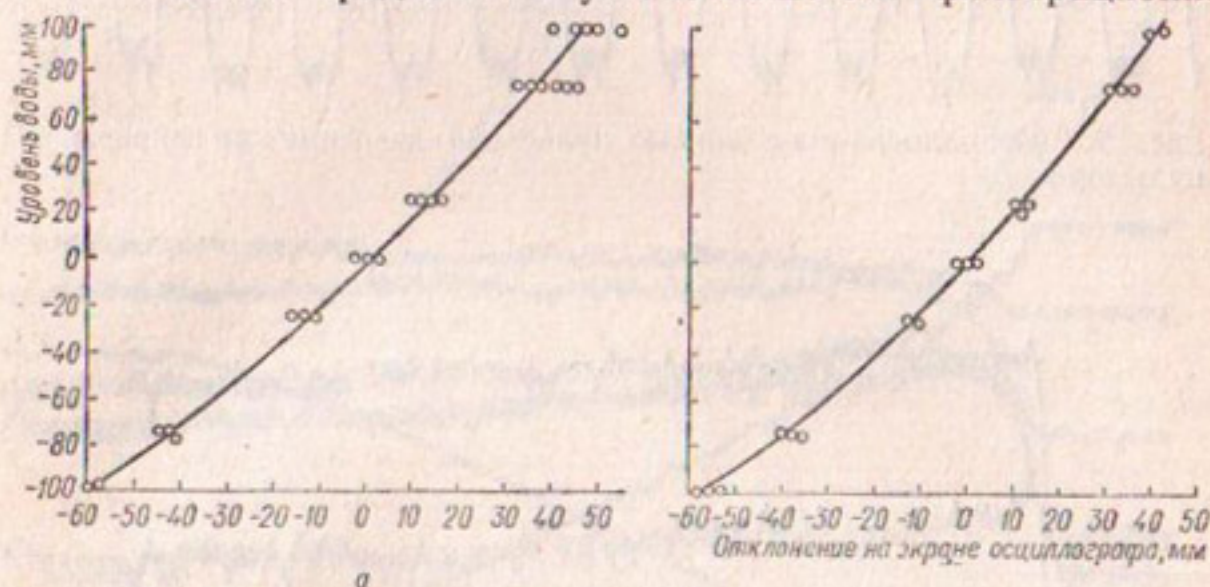


Рис. 94. Тарировочные графики волнографов:  
а — волнограф № 1; б — волнограф № 2.

потока и пульсирующей фильтрации, вторая при отсутствии продольного фильтрационного потока, а водонасыщенный войлок подвергался импульсам избыточного давления и вакуума. Третья серия опытов выполнялась при закрытом безнапорном стояке и отдельных импульсах давления.

Порядок проведения опытов был следующим. После загрузки и водонасыщения войлока лоток герметически закрывался крышкой и производилась тарировка датчиков. Эта процедура выполнялась до и после каждого опыта. Затем в войлоке создавалась продольная установившаяся фильтрация. После установления фильтрационного расхода замерялся перепад давления по шкале пьезометров, определялся расход и температура воды. Далее включалась измерительная регистрирующая аппаратура и записывались показания датчиков при установившейся фильтрации. После этого в работу включались устройства и механизмы, создающие пульсацию давления в фильтре, и записывались изменения давления по длине рабочей части лотка. Записи непрерывной пульсации и отдельных импульсов производились при частотах от 1 до 10 Гц.

После записей пульсаций давления при непрерывной пульсации и одинаковой объемной массе фильтра проводились опыты с записью затухания отдельных импульсов избыточного давления и вакуума.



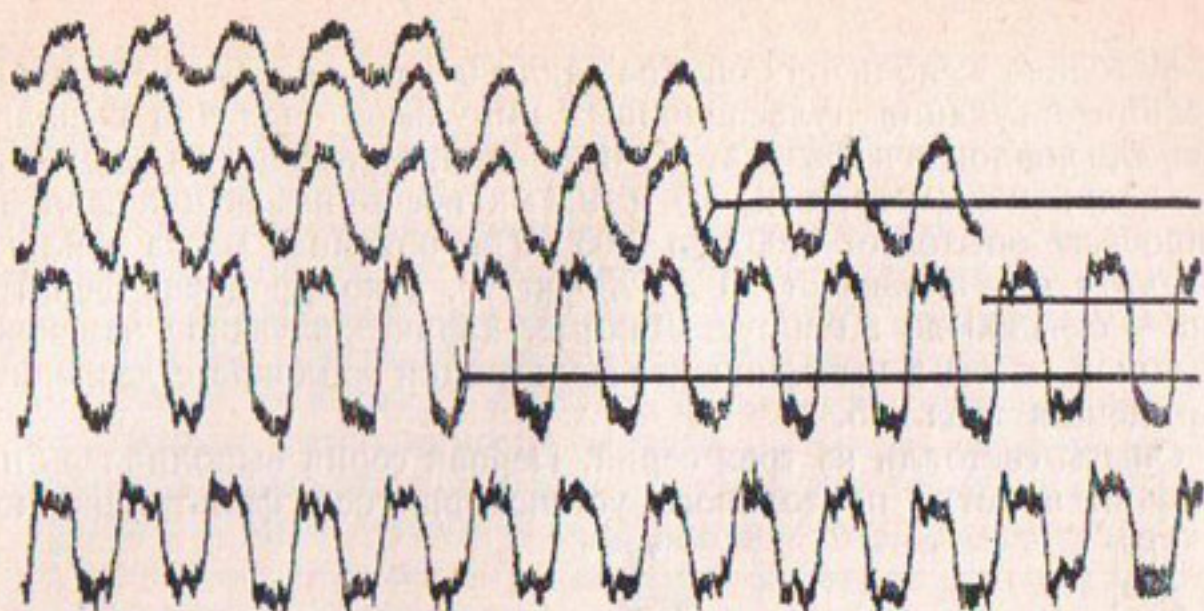
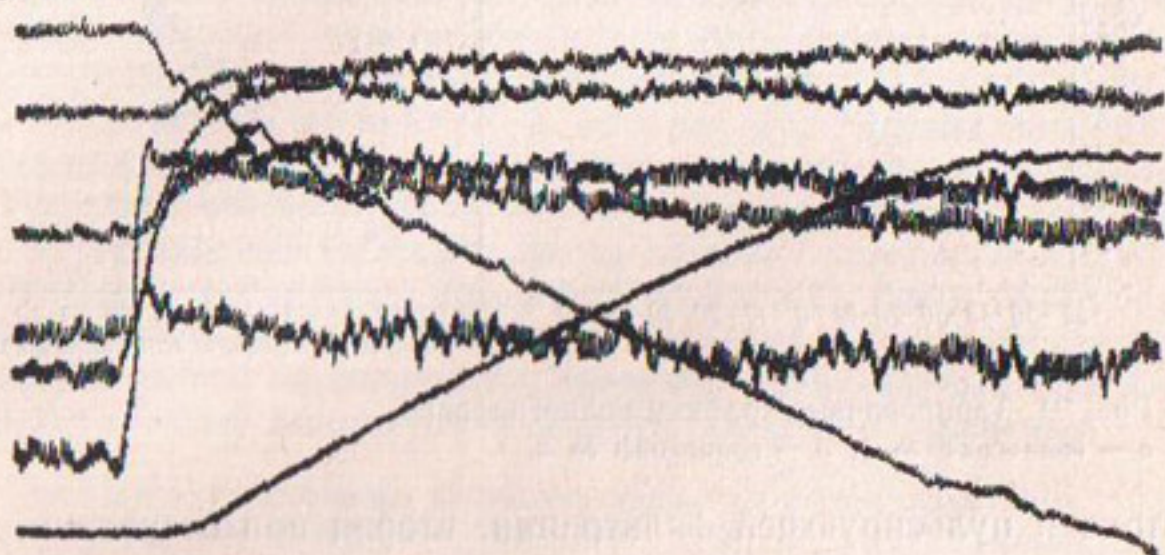
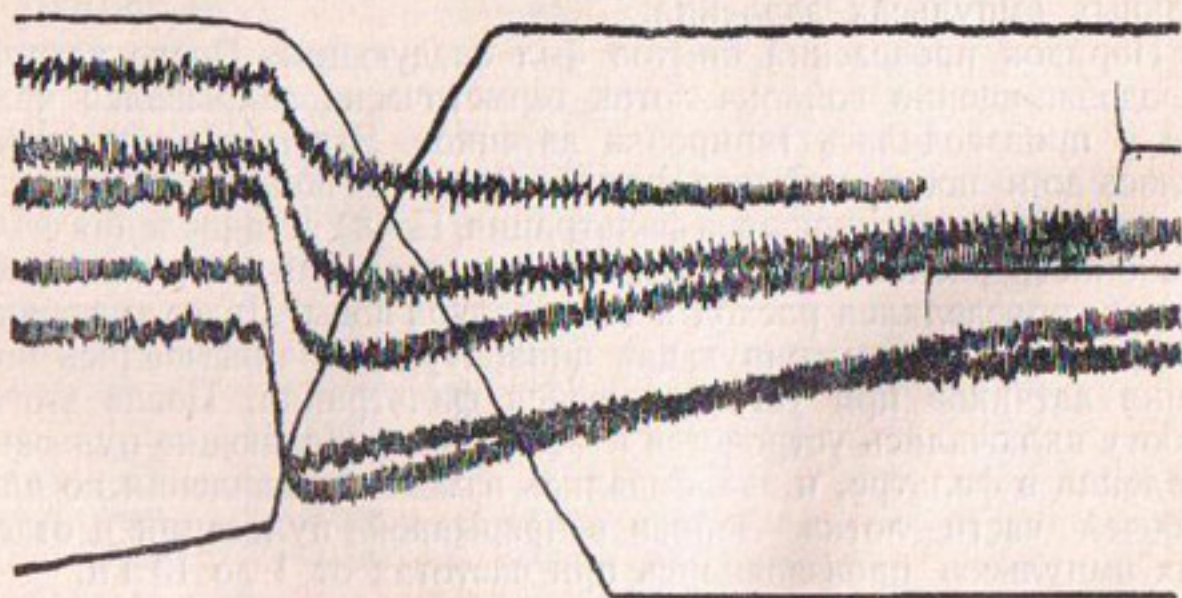


Рис. 95. Осциллограмма с записью пульсаций давления при непрерывной пульсации.



*a*



*б*

Рис. 96. Пульсации давления и уровней воды в стояках при отдельных импульсах:

*a* — избыточное давление; *б* — вакуум.



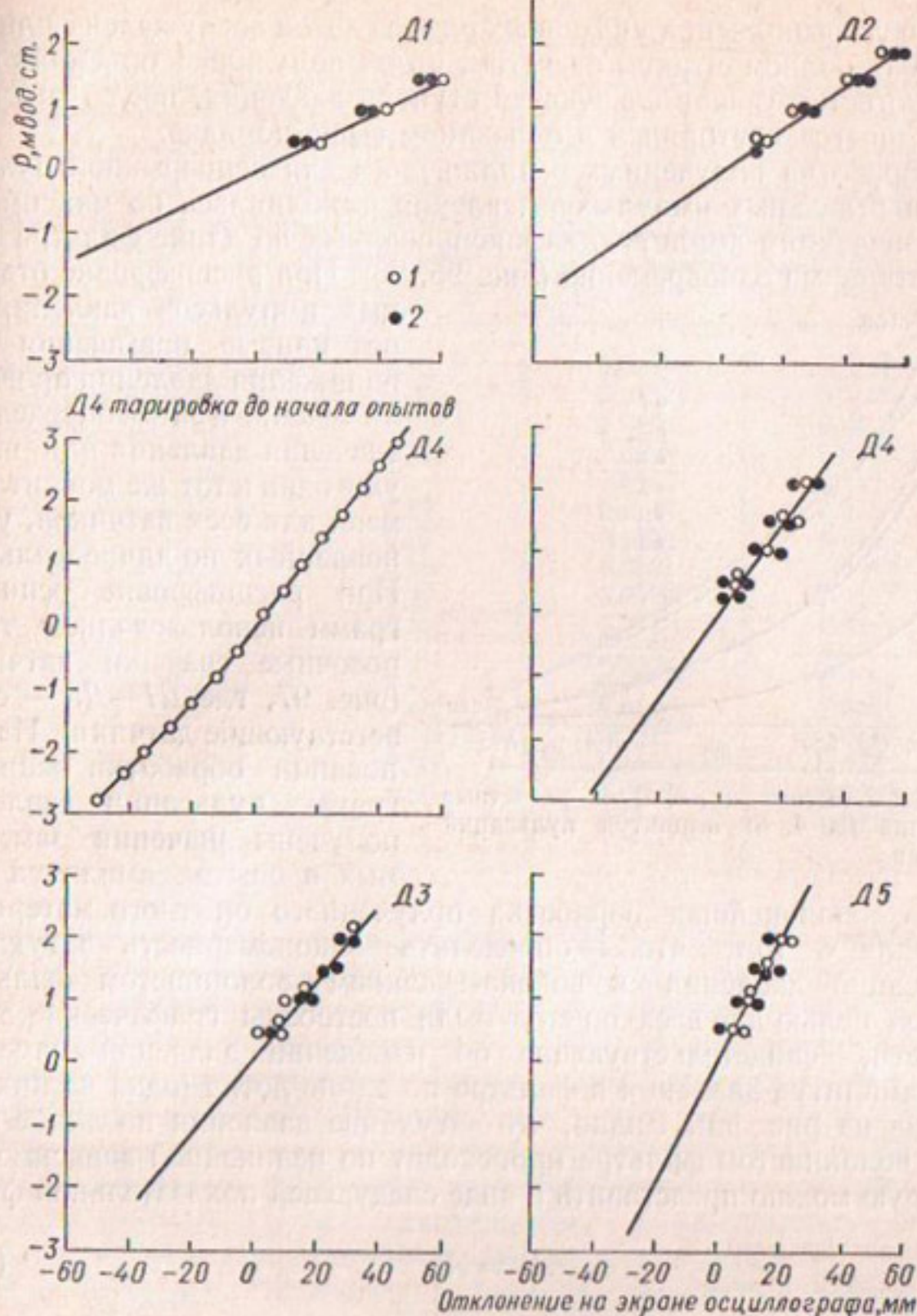


Рис. 97. Тарировочные графики датчиков давления:

1 — до опыта; 2 — после опыта.

Во входном и выходном стояках с помощью волнографов фиксировались уровни воды. Это позволяло, используя тарировочные графики (рис. 94), определять расход воды и скорости прохождения импульса в водонасыщенном войлоке по длине рабочей части лотка. Далее выходной (безнапорный) стояк закрывался наглухо крышкой и проводились опыты с отдельными импульсами, которые приближенно позволяли учесть влияние воздуха в войлоках на процесс затухания пульсаций давления.



После выполнения указанных опытов лоток догружался фильтровым материалом с таким расчетом, чтобы получилась объемная масса, соответствующая следующей ступени давления, после чего весь цикл опытов повторялся в описанном выше порядке.

Обработка полученных осциллограмм для непрерывной пульсации и отдельных импульсов давления выполнялась по максимальным значениям амплитуд, зафиксированных по длине фильтра всеми датчиками одновременно (рис. 95, 96). При расшифровке отдель-

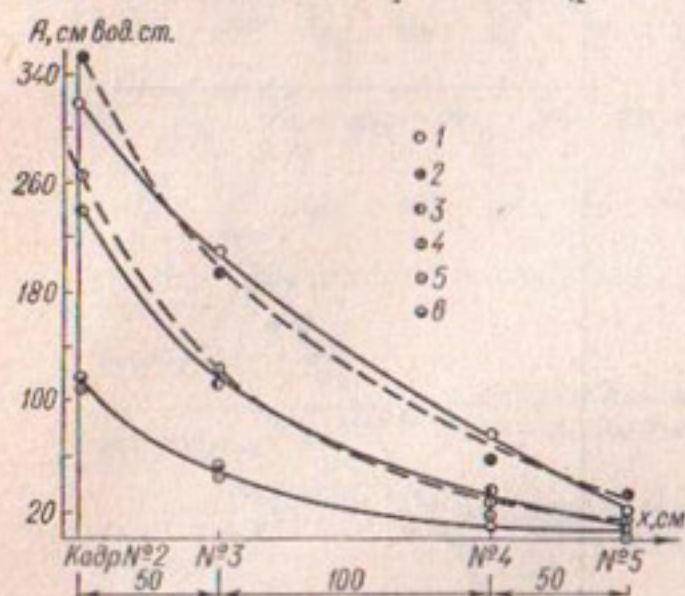


Рис. 98. Опытные (1, 3, 5) и расчетные значения (2, 4, 6) амплитуд пульсаций давления.

ных импульсов давления через кривые повышения или понижения давления проводили сечение и затем определяли значения давления или вакуум в один и тот же момент времени для всех датчиков, установленных по длине фильтра. При расшифровке осциллограмм использовались тарировочные графики датчиков (рис. 97, где Д1—Д5 — соответствующие датчики). На основании обработки осциллограмм пульсации давления получены значения замеряемых в опытах амплитуд дав-

ления. Дальнейшая обработка полученного опытного материала состояла в том, чтобы определить закономерность затухания пульсаций давления в водонасыщенном волокнистом фильтре. С этой целью для всех опытов были построены графические зависимости, свидетельствующие об изменении значений замеренных амплитуд давления в фильтре по длине лотка (одна из них показана на рис. 98). Видно, что затухание давления по длине лотка в волокнистом фильтре происходит по нелинейной зависимости, которую можно представить в виде следующей показательной функции

$$A_x = A_0 e^{-\Sigma x}, \quad (V.1)$$

где  $\Sigma$  — коэффициент затухания импульсов давления по длине фильтра;  $x$  — расстояние от начального сечения до сечения, в котором амплитуда давления  $A_x$ ;  $A_0$  — амплитуда давления в начальном сечении.

В уравнении (V.1) для дальнейшей обработки опытного материала предполагается, что энергия импульса давления в пористом волокнистом фильтре расходуется на преодоление:

а) силы трения (или гидродинамического сопротивления, возникающего при обтекании волокон фильтра), величина которой зависит от фильтрационных свойств материала и скорости течения воды в порах, обусловленных величиной градиентов давления;



Таблица 46.

Результаты опытов по определению коэффициента  $\Sigma$  для фильтров из базальтового волокна

| Исследуемый фильтровый материал                               | Давление на фильтровый материал, МПа | Коэффициент затухания $\Sigma$ для исследованных амплитуд и частот |                         |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------|
|                                                               |                                      | при непрерывной пульсации                                          | при отдельных импульсах |
| Войлок из базальтового штапельного волокна, $d_{э.в} = 10$ мк | 0,02                                 | 0,0143                                                             | 0,0144                  |
|                                                               | 0,05                                 | 0,0177                                                             | 0,0127                  |
|                                                               | 0,10                                 | 0,0166                                                             | 0,0125                  |
|                                                               | 0,25                                 | 0,0202                                                             | 0,0161                  |
|                                                               |                                      | 0,0172                                                             | 0,0139                  |
| То же, $d_{э.в} = 15$ мк                                      | 0,02                                 | 0,0143                                                             | 0,0139                  |
|                                                               | 0,05                                 | 0,0137                                                             | 0,0120                  |
|                                                               | 0,10                                 | 0,0121                                                             | 0,0098                  |
|                                                               | 0,20                                 | 0,0169                                                             | 0,0122                  |
|                                                               | 0,50                                 | 0,0198                                                             | 0,0144                  |
| » » $d_{э.в} = 19,2$ мк                                       |                                      | 0,0152                                                             | 0,0128                  |
|                                                               | 0,02                                 | 0,0087                                                             | 0,0121                  |
|                                                               | 0,05                                 | 0,0104                                                             | 0,0101                  |
|                                                               | 0,10                                 | 0,0117                                                             | 0,0145                  |
|                                                               | 0,20                                 | 0,0133                                                             | 0,0125                  |
|                                                               | 0,50                                 | 0,0166                                                             | 0,0150                  |
|                                                               |                                      | 0,0141                                                             | 0,0128                  |

б) силы инерции, возникающей в массе воды при знакопеременном быстром изменении градиента давления и соответственно с этим направления и скорости течения фильтрационного потока;

в) силы упругого сопротивления среды, обусловленной упругими деформациями пористого фильтра, воды, жестких стенок лотка и пузырьков воздуха в фильтре.

Как показал анализ результатов, решающую роль в гашении энергии импульсов давления, характеризующихся низкими частотами — 0,5—10 Гц и значительными амплитудами — от 1 до 6 м вод. ст., играют факторы, указанные в п. а и б.

При обработке опытного материала, используя зависимость (V.1) и применяя метод наименьших квадратов, для всех 155 опытов вычислили значения коэффициента затухания и амплитуд давления в начальном сечении и местах установки датчиков. Затем определили отклонения замеренных в опытах ( $A_{x0}$ ) и вычисленных амплитуд давления ( $A_x$ ) для каждого датчика, в результате чего построили графические зависимости  $\frac{A_x - A_{x0}}{A_x} = f(x)$  при всех режимах пульсаций давлений. Было установлено, что отклонения замеренных амплитуд давления от вычисленных в основном не превышали 10%. Это подтверждает принятое положение о показателем законе затухания пульсаций давления в исследуемых волокнистых фильтровых материалах. Данное положение хорошо



подтверждается и графиками, показанными на рис. 98, на котором приведены экспериментальные и вычисленные значения амплитуд давления.

Среднеарифметические значения коэффициентов  $\Sigma$  для всех амплитуд и частот давления при непрерывной пульсирующей фильтрации и отдельных импульсах для исследованных войлоков, уплотняемых давлением от 0,002 до 0,05 МПа и характеризующихся изменением диаметра волокон от 10 до 19 мкм, объемной массой от 80 до 220 кг/м<sup>3</sup> и коэффициентом фильтрации от 86 до 1240 м/сут, помещены в табл. 46. Видно, что при увеличении давления на фильтр

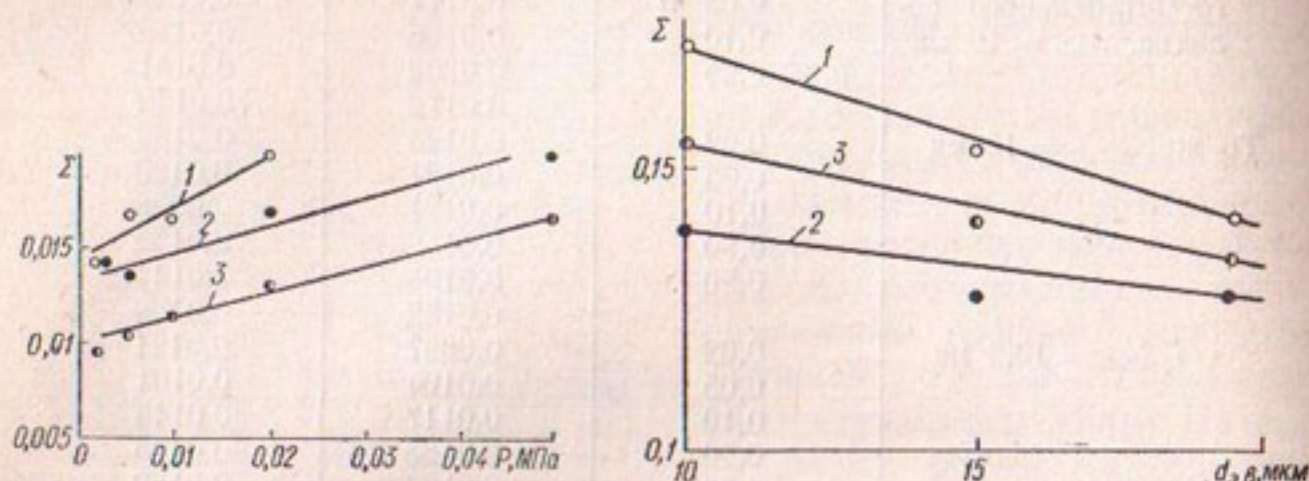


Рис. 99. Зависимость  $\Sigma = f(P)$  для непрерывной пульсации:

1 —  $d_{э.в} = 10$  мкм; 2 — 15 мкм; 3 — 19,2 мкм.

Рис. 100. Зависимость  $\Sigma = f(d_{э.в})$ :

1 — при непрерывной пульсации; 2 — для отдельных импульсов; 3 — среднеарифметические значения.

по мере его уплотняемости (увеличения объемной массы) наблюдается тенденция к увеличению коэффициента  $\Sigma$ . Кроме того, с уменьшением диаметра элементарных волокон фильтров  $\Sigma$  также увеличивается, следовательно, гашение энергии импульсов давления в этих случаях происходит интенсивнее.

Значения коэффициента  $\Sigma$  для одних и тех же фильтров, полученные при отдельных импульсах, оказались в среднем на 15% меньшими, чем в опытах при непрерывной пульсации. Такое снижение коэффициента  $\Sigma$  можно объяснить меньшим количеством воздуха в войлоках в опытах с отдельными импульсами. По данным табл. 46 построены зависимости  $\Sigma = f(P)$  (рис. 99) и  $\Sigma = f(d_{э.в})$  (рис. 100). Из табл. 46 и рис. 99 и 100 видно, что коэффициент затухания пульсаций давления в исследованных фильтрах из войлоков, характеризующихся указанными выше параметрами, изменяется от 0,009 до 0,017, т. е. почти в два раза<sup>1</sup>.

Таким образом, в исследованных волокнистых фильтрах затухание пульсаций давления происходит соответственно зависимости (V.1), а в гравийных фильтрах — соответственно закону, приведен-

<sup>1</sup> При расчете следует иметь в виду, что если амплитуды  $A_0$  и  $A_x$  измеряются в сантиметрах водяного столба, то  $\Sigma = 0,009 \div 0,017$ , а если в метрах водяного столба, то  $\Sigma = 0,9 \div 1,7$ .



ному в работе [19]. Следовательно, гашение пульсации давления в фильтрах из волокнистых материалов происходит более интенсивно, чем в песчано-гравийных.

### § 3. Исследование волокнистых фильтровых подготовок в условиях волнового воздействия

Изучение работы креплений из каменной наброски, монолитных и железобетонных плит, уложенных на волокнистые фильтры, в верховых откосах плотин выполнены в лабораторных и натурных условиях.

В лабораторных условиях исследовались устойчивость креплений из сборных железобетонных плит при неомонолитенных швах

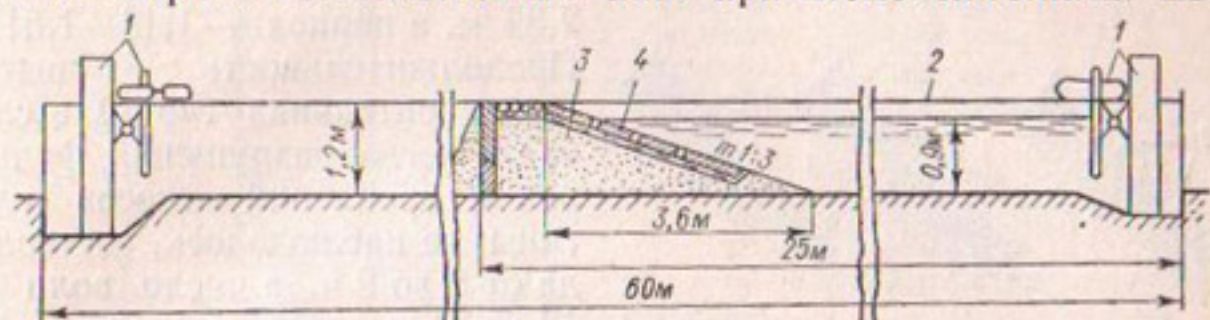


Рис. 101. Схема опытной установки:

1 — волнопродуктор — качающийся щит; 2 — волновой лоток; 3 — плотина из песка; 4 — крепление на волокнистом фильтре.

между плитами и креплений из каменной наброски, уложенных на волокнистые фильтры различной конструкции, а также устойчивость фильтров и защищаемого ими грунта откосов при воздействии волн.

Постановка данных исследований вызвана тем, что в натурных условиях наблюдаются частые случаи нарушения монолитности швов между плитами, а при укладке на откосы плит из сборного железобетона в низко- и средненапорных плотинах швы выполняются шириной до 1 см и неомонолитными. Необходимость исследования устойчивости креплений из каменной наброски и находящихся под ними минерально-волокнистых фильтров вызвана отсутствием каких-либо сведений по данному вопросу как у нас в стране, так и за рубежом.

Ниже излагаются результаты выполненных в 1972—1974 гг. в лабораторных условиях исследований о работе минерально-волокнистых фильтров и уложенных на них креплений из сборных железобетонных плит (при открытых швах) и креплений из каменной наброски. Соответствующие натурные исследования по рассматриваемому вопросу проводились на опытной плотине, а также на целом ряде плотин, построенных в 1969—1973 гг., с креплениями напорных откосов монолитными армированными плитами и плитами из сборного железобетона (результаты исследований приведены в VI главе).



Опыты по исследованию устойчивости при размыве волнами напорного откоса из мелкозернистого песка, защищенного минерально-волоконными фильтрами в сочетании с креплениями из сборных железобетонных плит при раскрытых швах между плитами и креплениями из однослойной каменной наброски, выполнялись в 1972 и 1974 гг. в большом волновом лотке ( $60 \times 1,2 \times 0,9$  м). Волны в лотке создавались волнопродуктором типа качающегося щита.

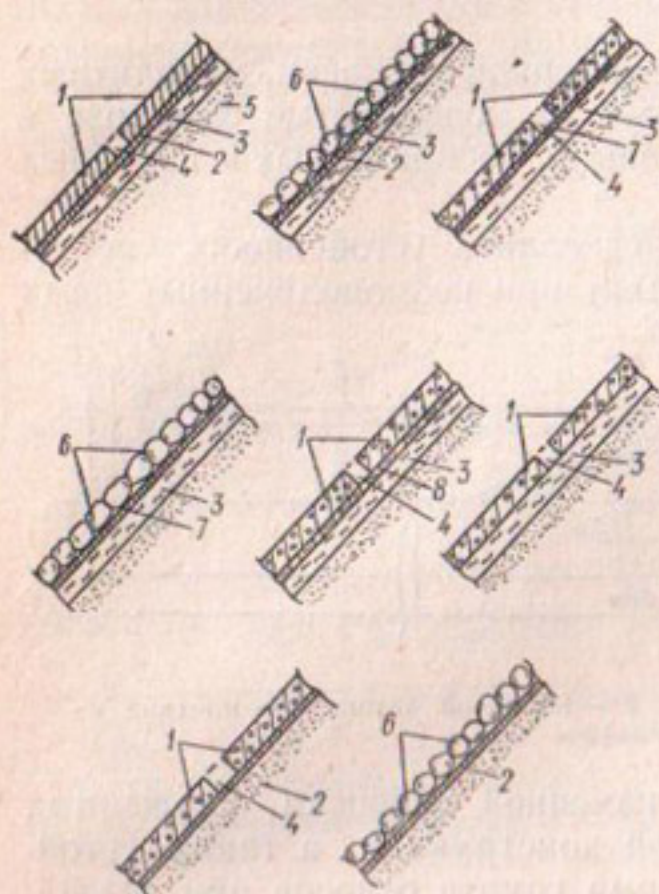


Рис. 102. Схемы конструкций волоконистых фильтров и креплений откоса плотины:

1 — бетонные плиты ( $50 \times 42 \times 5$  см); 2 — стеклосетка марки ССТЭ-6 в один слой; 3 — маты полужесткие стекловатные; 4 — открытый шов (ширина 2—5 см); 5 — мелкозернистый песок плотины; 6 — наброска из камня,  $d_k = 5 \div 10$  см; 7 — стеклосетка в один слой; 8 — стеклохолст в один слой.

в тех опытах, где крепления из железобетонных плит (с открытыми швами) и однослойной каменной наброски ( $d = 5 \div 10$  см) уложены на фильтр из матов, прикрытых стеклосетками (ССТЭ-6 или СС-1), крепления и фильтр работают надежно. При этом в креплениях, фильтре и песчаном грунте откоса плотины никаких нарушений не наблюдалось. В случае укладки крепления из сборных железобетонных плит (с неомоноличенными швами) на фильтр из матов, не прикрытых и прикрытых нетканым стеклохолстом, крепление, фильтр и откос плотины при действии волн в течение 10—45 мин практически разрушалось.

Таким образом, под креплениями напорных откосов земляных плотин, защитных дамб, каналов, выполненных из армированных

Схема опытной установки показана на рис. 101, а конструкции исследованных фильтров и креплений напорного откоса плотины — на рис. 102. Высота волн в опытах изменялась в пределах 25—30 см, длина волны — 2,2—2,35 м, а период — 1,49—1,51 с. Продолжительность опытов (предварительная серия) в случаях, когда разрушения фильтров и креплений откосов плотины не наблюдалось, составляла от 5 до 9 ч, а число волн от 12 до 21 тысячи; продолжительность опытов в конструкциях фильтров, которые нарушались при действии волн, составляла лишь 10—45 мин, а число волн было от 400 до 1800. Исследования основной серии выполнялись для двух конструкций фильтров, которые оказались наиболее устойчивыми в опытах предварительной серии. В этих опытах число волн достигало 160000—320000.

Результаты исследований помещены в табл. 47. Видно, что в



Таблица 47. Результаты исследования креплений, уложенных на волокнистые фильтры

| Серия опытов    | Продолжительность опыта | Характеристика волн |           | Число волн за время опытов | Тип крепления                                                                              | Конструкция волокнистого фильтра                                                                                              | Результаты опыта                                            |
|-----------------|-------------------------|---------------------|-----------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
|                 |                         | высота, см          | период, с |                            |                                                                                            |                                                                                                                               |                                                             |
| Предварительная | 7 ч                     | 29                  | 1,51      | 16 688                     | Бетонные плиты (50 × 42 × 5 и 70 × 30 × 8 см), ширина открытых швов $\tau_0 = 2 \div 5$ см | Маты полужесткие стекловатные (ГОСТ 10 499-67) в один слой, защищены стеклосеткой ССТЭ-6 (ГОСТ 84-81-61) в один слой<br>То же | Крепление и фильтр не нарушены, вынос песка не наблюдается  |
|                 | 7 ч                     | 29                  | 1,51      | 16 688                     | Каменная наброска в один слой, $d = 5 \div 10$ см                                          | То же                                                                                                                         | То же                                                       |
|                 | 6 ч 45 мин              | 29                  | 1,51      | 21 200                     | Бетонные плиты (50 × 42 × 5 и 70 × 30 × 8 см), $\tau_0 = 2 \div 5$ см                      | Маты полужесткие стекловатные (ГОСТ 10 499-67) в один слой, защищены слоем стеклосетки СС-1 (СТУ 27-120-64)<br>То же          | Крепление и фильтр не нарушены, вынос песка не наблюдается  |
|                 | 7 ч                     | 25—30               | 1,51      | 16 688                     | Каменная наброска в один слой, $d = 5 \div 10$ см                                          | То же                                                                                                                         | То же                                                       |
|                 | 8 ч                     | 25—29               | 1,51      | 19 074                     | Бетонные плиты (50 × 42 × 5 и 70 × 30 × 8 см), $\tau_0 = 2 \div 5$ см                      | Маты полужесткие стекловатные (ГОСТ 10 499-67) в один                                                                         | Крепление, фильтр и откос нарушены, стеклохолст и маты раз- |



| Серия опытов | Продолжительность опыта | Характеристика волн |           | Число волн за время опытов | Тип крепления                                                                                                         | Конструкция волокнистого фильтра                                                                                     | Результаты опыта                                           |
|--------------|-------------------------|---------------------|-----------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|              |                         | высота, см          | период, с |                            |                                                                                                                       |                                                                                                                      |                                                            |
| Основная     | 45 мин                  | 25—29               | 1,51      | 1495                       | То же                                                                                                                 | слой, защищен стеклотканью ВВГ-МР-ТУ 6-11-3-64<br>Маты полужесткие стекловатные (ГОСТ 10 499-64) в один слой         | мыты, образовалась воронка на откосе                       |
|              | 10 мин                  | 26—29               | 1,51      | 400                        | Бетонные плиты $(70 \times 90 \times 8 \text{ и } 50 \times 42 \times 5 \text{ см})$ , $\tau_0 = 2 \div 5 \text{ см}$ | Фильтр из стеклотканей ССТЭ-6 (ГОСТ 84-81-61)                                                                        | То же                                                      |
|              | 5 ч                     | 25—29               | 1,51      | 11 987                     | Каменная наброска в один слой, $d = 5 \div 10 \text{ см}$                                                             | Фильтр из стеклотканей ССТЭ-6 (ГОСТ 84-81-61)                                                                        | » »                                                        |
|              | 134 ч                   | 25—30               | 1,51      | 320 000                    | Бетонные плиты $50 \times 42 \times 5 \text{ и } 70 \times 30 \times 8 \text{ см}$ , $\tau_0 = 2 \div 5 \text{ см}$   | Маты полужесткие стекловатные (ГОСТ 10 499-67) в один слой, защищены стеклотканью ССТЭ-6 (ГОСТ 84-81-61) в один слой | Крепление и фильтр не нарушены, вынос песка не наблюдается |
|              | 67 ч                    | 25—29               | 1,51      | 16 000                     | То же                                                                                                                 | Маты полужесткие стекловатные (ГОСТ 10 499-67) в один слой                                                           | То же                                                      |



| Серия<br>опытов | Продолжи-<br>тельность<br>опыта | Характеристика<br>волн |                | Число<br>волн<br>за вре-<br>мя опы-<br>тов | Тип крепле-<br>ния | Конструкция<br>волоконного<br>фильтра                                       | Результаты<br>опыта |
|-----------------|---------------------------------|------------------------|----------------|--------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------|
|                 |                                 | высо-<br>та, см        | пери-<br>од, с |                                            |                    |                                                                             |                     |
|                 |                                 |                        |                |                                            |                    | защищены<br>стекло-<br>сеткой<br>СС-1<br>(ГОСТ 84-<br>81-61) в<br>один слой |                     |

бетонных плит с омоноличиванием швов, а для плотин IV класса и при открытых швах между плитами, а также под креплениями из каменной наброски фильтры из войлока или мата из стеклянного и базальтового волокон сверху должны прикрываться оболочкой из стеклосеток или стеклотканей.

### Выводы

1. Фильтры из базальтового и стеклянного волокон в виде матов, войлоков или плит в сочетании с оболочками из стеклосеток или стеклотканей являются достаточно прочными, надежно защищают основания из связных и несвязных грунтов от контактного и суффозионного размывов при установившейся и пульсирующей фильтрации, вызванной проникновением пульсаций давления в фильтр от поверхностного потока и действия волн, могут быть рекомендованы для применения под креплениями в нижнем бьефе, на напорных откосах плотин, дамб, каналов и в других гидротехнических сооружениях.

2. Установлено, что затухание пульсаций давления в объемных нетканых фильтрах из базальтового и стеклянного волокон происходит по показательному закону и более интенсивно, чем в песчано-гравийных фильтрах. В предложенных зависимостях для определения значений коэффициента затухания амплитуд пульсаций давления учитываются влияние диаметра элементарных волокон фильтров, степень их уплотнения, а следовательно, и изменение объемной массы и коэффициента фильтрации.

3. Результаты данных исследований и предложенные рекомендации по расчету и конструкциям волоконистых фильтров под креплениями использованы при составлении нормативных документов республиканского и союзного значения [95, 109] и внедрены более чем на 100 земляных плотинах и защитных дамбах.



## КОНСТРУКЦИИ, СТРОИТЕЛЬСТВО, ОПЫТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НОВЫХ ФИЛЬТРОВ И ДРЕНАЖА

### § 1. Конструкции и внедрение горизонтального трубчатого дренажа с новыми фильтрами на мелиоративных системах

При выборе конструкции дренажа с фильтрами из искусственных минеральных волокнистых материалов исходили из условий укладки дренажа, конструкции дренажных труб, гранулометрического состава, водонасыщенности и водопроницаемости грунта, гидрохимического состава грунтовых вод и обеспечения максимальной механизации работ при строительстве дренажных систем.

На основании исследований и опыта строительства мелиоративного дренажа предложены конструкции глубокого трубчатого дренажа (рис. 103) при глубине закладки дрен от 1,5 до 7 м, которые с 1966 г. применяются в зоне орошаемого земледелия Украинской и других республик Советского Союза.

Конструкции дренажей с волокнистыми фильтрами (рис. 103, а, б) применяются при высоком стоянии уровня грунтовых вод с укладкой их раздельным способом (метод «полки»), при низком — полумеханизированным.

Конструкции дренажей, показанные на рис. 103, в, используются для устройства дрен из гладкостенных, гофрированных и гибких витых поливинилхлоридных труб со сплошной оберткой их по спирали стеклохолстом марок ВВГ, ВВК, ВВТ и ВВМ в шесть — восемь слоев при толщине стеклохолста 0,5 мм и в три-четыре слоя при толщине стеклохолста 1,0 мм при низком и высоком стоянии уровня грунтовых вод при комплексно-механизированном (безтраншейными и траншейными дреноукладчиками) и реже раздельном способах укладки.

Схемы конструкций дренажа, данные на рис. 104, применяются при укладке полумеханизированным способом (траншейными дреноукладчиками) в сухих грунтах. Фильтровые обсыпки из местных некалиброванных песчаных материалов для этих дрен подбираются по предложенному графику (см. рис. 57).

Для строительства мелкого трубчатого дренажа рекомендуем использовать конструкции дрен с волокнистыми фильтрами, приведенные на рис. 105. Схемы конструкций дрен (рис. 105, а) при сплошной обертке пластмассовых труб стеклохолстом марок



ВВГ, ВВК, ВВТ и ВВМ по спирали с нахлестом краев не менее 3 см применяются при комплексно-механизированном способе укладки дренажа дренаукладчиками в водонасыщенных и сухих грунтах. Конструкции дрен при сплошной обертке пластмассовых или гончарных труб стеклохолстом с нахлестом снизу (рис. 105, б) и свер-

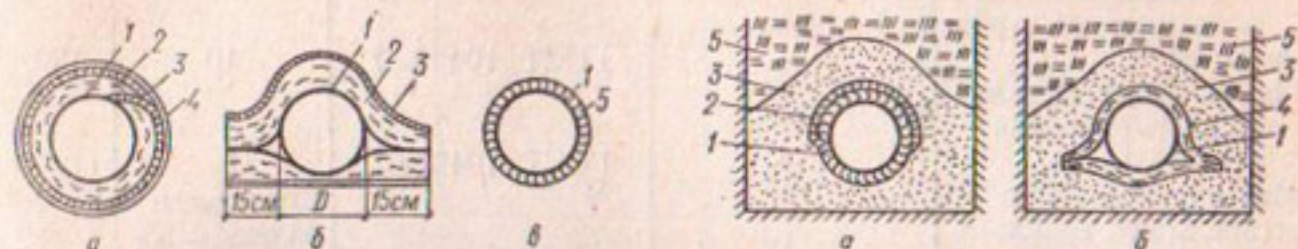


Рис. 103. Конструкции трубчатого горизонтального дренажа с волокнистыми фильтрами:

1 — дренажные трубы; 2 — маты полужесткие стекловатные для строительства и прошивные из базальтового волокна; 3 — фильтровая защитная оболочка из стеклохолста марок ВВГ, ВВК, ВВТ, из стеклосеток ССТЭ-6, СС-1, из технической марли; 4 — жгут из стеклонитей, шпагата или пластмассовые; 5 — фильтр из стеклохолста марок ВВГ, ВВК, ВВТ, ВВМ.

Рис. 104. Конструкции горизонтального трубчатого дренажа с фильтровой оболочкой и обсыпкой:

1 — трубы дренажные; 2 — стеклосетка ССТЭ-6 или СС-1; 3 — обсыпка из местного не отсортированного фильтрового материала; 4 — стеклохолст марок ВВГ, ВВК, ВВМ; 5 — обратная засыпка грунтом.

ху (рис. 105, в) и засыпкой слоем гумусного грунта применяются при полумеханизированном способе укладки дренажа в сухих грунтах. Конструкции дрен (рис. 105, г) при сплошной защите гончарных или пластмассовых труб снизу и сверху полосками стеклохолста можно использовать при механизированном и реже полумеханизированном способе укладки дренажа в сухих грунтах.

Основные характеристики рекомендуемых фильтровых материалов и изделий из стеклянного и базальтового волокон для предложенных выше конструкций трубчатых горизонтальных дренажей приведены в табл. 48. Эти материалы выпускаются серийно рядом заводов министерств химической промышленности и строительных материалов и Министерством мелиорации и водного хозяйства УССР.

Дренажные фильтры на основе изделий, указанных в табл. 48,

применялись для защиты от заиливания и увеличения водозахватной способности дренажных труб гончарных (диаметром  $d_r = 50 \div 150$  мм; ГОСТ 84-11-62), асбестоцементных безнапорных ( $d_r = 100 \div 400$  мм; ГОСТ 1839-72), гибких витых поливинилхлоридных ( $d_r =$

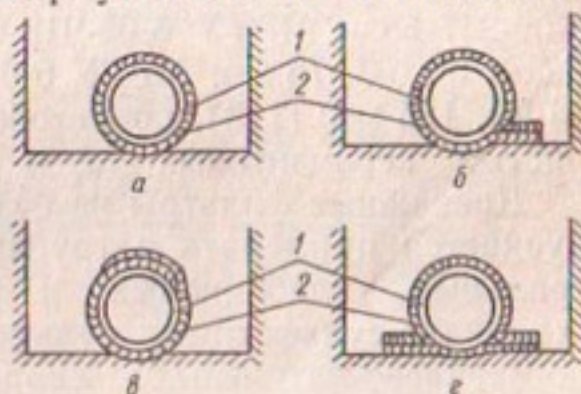


Рис. 105. Конструкции мелкого горизонтального трубчатого дренажа с фильтрами из стеклохолстов:

а — сплошная обертка труб стеклохолстом с нахлестом краев не менее 3 см, б — с нахлестом снизу, в — с нахлестом сверху, г — защита полосками стеклохолста сверху и снизу; 1 — дренажная труба пластмассовая или гончарная, 2 — стеклохолст марок ВВГ, ВВК, ВВМ, ВВТ.



Таблица 48. Рекомендуемые волокнистые материалы и изделия для фильтров

| Материал (изделие)                                | Марка       | ГОСТ, СТУ, ТУ   | Раз                          |                         |
|---------------------------------------------------|-------------|-----------------|------------------------------|-------------------------|
|                                                   |             |                 | длина, м                     | ширина, м               |
| Маты полужесткие стекловатные для строительства   | —           | ГОСТ 10499-67   | 10                           | 100±5                   |
| Плиты полужесткие стекловатные для строительства  | —           | ГОСТ 10499-67   | 1                            | 100±5                   |
| Маты прошитые из штапельного базальтового волокна | —           | ТУ33 УССР 1-72  | Согласовывались с заказчиком | 70±3<br>85±4            |
| Войлок из штапельного базальтового волокна        | —           | ТУ611-215-71    | То же                        | 100±5                   |
| Стекловолокнистый холст                           | ВВГ         | МРТУ 6-11-3-64  | 100—200                      | 40±1                    |
| То же                                             | ВВТ         | МРТУ 6-11-13-64 | 50—100                       | 150±2                   |
| » »                                               | ВВК         | ТУ 21-23-3-68   | 170                          | 96±2                    |
| Стеклосетка                                       | СЭ (ССТЭ-6) | ГОСТ 84-81-61   | 50—100                       | 60, 70, 80              |
| То же                                             | СС-1        | СТУ 27-120-64   | 50—100                       | 90, 100, 60, 70, 80, 90 |

= 100 мм; ТУ33 УССР-73), бетонных безнапорных в неагрессивных водах ( $d_r = 200 \div 400$  мм; ТУ33 УССР 36-73), железобетонных безнапорных в неагрессивных водах ( $d_r = 300 \div 500$  мм; ГОСТ 6482-71), гладкостенных полиэтиленовых ( $d_r = 75, 140, 160$  мм; МРТУ 5-05-917-68 и МРТУ 6-05-918-67), гофрированных полиэтиленовых ( $d_r = 50, 63, 75$  мм; МРТУ 6-05-1078-69), стеклопластиковых ( $d_r = 90, 125$  мм) [113], пористобетонных ( $d_r = 160$  мм) [32, 78] и пористых керамзитовых ( $d_r = 105$  мм) [50].

Дренажные фильтры из базальтового и стеклянного волокон допускается применять в трубчатых дренажах, работающих в нейтральных, слабокислых и слабощелочных грунтовых водах (хлоридно-сульфатных, сульфатно-хлоридных, сульфатно-хлоридно-магниево-натриевых, хлоридно-сульфатно-магниево-натриевых) с величиной рН от 4 до 9 и суммарным содержанием минеральных солей до 50 г/л; в средне-, мелко- и тонкозернистых песках с коэффициентом разнотонности до 7; в супесях, легких, средних, тяжелых суглинках и глинах с коэффициентом пластичности от 6 до 40; при безнапорной, напорной, установившейся и пульсирующей фильтрациях и любом направлении фильтрационного потока к фильтру; при давлении грунта на фильтр не более 0,15 МПа; при отношении коэффициента фильтрации фильтра к коэффициенту дренируемого грунта  $\frac{K_f}{K_{гр}} \geq 5$  для несвязных грунтов и  $\frac{K_f}{K_{гр}} \geq 20$  для связных [95].

Площадь перфорации в зависимости от диаметра дренажной трубы и водопроницаемости волокнистого фильтра и дренируемого



дренажей мелиоративных систем и гидротехнических сооружений

| меры        | Единица измерения | Масса единицы | Диаметр волокна, мкм | Конструкция дренажа                  |
|-------------|-------------------|---------------|----------------------|--------------------------------------|
| толщина, мм |                   |               |                      |                                      |
| 40, 50, 60, | м <sup>3</sup>    | 35 кг         | 11—17                | Рис. 103, б                          |
| 40, 50,     | м <sup>3</sup>    | 50 кг         | 11—17                | Рис. 103, а                          |
| 75          | м <sup>3</sup>    | 50 кг, 70 кг  | 15—25                | Рис. 103, а, б                       |
| 75          | м <sup>3</sup>    |               |                      |                                      |
| 50          | м <sup>3</sup>    | 60—70 кг      | 15                   | Рис. 103, а, б<br>Рис. 103, б; 104 б |
| 0,4±0,1     | м <sup>2</sup>    | 40—50 кг      | ≤15                  | 105, а—в                             |
| 0,5         | м <sup>2</sup>    | 50±15 кг      | ≤81                  | То же                                |
| 0,8±0,3     | м <sup>2</sup>    | 100±37 г      | ≤18                  | » »                                  |
| 0,6±0,2     | м <sup>2</sup>    | 100±30 г      | 14                   | Рис. 104, а                          |
| 0,2         | м <sup>2</sup>    | 200 г         |                      |                                      |
| 0,1—0,2     | м <sup>2</sup>    | —             | 14                   | То же                                |

грунта, выраженная в процентах площади поверхности трубы по наружному диаметру, определяется по рис. 81. В дренажных гладкостенных и гофрированных пластмассовых, асбестоцементных и бетонных трубах для глубокого горизонтального дренажа (см. рис. 103) при глубине закладки 1,5—7,0 м, оборудованного волокнистыми фильтрами, она должна выполняться в виде продольных, реже поперечных, щелей (ширина щели 2—4 мм, длина 50—100 мм) или круглых отверстий диаметром 3—10 мм. Щели и отверстия размещаются обычно в нижней половине трубы в 2—4 ряда, а при укладке дрен на водоупор — в верхней. Ширину щелей между гоначарными трубами следует принимать 1,5—5 мм.

Перфорацию в трубах для мелкого трубчатого дренажа при глубине заложения менее 1,5 м следует выполнять в виде продольных щелей (ширина 0,5—2,0 мм, длина 3—50 мм) или круглых отверстий диаметром 1—2 мм. Щели и отверстия располагаются в 4—8 рядов по окружности трубы.

Опыт строительства и эксплуатации глубокого трубчатого дренажа показал [92, 99, 103], что наиболее рациональны продольная щелевая перфорация и в виде круглых отверстий. Такие перфорации обеспечивают достаточную водозахватную способность дрен, не снижают практически прочности труб и значительно уменьшают их потери на бой при погрузочно-разгрузочных работах и во время транспортировки. Щели в асбестоцементных и гладкостенных пластмассовых трубах нарезаются с помощью станков [139]. Круглые отверстия в трубах выполнялись с помощью специальных устройств и сверлами вручную. Перфорация (щелеватость) в витых гибких поли-



Таблица 49. Расход фильтров на погонный метр дрены из асбестоцементных и гончарных труб, м<sup>3</sup>

| Диаметр<br>трубы, мм | Маты из стекловолокна |            | Прошитые маты<br>из базальтового<br>волокна | Конструкция<br>дрен |
|----------------------|-----------------------|------------|---------------------------------------------|---------------------|
|                      | в один слой           | в два слоя |                                             |                     |
| 100                  | 0,05                  | 0,08       | 0,053                                       | Рис. 103, а, б      |
| 150                  | 0,06                  | 0,10       | 0,064                                       | То же               |
| 200                  | 0,07                  | 0,12       | 0,075                                       | » »                 |

Таблица 50. Расход стеклосетки ССТЭ-6 или стеклохолстов ВВГ, ВВК и неотсортированной (местной) песчаной обсыпки на погонный метр дрены из гончарных труб при укладке дренаукладчиками

| Диаметр трубы,<br>мм | Стеклохолст, м <sup>2</sup> | Стеклосетка, м <sup>2</sup> | Обсыпка из местного<br>песка, м <sup>3</sup> |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------|
| 100                  | 0,55                        | 0,5                         | 0,245                                        |
| 125                  | 0,65                        | 0,5                         | 0,256                                        |
| 150                  | 0,75                        | 0,7                         | 0,256                                        |

винилхлоридных и стеклопластиковых трубах выполняется в заводских условиях в процессе изготовления труб. Щелевая перфорация и в виде круглых отверстий в пластмассовых гладкостенных и гофрированных трубах малых диаметров ( $d_t = 50 \div 100$  мм), предназначенных для мелкого трубчатого дренажа (зона избыточного увлажнения), обычно делается в заводских условиях при изготовлении труб.

Толщина дренажных фильтров из искусственных минеральных волокнистых материалов для рекомендуемых конструкций дренажа (см. рис. 103—105) определяется фильтрационными расчетами, приведенными в главах I и IV данной книги и в работах [82, 95, 102, 103, 108].

Для глубокого горизонтального трубчатого дренажа (глубина закладки от 1,5 до 7 м) при применении фильтров из прошитых и клеенных матов и войлоков из базальтового и стеклянного волокон (см. табл. 48) их толщина в уплотненном состоянии (под давлением грунта) должна быть не менее 10 мм, а в случае изготовления фильтров из стеклохолстов ВВГ, ВВК или ВВТ — не менее 3 мм. Для мелкого мелиоративного горизонтального трубчатого дренажа (глубина закладки менее 1,5 м) при изготовлении фильтров из стеклохолстов ВВГ и ВВК толщина их принимается не менее 1 мм.

Расход волокнистого фильтрового материала для предложенных конструкций дрены (см. рис. 103—105) приведен в табл. 49—51.

Для устройства фильтровой оболочки в фильтрах из стекломатов можно применять стеклохолсты ВВГ, ВВК, техническую марлю, стеклосетки ССТЭ-6 и СС-1 в один слой. Расход материалов на филь-



тровую оболочку при диаметрах труб 100 мм — 1,2 м<sup>2</sup>, 150 мм — 1,4 м<sup>2</sup> и 200 мм — 1,5 м<sup>2</sup>.

При устройстве дрен из гибких витых поливинилхлоридных труб ( $d_r = 100$  мм) и обмотке их по спирали стеклохолстами ВВГ, ВВК в восемь слоев при толщине 0,5 мм расход холста на один погонный метр составляет 2,6 м<sup>2</sup>, а в четыре слоя при толщине холста 1 мм — 1,3 м<sup>2</sup>.

Глубина закладки трубчатого дренажа на орошаемых массивах и при дренировании промышленных площадок и территорий населенных пунктов составляла от 1,5 до 7 м, а при осушении заболоченных земель в зоне избыточного увлажнения от 0,8 до 1,5 м. Минимальный уклон дренажных линий изменялся в пределах 0,0015—0,003. Междренные расстояния для дренажа глубокого заложения на опытных участках составляют 100—300 м, а на производственных участках в среднем 200 м, что составляет 50 погонных метров дренажа на гектар. Междренные расстояния для дренажа мелкого заложения изменялись обычно в пределах 8—30 м.

Строительство глубокого трубчатого дренажа с фильтрами из стеклянного и базальтового волокон на Украине и в других республиках страны начато в 1966 г., и в зависимости от уровня грунтовых вод, гранулометрического состава дренируемых грунтов велось и продолжает проводиться в настоящее время такими способами: раздельным (способ «полки»), полумеханизированным и комплексно-механизированным.

Раздельный способ [36, 48, 81, 95, 99] при высоком уровне грунтовых вод применялся для несвязных и слабосвязных водонасыщенных грунтов, приобретающих в период строительства дренажа свойства плывунов (рис. 106), и для связных грунтов при незначительной

Таблица 51. Расход защитных фильтровых материалов из стеклохолстов на 100 погонных метров, м<sup>2</sup>

| Конструкция дрены                                          | Расход материала при определенной ширине ленты | Результаты исследований при диаметре труб, мм |     |     |     |     |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
|                                                            |                                                | 50                                            | 75  | 100 | 125 | 150 |
| Сплошная обертка труб по спирали нахлестом, рис. 105, а    | Ширина ленты, мм                               | 150                                           | 150 | 200 | —   | —   |
|                                                            | Расход материала                               | 25                                            | 35  | 45  | —   | —   |
| Сплошная обертка труб с нахлестом, рис. 105, б, в          | Ширина ленты, мм                               | 300                                           | 400 | 500 | 600 | 700 |
|                                                            | Расход материала                               | 25                                            | 35  | 45  | —   | —   |
| Сплошная защита труб полосками снизу и сверху, рис. 105, г | Ширина подстилочной ленты, мм                  | 150                                           | 200 | 200 | 250 | 250 |
|                                                            | Ширина покровной ленты, мм                     | 250                                           | 300 | 400 | 480 | 570 |
|                                                            | Расход материала                               | 40                                            | 50  | 60  | 73  | 82  |

Примечание. Расход материала предусматривается при толщине его не менее 0,9 мм. При толщине материала 0,4—0,5 мм расход его увеличивается в два раза.



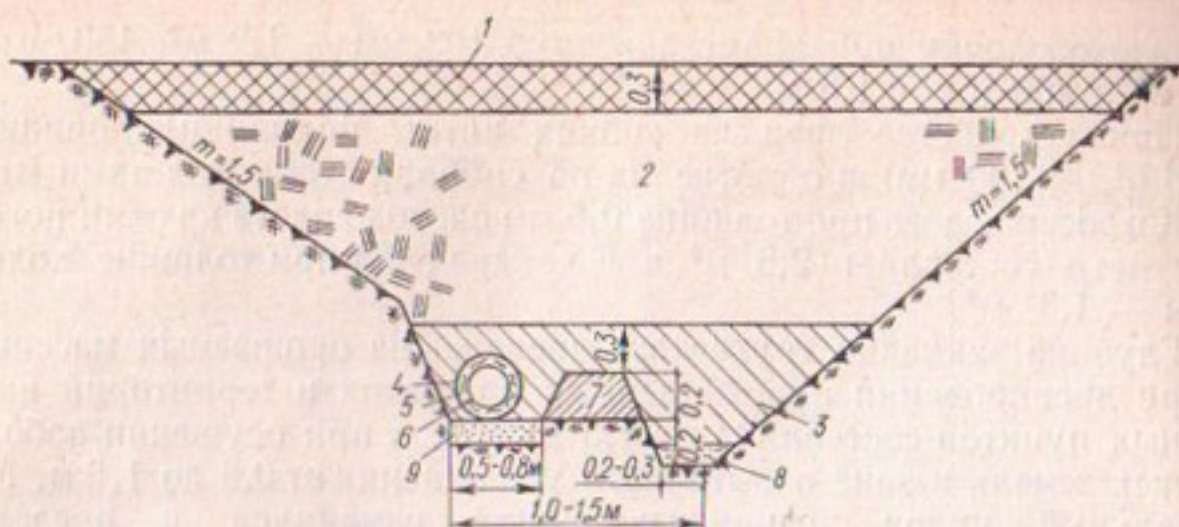


Рис. 106. Схема укладки дренажа с минерально-волокнистыми фильтрами (на «полку» с валиком) раздельным способом:

1 — обратная засыпка растительным грунтом; 2 — то же минеральным грунтом; 3 — то же грунтом вручную; 4 — водопроницаемая оболочка фильтра из стеклохолста или стеклосетки; 5 — войлок или маты из базальтового или стеклянного волокна; 6 — дренажная труба; 7 — земляной валик; 8 — канавка для сброса грунтовых вод; 9 — подготовка из песка или щебня.

высоте (30 см) выклинивания грунтовых вод на стенках у дна траншеи (рис. 107).

При укладке дренажные трубы (см. рис. 106) оборудовали фильтрами вручную на бровке траншеи или на полигоне и доставляли на место укладки автомашинами с приспособлениями в кузовах, не допускающими повреждения фильтров во время транспортировки. Секции труб с фильтрами подавали и укладывали на полку тракторным краном ТК-3 или автокраном АК-5 (рис. 108), а дрены малого диаметра — вручную. После проверки уклона дрены присыпали вручную слоем грунта 30—50 см. Дальнейшую засыпку выемки выполняли бульдозерами со стороны противоположного откоса.

При укладке дренажа с волокнистыми фильтрами по второй схеме (см. рис. 107) на спланированном под проектный уклон на дно

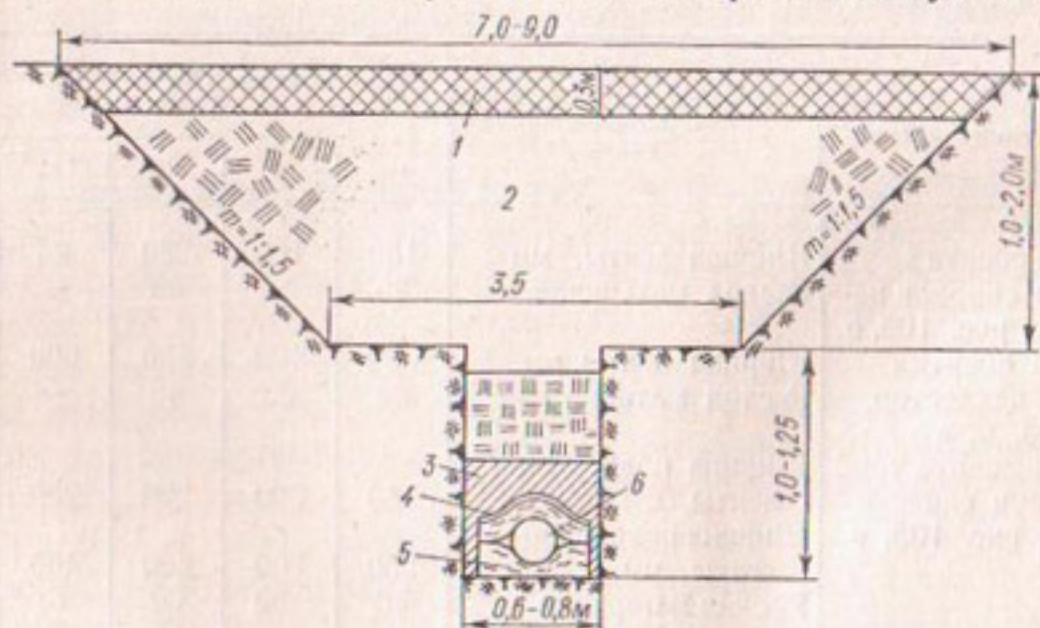


Рис. 107. Схема укладки дренажа с новыми фильтрами в сухих грунтах раздельным способом. Обозначения позиций 1—6 те же, что и на рис. 106.



траншеи расстилали стекломаты или прошитые маты из базальтового волокна шириной 40—50 см, на который укладывали гончарные, перфорированные, асбестоцементные или полиэтиленовые трубы. Сверху их прикрывали вторым слоем войлока, а на него укладывали стеклохолст (марок ВВГ, ВВК или ВВТ) или стеклосетку (марки СС-1 или ССТЭ-6). После этого дрены присыпали вручную слоем грунта 15—20 см. Дальнейшую засыпку грунта в траншею и корыте выполняли бульдозерами.

При раздельном способе укладки дренажа механизировались процесс разработки траншеи под дрену и ее обратная засыпка. Все остальные операции (устройство валиков, канавок, первоначальная присыпка дрен слоем грунта, соединение секций дренажных труб) выполнялись вручную. Этот способ широко применялся в первые годы внедрения волокнистых фильтров в практику строительства глубокого закрытого дренажа на орошаемых землях (1966—1968 гг.). Сейчас он применяется в условиях близкого залегания от поверхности земли грунтовых вод и недостаточной устойчивости грунтов. Существенными недостатками раздельного способа укладки дренажа являются значительные затраты ручного труда, недостаточный уровень механизации, большие объемы земляных работ. Стоимость строительства погонного метра дренажа с волокнистым фильтром по первой схеме (с учетом земляных работ) на 30—40% ниже [97], чем с применением песчано-гравийных фильтров.

С целью снижения стоимости и сокращения сроков строительства трубчатого дренажа с новыми фильтрами Укргипроводхозом и строительными организациями Минводхоза УССР в содружестве с Институтом гидромеханики АН УССР был предложен полумеханизированный траншейный способ укладки дренажа с использованием дреноукладчиков Д-658А, Д-658М и Д-659А (рис. 109) [99].

Укладка гончарного дренажа с защитной оболочкой из стеклосетки ССТЭ-6 или стеклохолста ВВГ с обсыпкой местным неотсортированным песком (см. рис. 104 и 109) дреноукладчиками Д-658А, Д-658М и Д-659А была начата на орошаемых массивах в Крымской обл. в конце 1969 г. [99]. Проектный уклон дренажной

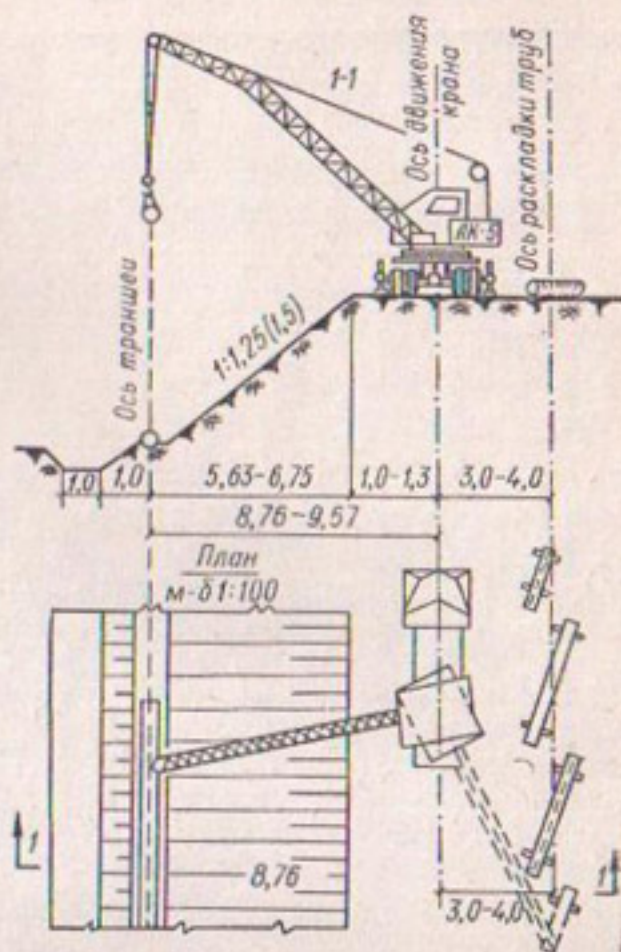


Рис. 108. Схема укладки секций дрен с волокнистыми фильтрами автокраном АК-5.



линии выдерживается в этом случае дренаукладчиками с помощью специальных механических или электрических приспособлений, контактирующих с предварительно натянутой под определенным уклоном над поверхностью земли (параллельно дренажной линии) проволокой. Планировка трассы выполнялась лишь в случае, если по оси дренажной линии были значительные неровности.

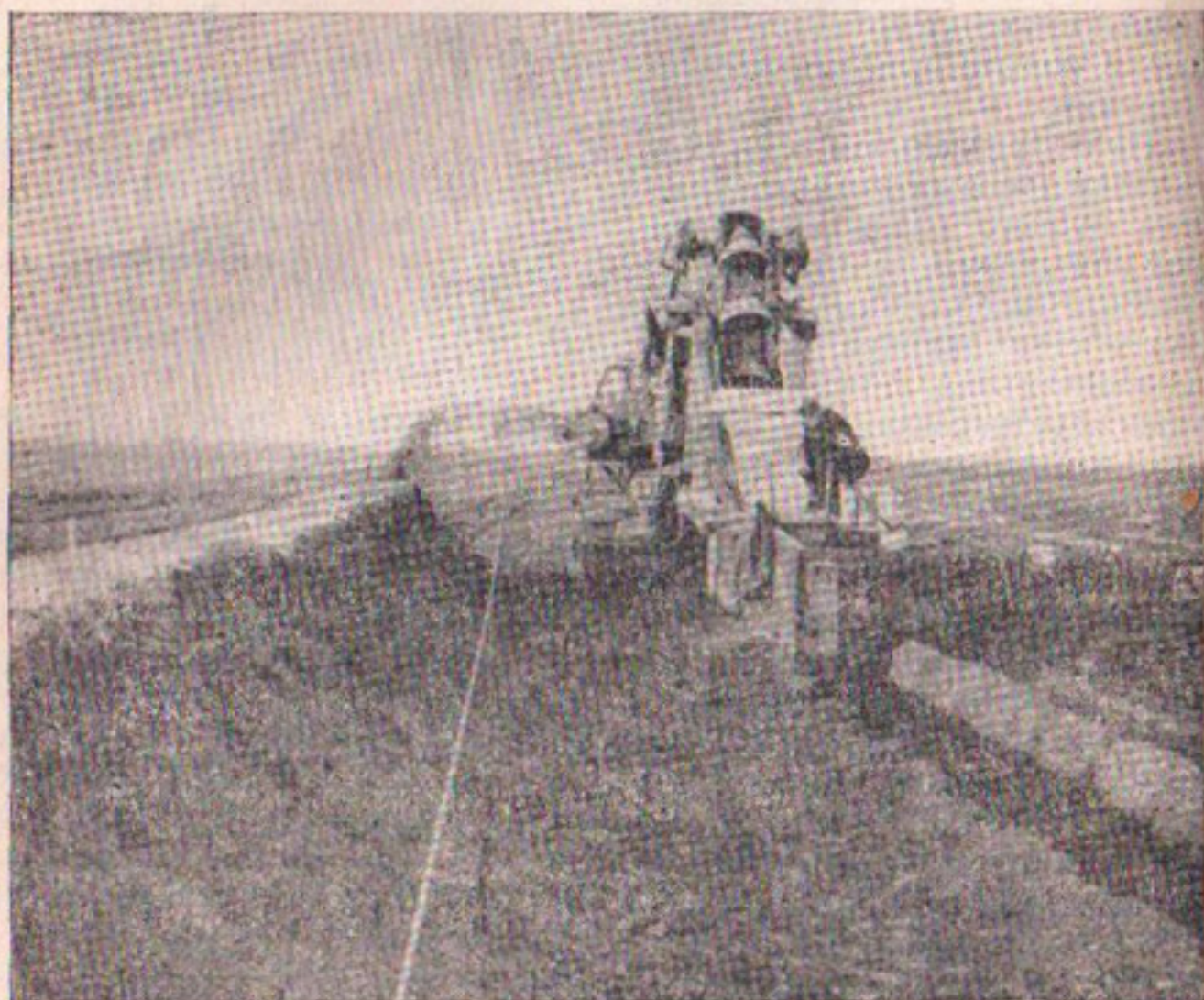


Рис. 109. Укладка гончарного дренажа с фильтром-оболочкой из стеклохолста ВВГ с обсыпкой слоем 10—15 см местного некалиброванного песка дренаукладчиком Д-659А.

Конструкция дренаукладчика Д-658А позволяет одновременно выполнять следующие виды работ: отрывку траншей шириной 0,8 м на заданную глубину (от 2 до 3,5 м) с определенным уклоном дна, укладку на дно траншеи подстилающего слоя песка и полосы стеклосетки ССТЭ-6 или стеклохолста ВВГ в два слоя (лучше применять более прочные стеклохолсты, например конструктивный ВВК, армированный в продольном направлении, или мелиоративный ВВМ, армированный в двух направлениях), укладку гончарных труб на стеклосетку или стеклохолст, обсыпку гончарных труб, завернутых в стеклосетку или покрытых стеклохолстом, слоем песка 10—15 см.

Модернизированный дренаукладчик Д-659М укладывает дрены на глубину до 4 м и имеет более совершенную конструкцию бункера.



Дреноукладчик Д-659А роет траншею на 20 см уже, чем Д-658А.

В ходе испытаний дреноукладчиков работники управления Крымканалстрой и треста Каналмехстрой внесли ряд изменений в первоначальную конструкцию бункеров и устройств по намотке стеклосеток и стеклохолста на гончарные трубы.

Применение полумеханизированного способа укладки глубокого трубчатого дренажа дреноукладчиками Д-658, Д-659 и Д-659М позволило сократить объем земляных работ с 15—20 м<sup>3</sup> на погонный метр дренажа при раздельном способе до 1,8—2,0 м<sup>3</sup> на погонный метр. Однако и при этом способе дренажных работ отдельные операции выполнялись вручную, например подача гончарной трубы в дреноукладчик.

Производительность дреноукладчиков в период их испытаний была меньше паспортной, а стоимость погонного метра дренажа, уложенного дреноукладчиками Д-658М и Д-659А, составляла в среднем 5 р. Полумеханизированный способ строительства дренажа на данном этапе механизации мелиоративных работ является в условиях юга Украины самым распространенным.

Опыт укладки дренажа упомянутыми выше дреноукладчиками показал, что в водонасыщенных несвязных и связных грунтах при отсутствии одновременной засыпки траншеи за дреноукладчиком строительство дренажа выполнять практически невозможно из-за обрушения стенок траншеи и заклинивания в траншее бункера. Кроме того, в несвязных грунтах грунт оплывает с ковшей, а в связных налипает и т. д. В таких гидрогеологических условиях и на орошаемых массивах юга Украины целесообразно использовать бестраншейный способ укладки дренажа с активным или пассивным рабочим органом.

В водонасыщенных неустойчивых грунтах наиболее прогрессивным является комплексно-механизированный способ строительства дренажа бестраншейными дреноукладчиками с активным рабочим органом или ковшевыми дреноукладчиками в устойчивых грунтах. Такой способ строительства дренажа требует применения гибких длиномерных дренажных труб.

Однако если для зоны осушения, где закладывается обычно мелкий трубчатый дренаж, разработаны механизмы для устройства дренажа механизированным способом [37, 60, 62, 125, 144], то разработка конструкций дреноукладчиков для строительства комплексно-механизированным способом глубокого трубчатого дренажа в зоне орошения находится на стадии производственных испытаний [5, 26, 124]. В 1973—1977 гг. на юге Украины были испытаны опытные образцы бестраншейного дреноукладчика с активным рабочим органом БШУ-4 [21], ковшевые дреноукладчики ДК-3,5 [26] (при отрывке траншеи шириной 60 и 30 см) и Д-659 с переоборудованным бункерным устройством, предназначенным для укладки дрен из длиномерных гибких витых поливинилхлоридных труб, оборудованных фильтрами из стеклохолстов. Новый комплексно-механизи-



рованный способ строительства горизонтально трубчатого дренажа глубокого заложения рекомендуется при прохождении трассы дренажа в обводненных грунтах и отсутствии пересекающих трассу подземных коммуникаций, например на орошаемых землях и при дренировании населенных пунктов в этих районах. Он основан на применении витых длиномерных дренажных труб из жесткого поливинилхлорида, оборудованных фильтрами из стеклохолстов, укла-

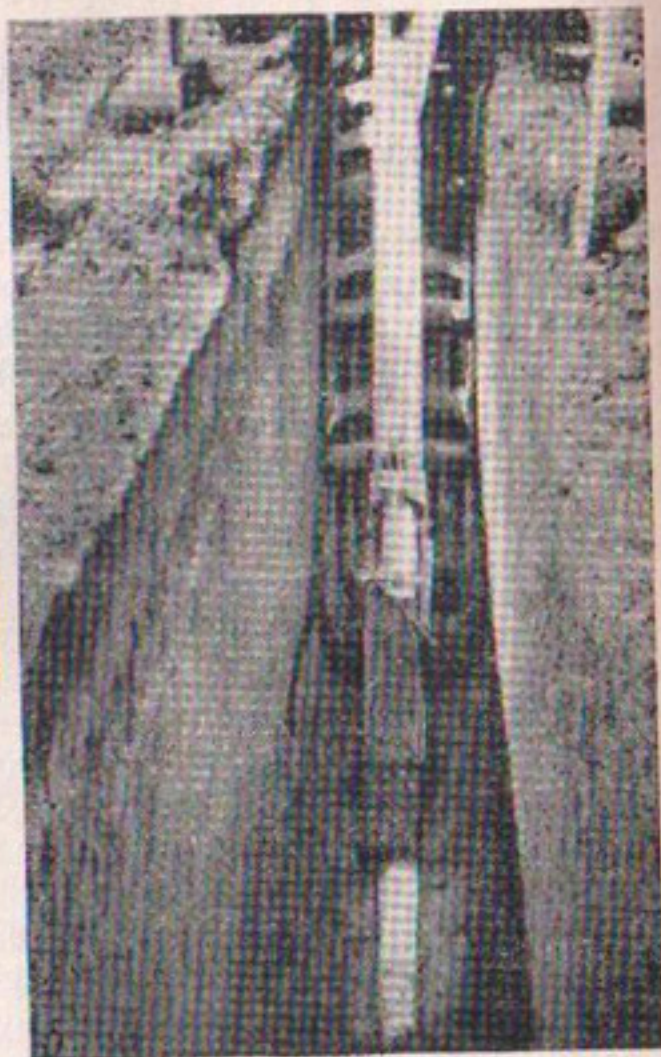
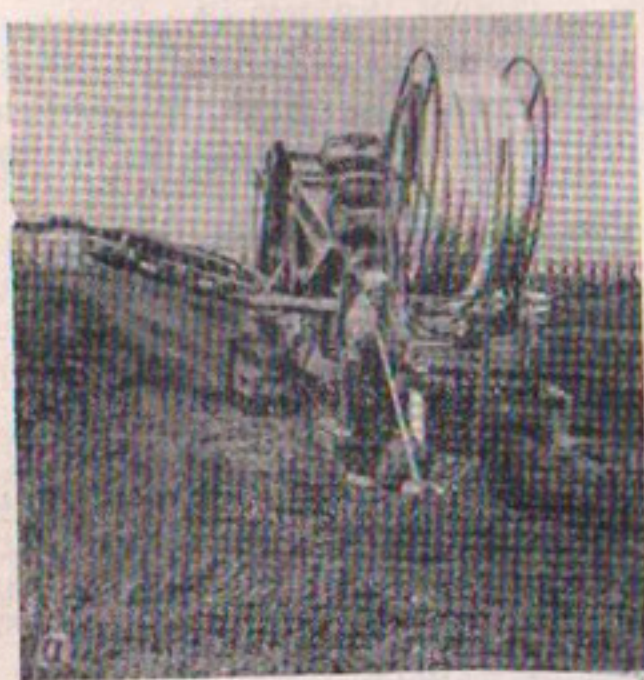


Рис. 110. Укладка глубокого дренажа из витых гибких поливинилхлоридных труб с фильтром из стеклохолста ВВГ дреноукладчиком ДК-3,5:  
а — дреноукладчик в работе; б — дрена в траншее.

дываемых при помощи бестраншейного шнекового дреноукладчика БШУ-4 [5] в неустойчивых грунтах или ковшевого дреноукладчика ДК-3,5 в устойчивых связных грунтах.

Опыт показал, что применение нового способа укладки дренажа по сравнению с траншейным (метод «полки») в восемь раз уменьшает ширину полосы земельного отвода, в четыре-пять раз сокращает трудоемкость, в шесть — восемь раз — объем земляных работ и в полтора — два раза — стоимость закладки дрен.

Гибкие витые дренажные трубы конструкции НИИСП Госстроя СССР, НИИСМИ МПСМ СССР [79, 80] изготавливаются на установке непрерывного действия из экструдированной полосы специального профиля путем ее спиральной навивки со свободным зацеплением смежных витков. Вода внутрь трубы поступает через зазоры между смежными витками, т. е. практически непрерывно по всей длине, что не требует дополнительной перфорации [102, 108, 124]. Преи-



муществами этих труб являются их малый вес и низкая материалоемкость, а также простота стыкования. Кроме того, как показали наши исследования [102, 107, 108], дрены из этих труб с фильтром из стеклохолста ВВГ в шесть — восемь слоев по водозахватной способности приближаются к совершенным по характеру вскрытия пласта.

Указанные трубы с внутренним диаметром 100 мм изготавливаются в соответствии с ТУ-33 УССР 5-73 на одном из комбинатов стеновых материалов и строительных пластмасс.

На строительстве трубы соединяются в плети длиной 100—200 м, на специальной установке [106] обматываются фильтром из стеклохолста по спирали в шесть слоев и на барабане транспортируются к месту укладки. Производительность установки 120 м дренажной трубы в час. Барабан с дренажной трубой устанавливается на дре-ноукладчик, передвигающийся по заранее спланированной бульдозером под определенный уклон трассе дрены (рис. 110). Внедрение комплексно-механизированного способа укладки дренажа дре-ноукладчиками БШУ-4, ДК-3,5 и Д-659 (модернизированного) ведется с 1973 г. на объектах строительства дренажа в зоне орошения Украинской ССР.

В 1973—1977 гг. на указанных орошаемых массивах уложено 1600 км дренажа из витых ПВХ труб, в том числе комплексно-механизированным способом 1280 км.

За 1966—1977 гг. на Украине строительными организациями Министерства мелиорации и водного хозяйства УССР построено около 7000 км на площади около 140 000 га глубокого горизонтального трубчатого дренажа с новыми фильтрами в зоне орошаемого земледелия, около 200 000 км на площади 300 000 га мелкого трубчатого дренажа в зоне избыточного увлажнения, дренировано более 100 населенных пунктов и уложено 50 км приканального дренажа вдоль Краснознаменского и Северо-Крымского магистральных каналов.

Суммарный экономический эффект от внедрения предложенных конструкций горизонтального глубокого трубчатого дренажа за этот период составил около 8,0 млн. р.

Внедрение предложенных новых конструкций и методов расчета дренажа ведется также в других республиках Советского Союза как в зоне орошаемого земледелия, так и в гумидной зоне.

## **§ 2. Дренаж с волокнистыми фильтрами в низовых откосах земляных плотин и на территории населенных пунктов**

Наряду с массовым строительством дренажей с песчано-гравийными фильтрами проектные и строительные организации министерств мелиорации и водного хозяйства, коммунального хозяйства и других начали применять в земляных плотинах, в промышленном и городском строительстве трубчатый дренаж с фильтрами из стеклянного



и базальтового волокон. За 1968—1977 гг. дренирована территория около 100 населенных пунктов сельского типа, расположенных на орошаемых массивах юга Украины, защищена от подтопления грунтовыми водами территория пяти городов, низовые откосы 10 земляных плотин, где уложено 390 км трубчатого дренажа.

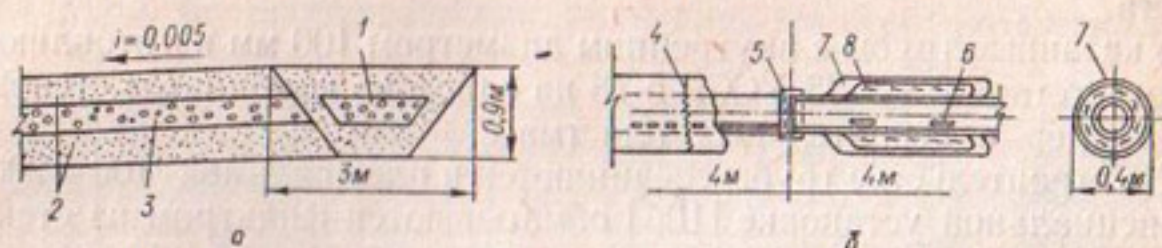
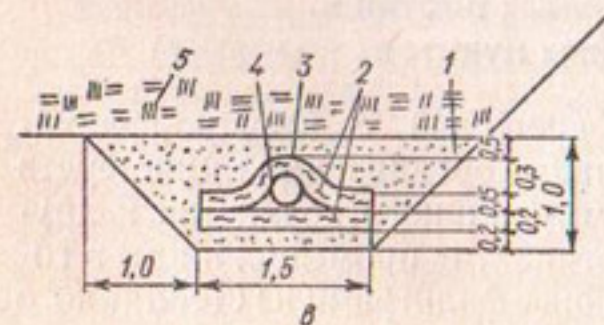
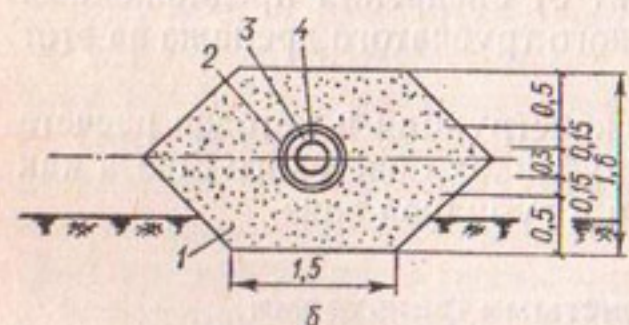
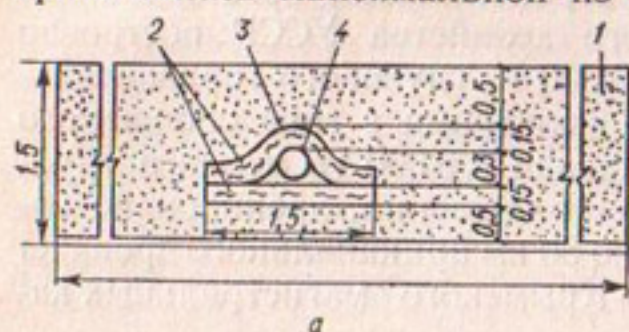


Рис. 111. Конструкции горизонтального дренажа в низовых откосах земляных плотин (Крымская обл.) по первоначальному (а) и измененному варианту (б):

1 — приемная часть дренажа — ленты толщиной 0,3 м; 2 — первый слой фильтра толщиной 0,3 м; 3 — отводящая часть дренажа; 4 — хомуты через 500 мм; 5 — муфта; 6 — щели в трубе; 7 — стеклохолст; 8 — стекломаты.

Конструкции трубчатого дренажа с новыми волокнистыми фильтрами, применяемые в низовых откосах земляных плотин и для дренирования промышленных площадок и территорий населенных пунктов, практически не отличаются от рекомендуемых для глубокого трубчатого горизонтального дренажа на орошаемых землях (см. рис. 103, 104). Но толщина волокнистого фильтра в этом случае принималась максимальной из рекомендуемых и составляла от 5



до 15 см в неуплотненном состоянии. Кроме того, в плотинах, возводимых из суглинков и глин, дренажные трубы с волокнистыми фильтрами обсыпались слоем местного несuffузионного песка толщиной 0,3—0,5 м (рис. 111, 112), имеющего коэффициент фильтрации  $K_f \geq 5$  м/сут.

При дренировании или защите промышленных площадок или территорий населенных пунктов от подтопления грунтовыми водами в связных грунтах траншеи с дренами с волокни-

Рис. 112. Конструкции дренажа с волокнистыми фильтрами в низовых откосах в плотине Анновского водохранилища (а), на балке Долгая (б), в быстройтоке (в):

1 — обсыпка из местного несuffузионного песка; 2 — маты полужесткие стекловатные для строительства; 3 — стеклохолст или стеклосетка; 4 — дренажная труба,  $d_T = 250$  мм; 5 — грунт обратной засыпки.



тыми фильтрами засыпались слоем песка на высоту до уровня грунтовых вод (рис. 113), а при укладке дренажа в населенных пунктах вдоль дорог или улиц с асфальтовым покрытием траншеи с дренами засыпались песком доверху (рис. 114).

Для строительства дренажа применялись асбестоцементные, гончарные, раструбные керамические, пористые керамзитовые и

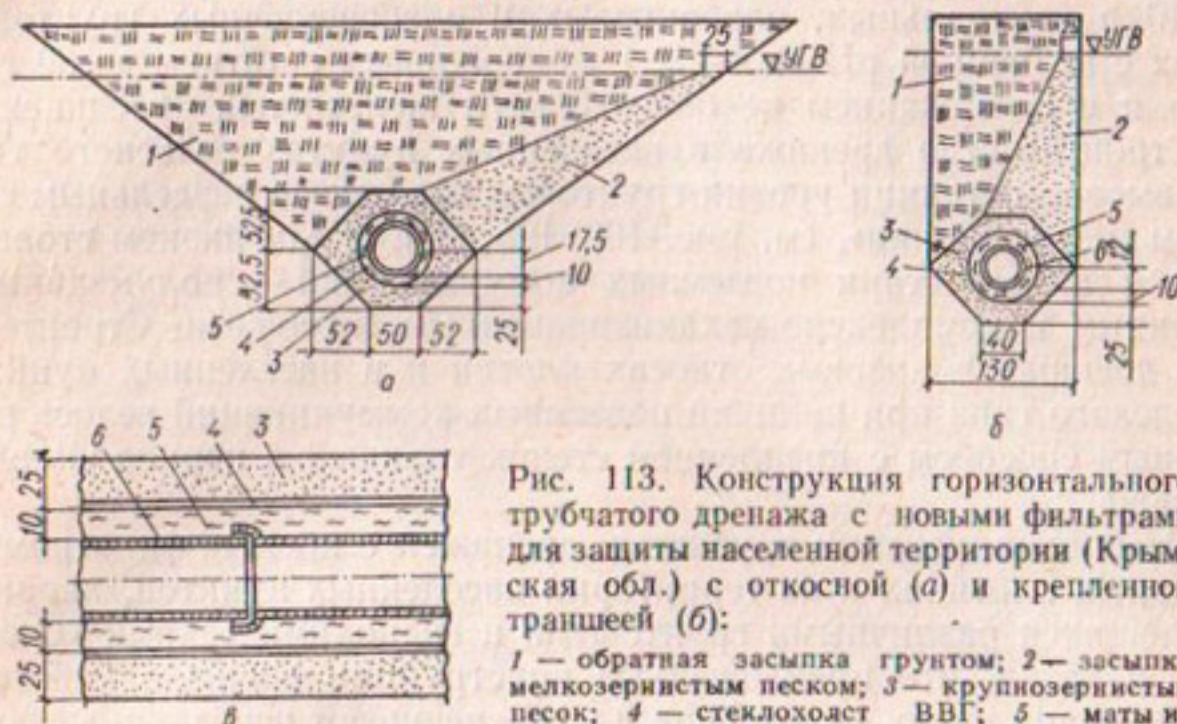


Рис. 113. Конструкция горизонтального трубчатого дренажа с новыми фильтрами для защиты населенной территории (Крымская обл.) с откосной (а) и укрепленной траншеей (б):

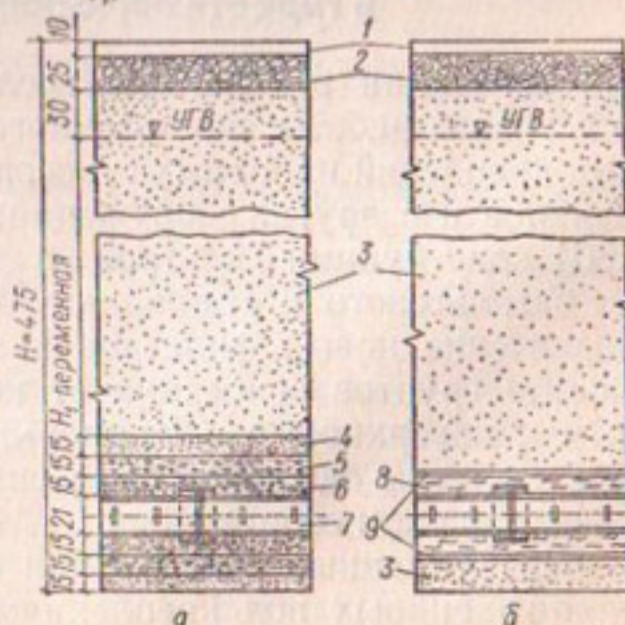
1 — обратная засыпка грунтом; 2 — засыпка мелкозернистым песком; 3 — крупнозернистый песок; 4 — стеклохолст ВВГ; 5 — маты из стекловолкна; 6 — керамическая труба.

гибкие витые поливинилхлоридные трубы. Диаметр труб изменялся в пределах 100—500 мм, перфорация выполнялась в виде продольных или поперечных щелей шириной 3—4 мм, длиной 5—15 см и реже в виде круглых отверстий диаметром 5—10 мм. Площадь перфорации составляла от 0,5 до 3% площади трубы по наружному диаметру. Меньший процент площади перфорации применяется при отношении коэффициентов фильтрации фильтра и дренируемого грунта  $\frac{K_{\Phi}}{K_{\Gamma P}} \geq 20$ , а больший — при  $\frac{K_{\Phi}}{K_{\Gamma P}} \geq 2$ ; последнее условие

выполняется при дренировании низовых откосов плотин, защитных дамб, намытых из мелко- и среднезернистых песков и имеющих коэффициент  $K_{\Phi} =$

Рис. 114. Конструкция дренажа для защиты от подтопления грунтовыми водами территории города (Павлодарская обл.) по первоначальному проекту (а) и измененному варианту (б):

1 — асфальтобитумное покрытие; 2 — подготовка из щебня; 3 — песок мелкозернистый; 4 — песок средизернистый; 5 — мелкий гравий; 6 — крупный гравий; 7 — асбестоцементная перфорированная труба; 8 — маты полужесткие из стекловолокна; 9 — стеклохолст или стеклосетка.





= 10—30 м/сут, или при защите промышленных площадок из песчаных грунтов.

Дрены с новыми фильтрами применялись для дренирования и защиты несвязных грунтов с коэффициентом разнотонности  $\frac{d_{60}}{d_{10}} \leq 10$  и для связных грунтов с коэффициентом пластичности от 6 до 40 в нейтральных, слабокислых и слабощелочных грунтовых водах с величиной pH = 4÷9, с минеральным остатком до 30 г на литр и с содержанием не более 5 мг/л железистых соединений.

Строительство дренажа в населенных пунктах сельского типа при высоком стоянии уровня грунтовых вод велось раздельным способом (метод «полки», см. рис. 106) [95, 99], а при низком стоянии уровня и отсутствии подземных коммуникаций — полумеханизированным и комплексно-механизированным способами. Строительство дренажа в низовых откосах плотин и в населенных пунктах городского типа при наличии подземных коммуникаций велось раздельным способом с креплением стенок траншей в период укладки дренажа.

Опыт эксплуатации трубчатых дренажей с новыми фильтрами в земляных плотинах и на территории населенных пунктов, характеризующихся различными грунтовыми и гидрохимическими условиями, показал, что предложенные конструкции дренажа работают удовлетворительно, не заиливаются и обеспечивают необходимые водопонижение и отвод грунтовых вод [99, 105].

Расчеты, выполненные нами и рядом проектных и строительных организаций [14, 97, 99, 105], свидетельствуют о том, что применение в дренажах земляных плотин и территорий населенных пунктов новых волокнистых фильтров вместо двух- и трехслойных песчано-гравийных позволяет снизить стоимость строительства одного погонного метра дренажа на 30—50%.

### **§ 3. Конструкции, технология укладки и внедрение волокнистых фильтров в гидротехнических сооружениях**

На основании результатов исследований, приведенных во II, IV и V главах работы, накопленного опыта строительства и эксплуатации креплений напорных откосов земляных плотин, защитных дамб, каналов и в других сооружениях предложены [82, 88, 95, 104, 107, 130] конструкции фильтров и защитных фильтровых покрытий из базальтового и стеклянного волокон (рис. 115—118). Основное назначение новых фильтров в этом случае сводится к надежной защите грунтов основания от контактного размыва фильтрационным и поверхностным (волновым и пульсирующим) потоками или тем и другим одновременно и снятию фильтрационного давления на крепление или сооружение.

Предложенные конструкции волокнистых фильтров вместо песчано-гравийных под креплениями из монолитных железобетонных



плит впервые были внедрены в 1968 г. Укргидропроектом при проектировании и строительстве водохранилищ [130] в Донецкой обл.

В последние годы конструкции защитных фильтровых подготовок из волокнистых материалов и изделий начали широко применяться под креплениями откосов из монолитного и сборного железобетона рядом проектных и строительных организаций различных министерств и ведомств [14, 130].

Фильтры под креплениями откосов плотин, защитных дамб, откосов набережных или берегов обычно выполняются из матов или плит из базальтового и стеклянного волокон (см. рис. 115). Конструкция швов креплений определяется независимо от вида

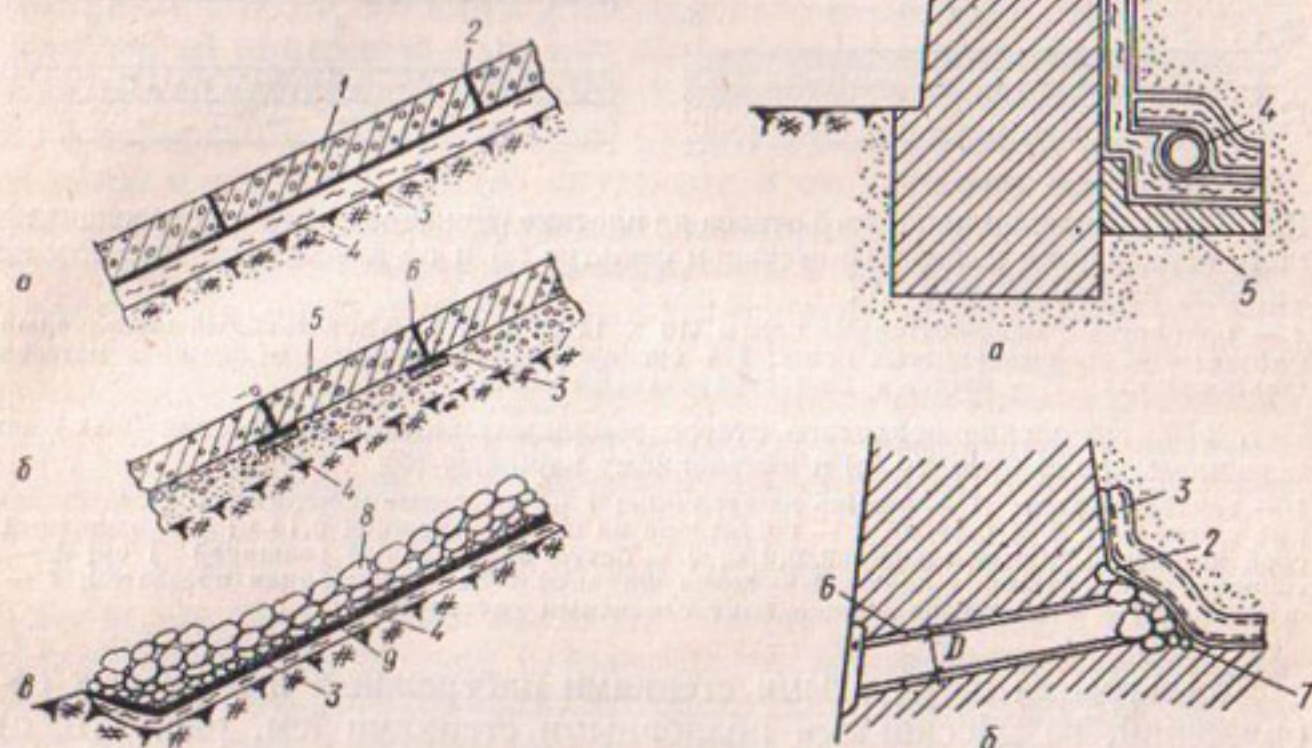


Рис. 115. Конструкции дренажных волокнистых фильтров под плитами из монолитного (а) и сборного железобетона (б) и под креплениями откосов камнем и в наклонных дренажах низовых откосов земляных плотин и защитных дамб (в):

1 и 5 — железобетонные плиты; 2 и 6 — омоноличенные и заделанные швы; 3 — стеклосетки ССТЭ-6 или СС-1; 4 — маты или плиты из стеклянного или базальтового волокна; 7 — подготовка из местного песка или песчано-гравийной смеси; 8 — камни; 9 — неотсортированный щебень,  $d_{щ} = 1,8$  см.

Рис. 116. Конструкции фильтра (а) и дренажного устройства за подпорной стенкой (б):

1 — утрамбованная глина; 2 — стеклосетка ССТЭ-6 или СС-1; 3 — маты из стеклянного или базальтового волокна; 4 — дренажные трубы; 5 — глинобетон; 6 — отводящая труба; 7 — камни.

фильтров. При укладке на спланированный откос фильтров из матов, войлоков или плит в два или три слоя стыки нижнего слоя перекрываются верхним слоем, а при укладке в один слой они укладываются внахлест с перекрытием швов на ширину 5—10 см. Сверху фильтр из мата, плит или войлока защищается прочной фильтровой оболочкой из стеклосетки ССТЭ-6 или СС-1. Затем на фильтр при выпол-



нении крепления из монолитного бетона по контуру плиты укладываются сборные железобетонные плиты перекрытия швов, арматурные сетки и устанавливаются доски строительных швов. Этим заканчивается подготовка блока к бетонированию. Бетонную смесь укладывают на карту с помощью самосвалов и крана, затем смесь разравнивают бульдозером и уплотняют вибраторами.

В случае крепления откосов сборными железобетонными плитами по контуру плит заранее укладываются волокнистые фильтры в виде полосы шириной 40 см (см. рис. 115, б), после чего плиты укладываются с помощью кранов.

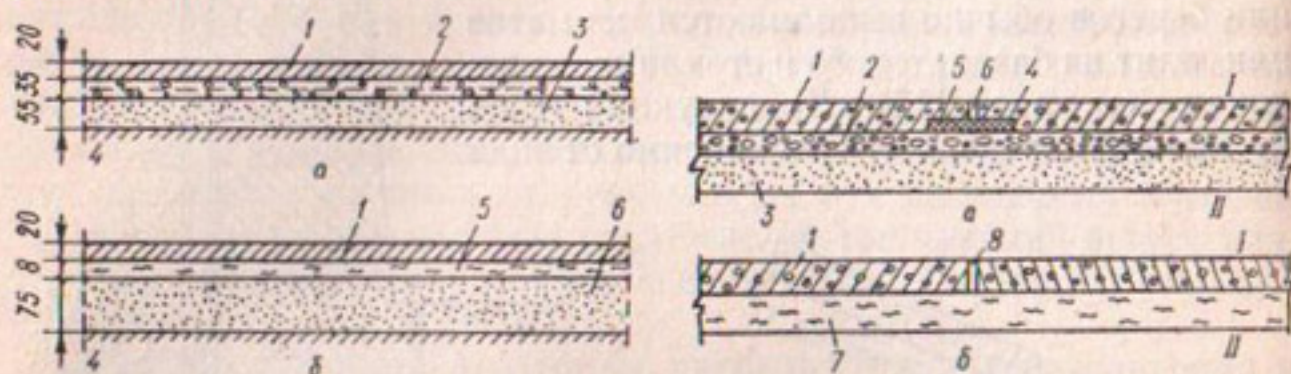


Рис. 117. Крепления напорного откоса на плотине (Донецкая обл.) по первоначальному варианту на щебеночно-песчаном фильтре (а) и по измененному проекту на фильтре из стекломатов (б):

1 — монолитные железобетонные плиты ( $10 \times 10 \times 0,2$ ); 2 — двухслойный щебеночный фильтр; 3 — среднезернистый песок; 4 — суглинок тела плотины; 5 — два слоя мата из стекловолна; 6 — местный неотсорбированный песок.

Рис. 118. Крепление верхового откоса земляных плотин (Крымская обл.) по первоначальному проекту (а) и измененному варианту (б):

1 — верховой откос; II — насыпь из суглинка; I — разрезные монолитные железобетонные плиты ( $5 \times 5 \times 0,15$  м); 2 — подготовка из щебня толщиной 0,15 м; 3 — защитный слой песчаного грунта толщиной 0,3 м; 4 — битум натуральный толщиной 1 см; 5 — сборная железобетонная плита; 6 — доска шириной 2 см, пропитанная креозотом; 7 — стекломаты; 8 — расшивка стыков плит цементным раствором.

Фильтры за шпунтовыми стенками набережных и портовых сооружений, за массивными подпорными стенками (см. рис. 116, а) выполняются из прошитых матов с двумя внешними защитными оболочками из стеклосетки СС-1 или ССТЭ-6. Толщина таких фильтров в уплотненном состоянии в зависимости от капитальности сооружения и фильтрационного притока может изменяться от 5 до 15 см. Ширина матов может быть 1,0—1,5 м, а длина устанавливается из расчета, чтобы можно было перекрыть всю высоту шпунтовой стенки. Во время монтажа маты в верхней части стенки крепятся с помощью деревянных реек, а соединения матов по вертикальным швам осуществляется внахлест на ширину 10—15 см. Мат в нижней части стенки заворачивается в сторону засыпки и запускается в грунт на глубину 0,5—1,0 м. Для лучшего крепления матов к поверхности стенки их можно местами приклеить к бетону битумной мастикой или бакелитовым лаком.

Для отвода атмосферных или грунтовых вод за шпунтовыми и подпорными стенками устанавливают трубчатый дренаж с волокнистыми фильтрами (см. рис. 116, а) и выпускные отверстия с



дренажным устройством из щебня и фильтров из базальтового или стеклянного волокна (см. рис. 116, б).

Применение в качестве фильтров изделий из базальтового и стеклянного волокон позволило устранить ряд операций, неизбежных при устройстве щебеночных фильтров: контроль гранулометрического состава, толщины слоев и т. д., что сокращает сроки подготовки карт к бетонированию и надежно обеспечивает постоянные параметры фильтра для всего гидросооружения.

Применение волокнистых фильтров под плитами креплений напорных откосов плотин, защитных дамб позволяет сократить объем и вес фильтрового материала, что резко уменьшает потребность в транспортных средствах и снижает затраты по доставке этих материалов на объект. Например, объем двухслойного песчано-гравийного фильтра (см. рис. 117), запроектированного первоначально для крепления откоса плотины Маячковского водохранилища, составлял 3688 м<sup>3</sup> при общей толщине 35 см, которая во многом обуславливалась производственными требованиями и условиями работы механизмов. Объем же фильтра из стекловолоконистых матов, уложенного в два слоя, общей толщиной 8 см составил всего 840 м<sup>3</sup>, т. е. в четыре с лишним раза меньше по объему и в 200 раз — по весу. Аналогичная картина наблюдалась и на других построенных объектах. Техничко-экономические показатели, полученные различными организациями [14], подтверждают существенное (на 30—50%) снижение стоимости и трудозатрат при использовании под креплениями конструкций фильтров из минерально-волоконистых материалов и изделий вместо традиционных конструкций песчано-гравийного обратного фильтра.

Кроме того, применение новых волокнистых фильтров вместо щебенистых обеспечивает высокую степень устойчивости их против кольматации и позволяет отказаться от применения под креплениями качественного привозного песка для переходного и защитного слоев, или заменить его местным [130] (см. рис. 117).

#### **§ 4. Опытно-производственная проверка работы новых конструкций фильтров и дренажа**

Проверка в натурных условиях работы глубокого и мелкого трубчатого дренажей и других дренажных устройств с волокнистыми фильтрами была выполнена в 1967—1977 гг. на опытно-производственных и производственных участках мелиоративного дренажа, в земляных плотинах и защитных дамбах. Эта проверка включала определение дренажного стока и уровня воды на дренируемых участках, проверку защитных, фильтрационных и других свойств волокнистых фильтров, проверку фильтров на механическую и химическую кольматацию, определение прочности, химического состава волокон фильтров при работе их в нейтральных и агрессивных грунтовых водах, определение изменения с течением времени химического



Таблица 52. Основные характеристики опытно-производственных участков

| Объект                                                                                           | Площадь<br>опытного участ-<br>ка дрена-<br>жа, га | Длина дре-<br>нажных ли-<br>ний, км | Дренируемый грунт<br>в области дрен                                           | Грунтовые воды                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Опытный участок дрена-<br>жа в колхозе «Память<br>Ильича» Херсонской<br>обл., построен в 1967 г. | 310                                               | 21,00                               | Мелкозернистый<br>песок, $K_f = 1,0$<br>м/сут; суглинок,<br>$K_f = 0,4$ м/сут | Сульфатно-хлорид-<br>ные, $pH = 7,4 \div 8,1$ ,<br>минерализация<br>1,7—5 г/л |
| Совхоз «Горняк» Днепро-<br>петровской обл., по-<br>строен в 1968 г.                              | 50                                                | 2,50                                | Суглинок, $K_f =$<br>$= 0,2$ м/сут                                            | Сульфатно-хлорид-<br>ные, $pH = 7,5 \div 8,2$ ,<br>минерализация 6—<br>15 г/л |
| Совхоз «Большевик»<br>Херсонской обл., пост-<br>роен в 1968 г.                                   | 120                                               | 7,20                                | Суглинки средние,<br>$K_f = 0,5 \div$<br>0,8 м/сут                            | Сульфатно-хлорид-<br>ные, минерализация<br>5—8 г/л                            |
| Совхоз «50 лет Октября»<br>Крымской обл., пост-<br>роен в 1968 г.                                | 85<br>60                                          | 8,60                                | Суглинок, $K_f =$<br>$= 0,83$ м/сут                                           | Хлоридно-сульфатно-<br>натриевые, минера-<br>лизация 3—5 г/л                  |
| Совхоз «Молодая гвар-<br>дия» Крымской обл.,<br>построен в 1969 г.                               | 40<br>60                                          | 7,18                                | Суглинок, $K_f =$<br>$= 0,6$ м/сут                                            | Сульфатно-хлоридно-<br>магниево-натри-<br>евые, минерализа-<br>ция 10—19 г/л  |
| Поселок Дмитровка Ки-<br>евской обл., построен<br>в 1969 г.                                      | 12                                                | 5,10                                | Мелкозернистый<br>песок, $K_f =$<br>$= 2$ м/сут; глина,<br>$K_f = 0,1$ м/сут  | Нейтральные, $pH =$<br>$= 7,0$                                                |
| Парапорский опытный<br>участок дренажа Одес-<br>ской обл., построен в<br>1972 г.                 | 180                                               | 9,00                                | Глина, $K_f =$<br>$= 0,1$ м/сут                                               | Хлоридно-сульфат-<br>ные, $pH = 8,5$ , ми-<br>нерализация 15 г/л              |
| Совхоз им. XX съезда<br>КПСС Николаевской<br>обл., построен в 1973 г.                            | 120                                               | 6,00                                | Пылеватые карбо-<br>натные глины,<br>$K_f = 0,08$ м/сут                       | Близкие к нейтраль-<br>ным                                                    |

состава грунтовых вод, сбрасываемых с дренируемых участков, определение возможного появления трещин в плитах из монолитного бетона в момент схватывания в связи с деформациями волокнистого фильтра.

Исследования выполнялись на восьми опытных и производственных участках глубокого трубчатого дренажа, расположенных в зоне орошаемого земледелия, и на четырех опытных участках мелкого трубчатого дренажа в зоне избыточного увлажнения, а также в земляных плотинах с дренажными устройствами с новыми фильтрами.

Названия и основные гидрогеологические и гидрохимические характеристики опытных участков дренажа и некоторые сведения о конструкциях дрен и фильтров помещены в табл. 52 и 53, а химический состав грунтовых вод — в табл. 22.

Схемы расположения трубчатого дренажа, пьезометрических



дренажа, расположенных в зоне орошаемого земледелия Украинской ССР

| Дренажные трубы                                                                                           | Фильтровый материал                                                      | Расстояние между дренами, м | Глубина закладки дрен, м |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Асбестоцементные, $d_T = 150$ мм, полиэтиленовые (одна), $d_T = 150$ мм                                   | Маты из стеклянного и базальтового волокон, граншлак и песчано-гравийный | 100—300                     | 1,7—3,0                  |
| Асбестоцементные, $d_T = 150 \div 200$ мм                                                                 | Войлок из базальтового волокна                                           | 200                         | 1,8—3,5                  |
| Асбестоцементные, $d_T = 100 \div 150$ мм                                                                 | Маты из стекловолокна в один и два слоя                                  | 100—200                     | 1,8—3,0                  |
| Асбестоцементные ВТ-3, ВТ-9                                                                               | Стекловолокно ГОСТ СТУ 74-7116, толщина 10 см                            | 225<br>110                  | 3,2—3,6<br>2,5—3,0       |
| Асбестоцементные, $d_T = 100$ мм                                                                          | Стекловолокно в два слоя, толщина 8—10 см                                | 120<br>240                  | 2,5<br>3,0               |
| Асбестоцементные, $d_T = 100; 150; 200$ мм                                                                | Маты из стекловолокна, войлоки из базальтового волокна                   | 100—300                     | 1,6—4,0                  |
| Асбестоцементные, $d_T = 150$ мм; пористобетонные, $d_T = 150$ мм; гибкие витые ПВХ-трубы, $d_T = 100$ мм | Стеклохолсты ВВГ, ВВТ, стекломаты                                        |                             | 2,0—3,5                  |
| Гибкие витые ПВХ-трубы, $d_T = 100$ мм; асбестоцементные                                                  | Стеклохолсты ВВГ, ВВТ, стекломаты                                        | 200                         | 2,0—3,5                  |

створов и других сооружений на опытных участках приведены в работах [34, 97, 103], а две из них показаны на рис. 119 и 120.

Из табл. 52 и 53 видно, что площадь опытно-производственных дренажных участков изменялась в пределах 6—300 га, протяженность дренажных линий составляла 2,5—21 км, дренируемые грунты представляли собой мелкозернистые пески, супеси, суглинки, глины, которые характеризовались коэффициентом фильтрации 0,03—2,0 м/сут, коэффициентом разнотерности до 3 и коэффициентом пластичности 6—22. Грунтовые воды на опытных участках были нейтральные и слабокислые с величиной  $pH = 5,5 \div 7$ , а в большинстве случаев — щелочные сульфатно-хлоридные и хлоридно-сульфатные с величиной  $pH = 7,5 \div 8,5$  и суммарным содержанием солей до 20 г/л.

Для трубчатого дренажа на опытных участках применялись исследованные нами [34, 99, 102, 103, 108, 124] перфорированные







| Дренажные трубы                     | Фильтровый материал                                        | Расстояние между дренами, м | Глубина заложения дрен, м |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Гончарные, $d_T = 5$ см             | Стеклохолст ВВТ в один слой (стыки труб)                   | 16                          | 1,0—1,4                   |
| Полиэтиленовые, $d_T = 4 \div 5$ см | Стеклохолст ВВГ в два слоя, войлок из базальтового волокна | 10—20                       | 0,8—1,4                   |
| Гончарные, $d_T = 5$ см             | Стеклохолсты ВВГ, ВВТ, ВВК в два слоя                      | 16                          | 1,0                       |
| То же                               | Стеклохолст ВВГ в два слоя                                 | 22—30                       | 0,9—1,1                   |

до 1,2 м. Междренные расстояния для глубокого дренажа изменялись в пределах 100—300 м, а для мелкого — 8—30 м.

Толщина волокнистых фильтров — матов из базальтового и стеклянного волокон — до засыпки дрен грунтом составляла в ос-

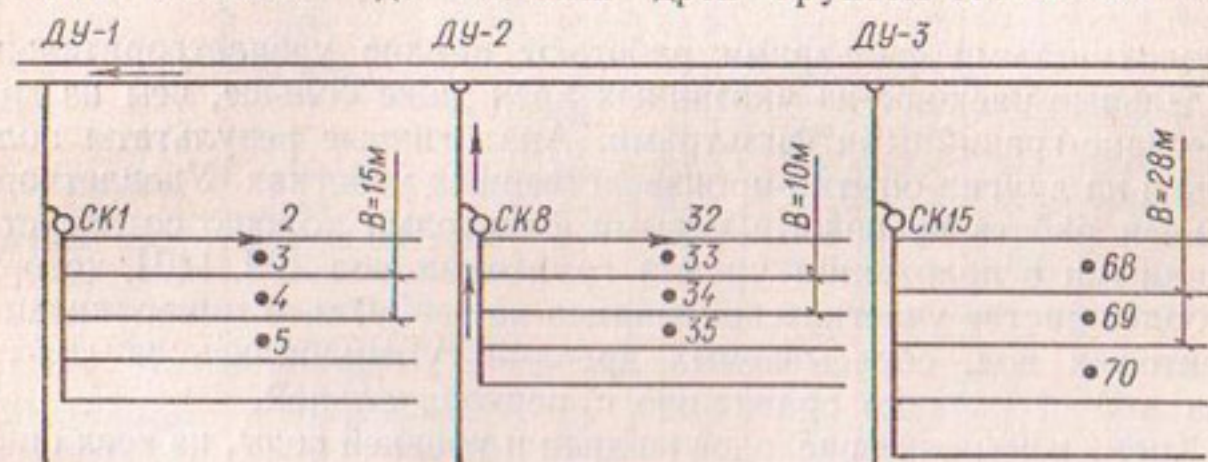


Рис. 120. План-схема участка дренажа (Черновицкая обл.):

$B$  — расстояние между дренами; ДУ — дренажное устье; О — стоковые колодцы; ● — уровенные колодцы.

новном 5—10 см, а на некоторых опытных участках до 20 см. После засыпки дрен грунтом давление на фильтр достигало 0,04—0,08 МПа, а толщина фильтра уменьшалась в 3—4 раза. Толщина волокнистых фильтров из стеклохолстов ВВГ, ВВТ, ВВК для глубокого дренажа составляла от 3 до 5 мм (шесть — десять слоев холста), а для мелкого трубчатого дренажа 1—2 мм.

Закладка трубчатого дренажа на опытных участках выполнялась раздельным способом, полумеханизированным (дреноукладчиками



Д-658 и Д-659) и комплексно-механизированным (дреноукладчиками БШУ-4 и ДК-3,5) способами.

Методика исследований, используемая на опытных участках дренажа, состояла в следующем. На всех опытных участках в течение 3—6 лет непрерывно велись измерения расходов воды объемным способом из дрен и уровней грунтовых вод. На основании обработки опытного материала строились зависимости изменения дренажного стока из дрен с различными фильтрами во времени (одна из них показана на рис. 121). Видно, что в течение трех лет дрены

$q \cdot 10^{-3}, л/с$

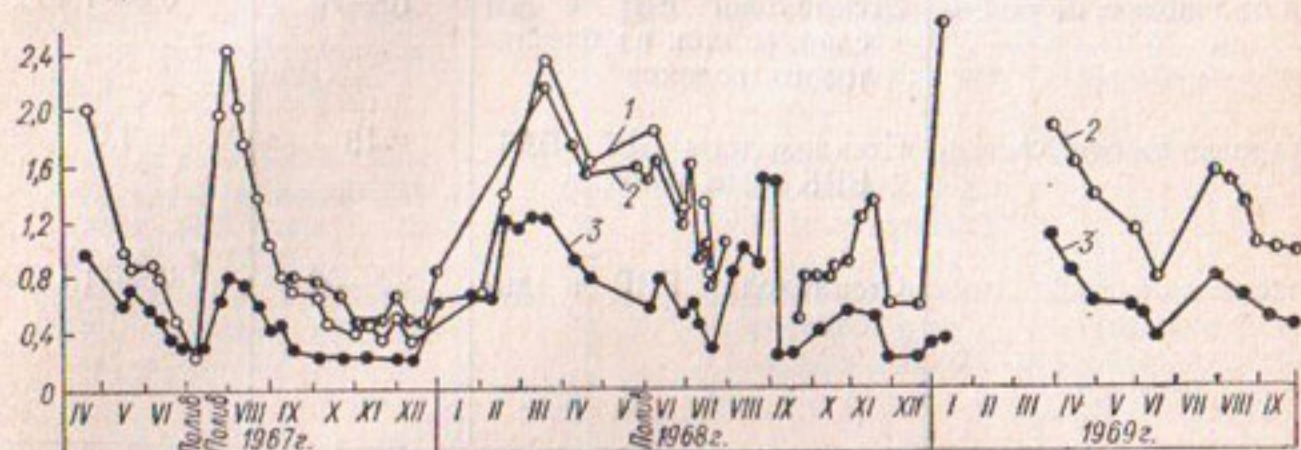


Рис. 121. Изменение удельных расходов дрен на опытном участке дренажа в Херсонской обл.:

1 — дрена № 36 с фильтром из базальтового и стеклянного волокон; 2 — дрена № 36 с фильтром из базальтового волокна; 3 — дрена № 40 с фильтром из песчано-гравийной смеси.

с волокнистыми фильтрами работают вполне удовлетворительно, а удельные расходы из указанных дрен даже больше, чем из дрен с песчано-гравийными фильтрами. Аналогичные результаты получены и на других опытно-производственных участках. Удовлетворительная работа дренажа с новыми фильтрами хорошо согласуется с данными о положении уровня грунтовых вод [99, 140], которые на большинстве участков понизились на 1—2,0 м, а минерализация грунтовых вод, сбрасываемых дренами, уменьшилась за два-три года в 2—4 раза по сравнению с первоначальной.

Кроме измерения расходов из дрен и уровней воды, на всех опытных участках один или два раза в год производились раскопка дрен и отбор проб фильтров с целью определения их фильтрационных свойств, объемной массы, пористости, деформаций, прочности, длины, диаметра, химического состава и внутренней структуры волокон. Затем полученные результаты сопоставлялись с первоначальными (исходными) величинами, определенными расчетным путем (по нашим зависимостям) или экспериментально перед закладкой фильтров с дренами в грунт. Результаты этих исследований по двенадцати опытно-производственным участкам дренажа приведены в табл. 54 и 55. Видно, что коэффициенты фильтрации и объемная масса отобранных из дрен фильтров после 2—6 лет непрерывной работы в различных грунтах и грунтовых водах практически не



Таблица 54. Фильтрационные свойства и объемная масса волокнистых фильтров после различных сроков службы в дренажах на опытных и производственных участках в зоне орошения Украинской ССР

| Объект                                                      | Фильтровый материал                                             | Продолжительность работы фильтра, мес | Коэффициент фильтрации, м/сут |                    |                                                 | Объемная масса фильтра, кг/м³ |                     |                                                        |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------|
|                                                             |                                                                 |                                       | исходный $K_{ф.и}$            | натурный $K_{ф.н}$ | $\frac{K_{ф.н} - K_{ф.и}}{K_{ф.и}} \cdot 100\%$ | исходный $\gamma_n$           | натурный $\gamma_n$ | $\frac{\gamma_n - \gamma_{и}}{\gamma_{и}} \cdot 100\%$ |
| Совхоз «Память Ильича» Херсонской обл.                      | Войлок из штапельного базальтового волокна (ТУ 611-215-71)      | 9                                     | 142,0                         | 147,0              | +6,3                                            | 224                           | 220                 | -1,8                                                   |
|                                                             |                                                                 | 15                                    | 142,0                         | 147,0              | +6,3                                            | 224                           | 220                 | -1,8                                                   |
|                                                             |                                                                 | 24                                    | 142,0                         | 129,0              | -9,1                                            | 224                           | 248                 | +10,0                                                  |
|                                                             |                                                                 | 36                                    | 142,0                         | 137,0              | -3,5                                            | 224                           | 254                 | +13,4                                                  |
|                                                             |                                                                 | 50                                    | 142,0                         | 142,6              | 0,0                                             | 224                           | 240                 | +7,1                                                   |
|                                                             |                                                                 | 60                                    | 142,0                         | 130,0              | -8,4                                            | 224                           | 250                 | +11,6                                                  |
|                                                             |                                                                 | 72                                    | 142,0                         | 131,0              | -7,6                                            | 224                           | 257                 | +14,2                                                  |
|                                                             |                                                                 |                                       |                               |                    |                                                 |                               |                     |                                                        |
| То же                                                       | Маты полужесткие стекловатные для строительства (ГОСТ 10499-67) | 15                                    | 81,2                          | 78,0               | -3,9                                            | 230                           | 224                 | -2,6                                                   |
|                                                             |                                                                 | 24                                    | 81,2                          | 76,0               | -7,2                                            | 230                           | 250                 | +8,7                                                   |
|                                                             |                                                                 | 36                                    | 81,2                          | 77,0               | -5,1                                            | 230                           | 291                 | +26,0                                                  |
|                                                             |                                                                 | 50                                    | 81,2                          | 86,4               | +6,4                                            | 230                           | 250                 | +8,7                                                   |
|                                                             |                                                                 | 60                                    | 81,2                          | 77,5               | -4,6                                            | 230                           | 250                 | +8,7                                                   |
|                                                             |                                                                 | 72                                    | 81,2                          | 77,0               | -5,1                                            | 230                           | 244                 | +6,7                                                   |
|                                                             |                                                                 | 24                                    | 190,0                         | 232,0              | +22,0                                           | 225                           | 236                 | +4,9                                                   |
|                                                             |                                                                 | 48                                    | 190,0                         | 200,0              | +5,3                                            | 225                           | 255                 | +13,0                                                  |
| Совхоз «Горняк» Днепропетровской обл.                       | Войлок из штапельного базальтового волокна (ТУ 611-215-71)      | 24                                    | 81,2                          | 98,0               | +20,7                                           | 230                           | 253                 | +10,0                                                  |
|                                                             |                                                                 | 36                                    | 81,2                          | 72,0               | -11,3                                           | 230                           | 250                 | +8,7                                                   |
|                                                             |                                                                 | 48                                    | 81,2                          | 76,0               | -6,4                                            | 230                           | 248                 | +7,7                                                   |
| Совхоз «Большевик» Херсонской обл.                          | Маты полужесткие стекловатные                                   | 24                                    | 81,2                          | 98,0               | +20,7                                           | 230                           | 253                 | +10,0                                                  |
|                                                             |                                                                 | 36                                    | 81,2                          | 72,0               | -11,3                                           | 230                           | 250                 | +8,7                                                   |
|                                                             |                                                                 | 48                                    | 81,2                          | 76,0               | -6,4                                            | 230                           | 248                 | +7,7                                                   |
| Населенный пункт Тарасовка Скадовского р-на Херсонской обл. | Маты полужесткие стекловатные для строительства (ГОСТ 10499-67) | 14                                    | 81,2                          | 80,0               | -1,3                                            | 230                           | 235                 | +2,2                                                   |
|                                                             |                                                                 |                                       |                               |                    |                                                 |                               |                     |                                                        |
|                                                             |                                                                 |                                       |                               |                    |                                                 |                               |                     |                                                        |
| Совхоз «50 лет Октября» Крымской обл.                       | То же                                                           | 20                                    | 81,2                          | 95,1               | +4,7                                            | 230                           | 240                 | +4,4                                                   |
|                                                             |                                                                 | 36                                    | 81,2                          | 84,0               | +3,4                                            | 230                           | 232                 | +0,9                                                   |
|                                                             |                                                                 | 48                                    | 81,2                          | 86,4               | +6,3                                            | 230                           | 236                 | +2,6                                                   |



| Объект                                 | Фильтровый материал                                             | Продолжительность работы фильтра, месяцы | Коэффициент фильтрации, м/сут |                    |                                           | Объемная масса фильтра, кг/м³ |                       |                                                    |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------|
|                                        |                                                                 |                                          | исходный $K_{ф.и}$            | натурный $K_{ф.н}$ | $\frac{K_{ф.н} - K_{ф.и}}{K_{ф.и}} 100\%$ | исходный $\gamma_{и}$         | натурный $\gamma_{н}$ | $\frac{\gamma_{н} - \gamma_{и}}{\gamma_{и}} 100\%$ |
| Совхоз «Молодая гвардия» Крымской обл. | Маты полужесткие стекловатные для строительства (ГОСТ 10499-67) | 20                                       | 86,0                          | 69,1               | -8,1                                      | 210                           | 240                   | +14,3                                              |
|                                        | Маты полужесткие стекловатные (ГОСТ 10499-67)                   | 36                                       | 103,0                         | 91,0               | -12,0                                     | 236                           | 248                   | +5,1                                               |
| Поселок Дмитровка Киевской обл.        | Маты полужесткие стекловатные для строительства (ГОСТ 10499-67) | 36                                       | 86,0                          | 84,5               | -1,8                                      | 210                           | 213                   | +1,4                                               |
|                                        | Маты полужесткие стекловатные для строительства (ГОСТ 10499-67) | 60                                       | 81,2                          | 80,0               | -1,5                                      | 230                           | 263                   | +14,3                                              |

Примечание. Приведенные данные являются средними для 3—12 проб фильтров.

отличаются от исходных величин. В данном случае отклонения в объемном весе и коэффициентах фильтрации для фильтров из матов и войлоков из базальтового и стеклянного волокон не превышают 15%, т. е. находятся в пределах точности измерения этих характеристик при использовании фильтров до закладки их в грунт. При укладке дрен с фильтрами из стеклохолстов ВВГ, ВВТ в водонасыщенные разжиженные грунты наблюдалось уменьшение коэффициента фильтрации в 2—6 раз, т. е. в этом случае коэффициент фильтрации фильтра из стеклохолста уменьшался до 130—140 м/сут и в десятки и сотни раз превышал коэффициент фильтрации дренируемого грунта, что обеспечивает водозахватную способность дрен и понижение уровня грунтовых вод.

Тот факт, что рассматриваемые фильтры не подвергаются опасной механической и химической коагуляции, подтверждают резуль-



Таблица 55. Коэффициент фильтрации волокнистых фильтров после различных сроков службы в дренажах на опытных участках в зоне избыточного увлажнения Украинской ССР

| Объект                                      | Фильтровый материал и срок службы                                      | Коэффициент фильтрации, м/сут |                       |                                       |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
|                                             |                                                                        | исходный<br>$K_{ф.и}$         | натурный<br>$K_{ф.н}$ | $\frac{K_{ф.и}}{K_{ф.н}} \cdot 100\%$ |
| Совхоз «Комсомолец» Житомирской обл.        | Стеклохолст ВВТ в один слой. Заложен в 1970 г., отобран в 1973 г.      | 225,0                         | 35,0                  | 6,40                                  |
| Колхоз «Россия» Черновицкой обл.            | Стеклохолст ВВГ в пять сложенных. Заложен в 1968 г., отобран в 1973 г. | 250,0                         | 125,0                 | 2,00                                  |
| То же                                       | Базальтовое волокно Янова Долина. Заложен в 1968 г., отобран в 1973 г. | 630,0                         | 620,0                 | 1,02                                  |
| Колхоз «Ленінським шляхом» Житомирской обл. | Стеклохолст ВВГ. Заложен в 1972 г., отобран в 1973 г.                  | 225,0                         | 102,0                 | 2,20                                  |
| С. Гадзенка Житомирской обл.                | Стеклохолст ВВГ. Заложен в 1970 г., отобран в 1973 г.                  | 250,0                         | 126,0                 | 1,98                                  |
| С. Голубиевка Житомирской обл.              | Стеклохолст ВВГ. Заложен в 1972 г., отобран в 1974 г.                  | 220,0                         | 131,0                 | 1,70                                  |
| То же                                       | Стеклохолст ВВТ. Заложен в 1972 г., отобран в 1974 г.                  | 300,0                         | 168,0                 | 1,80                                  |
| » »                                         | Стеклохолст ВВК. Заложен в 1972 г., отобран в 1974 г.                  | 220,0                         | 103,0                 | 2,10                                  |

Примечание. Приведенные данные являются средними для 3—5 проб фильтров, отобранных из разных дрен и участков по периметру дрена.

таты исследований образцов фильтров под микроскопом и при определении химического состава волокон фильтров (см. табл. 30), что хорошо согласуется с результатами исследований, полученных нами на моделях в лабораторных условиях при различных режимах фильтрации [34, 97, 104].

Были исследованы также химический состав, внутренняя структура, прочность, длина и диаметр волокон фильтров, отобранных на указанных выше опытных участках дренажа. Результаты этих исследований приведены в III главе и табл. 32, а также в работах [34, 35, 104]. Они свидетельствуют, что химический состав, внутренняя структура и прочность волокон фильтров не изменились при длительном действии (от 2 до 7 лет) на них щелочных, сульфатно-хлоридных, хлоридно-сульфатных грунтовых вод, не содержащих железистых соединений, с минеральным остатком до 20 г/л и величиной  $pH = 7 \div 8,5$ , нейтральных и слабокислых грунтовых вод ( $pH = 5,5 \div 7,0$ ). Таким образом, опытно-производственная проверка показала, что дренажи, оборудованные фильтрами из стеклянного и базальтового волокон, в различных грунтовых и гидрохимических условиях, широко распространенных в практике мелио-



ративного и гидротехнического строительства, работают вполне удовлетворительно, а сами фильтры достаточно водопроницаемы, не кольматируются, надежно защищают дрена от заиливания и химически устойчивы. Выполненные в 1970—1973 гг. натурные наблюдения на опытной плотине и обследование ряда производственных плотин показали, что крепления из монолитных и сборных железобетонных плит, уложенные на фильтровые защитные подготовки из волокнистых материалов и изделий и проработавшие в течение 2—6 лет при действии волн высотой до 1,5 м, находятся в хорошем состоянии. По имеющимся у нас сведениям ряда проектных, строительных и эксплуатационных организаций аналогичные результаты наблюдаются и на других плотинах и защитных дамбах.

При обследовании плотин в нескольких местах в случае раскрытия швов между плитами более 2 см, где отсутствовали защитные прочные фильтровые оболочки из стеклосеток ССТЭ-6 и СС-1, наблюдался вынос волокон из стекломатов, т. е. картина, аналогичная получаемой в опытах в волновом лотке при ширине раскрытых швов от 2 до 5 см и не защищенных стеклосетками фильтров из стекломатов. Поэтому фильтры из стекломатов и войлоков необходимо защищать стеклосетками ССТЭ-6 и СС-1, т. е. придерживаться рекомендаций, предложенных по конструкциям фильтров под креплениями (см. рис. 115 и 116) и в ОСТ 33-10-73 [82].

Опыт эксплуатации и опытно-производственная проверка работы креплений из монолитного железобетона и сборных железобетонных плит, уложенных на фильтры из стеклянного и базальтового волокон, показали, что они надежно защищают грунт основания напорных откосов земляных сооружений от контактного размыва фильтрационным и поверхностным (волновым, пульсационным) потоками, а при действии одного и другого одновременно снимают фильтрационное давление на крепление или сооружение.

### **§ 5. Экономическая эффективность применения волокнистых фильтров и оборудованных ими дренажей**

Расчет экономической эффективности внедрения строительными организациями Министерства мелиорации и водного хозяйства УССР волокнистых фильтров из стеклянного волокна (матов полужестких стекловатных для строительства, ГОСТ 10499-67 и стеклохолста ВВГ, МРТУ 6-11-3-64) для глубокого горизонтального трубчатого дренажа выполнен согласно инструкции Госстроя СССР (СН 248-63).

Применение волокнистых фильтров из полужестких стекловатных матов с объемным весом 50 кг/м<sup>3</sup> вместо песчано-гравийных фильтров не требует дополнительных капитальных затрат и не изменяет фондоемкости, поэтому расчет годовой экономической эффективности можно выполнять методом «на разность» по формуле

$$\mathcal{E}_r = A(C_1 - C_2), \quad (VI.1)$$



где  $A$  — годовой объем работ по строительству дренажа с фильтрами из стекловатных матов;  $C_1$  и  $C_2$  — стоимость соответствующих материалов по исходному уровню и новой технике.

За исходный уровень принята существующая конструкция горизонтального дренажа с однослойным фильтром из крупнозернистых песков. При определении стоимости  $C_1$  и  $C_2$  расчет выполнялся на основе единых районных расценок (ЕРЕР) и ценника сметных цен на местные строительные материалы для Северо-Крымского канала, Краснознаменской, Татарбунарской систем, для зоны орошения в районе канала Днепр — Кривой Рог и Ингулецкой оросительной системы.

Вследствие расчетов получены следующие результаты.

1. Общая стоимость укладки  $1 \text{ м}^3$  дренажного фильтра из полужестких стекловолоконных матов с объемной массой  $50 \text{ кг/м}^3$  составляет 24 р. 70 к., а обмотка  $1 \text{ м}^2$  фильтра стеклохолстом марки ВВГ толщиной 1 мм (в два слоя) — 0,198 р.

Расход фильтрового материала на устройство погонного метра дренажа с фильтрами из стекловолоконных матов для наиболее распространенных диаметров труб:

для  $d_T = 100 \text{ мм}$  — маты полужесткие стекловатные —  $0,05 \text{ м}^3$ ; стеклохолст ВВГ —  $1,0 \text{ м}^2$ . Стоимость устройства фильтра на один погонный метр дренажа при этом  $C_2 = 0,05 \times 24,7 \div 1,0 \times 0,198 = 1 \text{ р. } 43 \text{ к.}$ ;

для  $d_T = 150 \text{ мм}$  — маты полужесткие стекловатные —  $0,1 \text{ м}^3$ ; стеклохолст ВВГ —  $1,2 \text{ м}^2$ . Стоимость устройства фильтра на один погонный метр дренажа при этом  $C_2 = 0,10 \times 24,7 \div 1,2 \times 0,198 = 2 \text{ р. } 68 \text{ к.}$

2. В соответствии со сметными ценами на местные строительные материалы для зоны строительства Северо-Крымского канала, Татарбунарской и Краснознаменской оросительных систем стоимость  $1 \text{ м}^3$  песчано-гравийного фильтрового материала в среднем составляет 10 р. 72 к., а скорректированная стоимость с учетом сметной цены на крупнозернистые пески для устройства дренажа — 11 р. 45 к.

Расход фильтрового материала (крупнозернистого песка) в открытые траншеи (при строительстве дренажа отдельным способом — методом «полки») равен для труб диаметром  $d_T = 100 \text{ мм}$   $0,27 \text{ м}^3$  на погонный метр дренажа, для труб диаметром  $d_T = 150 \text{ мм}$  —  $0,4 \text{ м}^3$ . При этом стоимость устройства песчаного фильтра на погонный метр дрены составит:

для труб  $d_T = 100 \text{ мм}$  —  $C_1 = 11,45 \times 0,27 = 3 \text{ р. } 09 \text{ к.}$ ;

для труб  $d_T = 150 \text{ мм}$  —  $C_1 = 11,45 \times 0,4 = 4 \text{ р. } 58 \text{ к.}$

Для расчета принято, что в 50% дренажа используются трубы диаметром 100 мм и в 50% — диаметром 150 мм.

Экономический эффект от применения стекломатов со стеклохолстом вместо песчано-гравийных фильтров в расчете на погонный метр дренажа с применением труб диаметром  $d_T = 100 \text{ мм}$  составляет

$$C_1 - C_2 = 3,09 - 1,43 = 1 \text{ р. } 66 \text{ к.,}$$



а для погонного метра дренажа с применением труб диаметром  $d_r = 150$  мм

$$C_1 - C_2 = 4,58 - 2,68 = 1 \text{ р. } 90 \text{ к.}$$

В 1973 г. Минводхозом УССР построено 604 тыс. погонных метров закрытого горизонтального трубчатого дренажа в мокрых грунтах с фильтрами из стекловолоконных матов. Из них 302 тыс. — с диаметром труб 100 мм и 302 тыс. — с диаметром труб 150 мм.

При замене в 1973 г. песчаных фильтров фильтрами из стекловолоконных матов с объемным весом  $50 \text{ кг/м}^3$  и оболочкой из стеклохолста ВВГ получена экономия в сумме:

для труб диаметром 100 мм

$$\mathcal{E}_r = A (C_2 - C_1) = 302 (3,09 - 1,43) = 501,32 \text{ тыс. р.};$$

для труб диаметром 150 мм

$$\mathcal{E}_r = A (C_2 - C_1) = 302 (4,58 - 2,68) = 573,8 \text{ тыс. р.}$$

Общий экономический эффект в 1973 г. от внедрения в дренажах фильтров из стекловолоконных материалов составил 1 млн. 75 тыс. р.

По данным треста Днепроводстрой Минводхоза УССР, стоимость устройства одного погонного метра дренажа с фильтром из прошитых матов из базальтового волокна (ТУ 33 УССР 1-72) вместо песчано-гравийных составляет 3 р. 33 к. Следовательно, экономическая эффективность в расчете на 1 погонный метр дренажа с фильтром из базальтового волокна для трубы диаметром 150 мм составляет  $C_1 = 4,58 \div 3,33 = 1,25$  р., а на гектар дренируемой площади — 50 р.

Наряду с отдельным и полумеханизированным способами строительства дренажа с новыми фильтрами в зоне орошения Украинской ССР начал широко применяться комплексно-механизированный способ укладки глубокого трубчатого дренажа дреоукладчиками Д-659, ДК-3,5 и другими, особенно из витых поливинилхлоридных труб с фильтром из стеклохолстов [5, 108, 124].

Применение этого способа для укладки дрена из ПВХ труб с фильтрами из стеклохолста вместо полумеханизированного из гончарных труб с фильтровыми оболочками с песчаной обсыпкой, как показали расчеты, выполненные Институтом строительного производства Госстроя УССР (НИИСП) и строительными организациями Минводхоза УССР, позволило уменьшить стоимость одного погонного метра дренажа на 2 р. 27 к.

Расчет годовой экономической эффективности при комплексно-механизированном способе укладки дрена из ПВХ труб с волоконным фильтром в трестах системы Минводхоза УССР выполняется НИИСП в сравнении с традиционной укладкой дрена из гончарных труб по приведенным затратам на основании СН 423-71 по формуле

$$\mathcal{E} = A (C_1 - C_2) + E_n (K_1 - K_2),$$



где  $\mathcal{E}$  — экономический эффект;  $A$  — годовой объем внедрения дренажа из ПВХ труб с фильтром из стеклохолста;  $C_1$  и  $C_2$  — стоимость единицы продукции сравниваемых вариантов, по исходному уровню и новой технике;  $E_n$  — коэффициент эффективности, 0,12;  $K_1 - K_2 = \Delta K$  — разность балансовых стоимостей машин, используемых в сравниваемых вариантах.

Снижение себестоимости на единицу продукции (1,0 км дренажа) определялось в соответствии с актами внедрения комплексно-механизированного способа строительно-монтажным управлением (СМУ-91) Крымканалстроя Минводхоза УССР и составило 2,27 тыс. р., что практически совпадает со средним удельным снижением себестоимости, равной 2,26 тыс. р. / км, полученной четырьмя трестами Минводхоза УССР в первый год внедрения этого способа. Это дало основание использовать полученную величину удельного снижения себестоимости (2,27 тыс. р./км) в качестве эталона для всех строительных организаций Министерства мелиорации и водного хозяйства УССР, внедрявших данный способ устройства дренажа из ПВХ труб с фильтром из стеклохолста в 1977 г. Объем выполненных работ по укладке дренажа этим способом по десяти трестам Минводхоза УССР в 1977 г составил 457,6 км.

Балансовые стоимости комплектов машин, используемых при традиционном и новом способах, приводятся к одному (бóльшему) темпу производства работ.

Ведущей машиной в новом способе является дреноукладчик, который за смену укладывает дренаж длиной 120—130 м (принимается в расчет 120 м/см).

Темп разработки траншей с откосами при традиционном полумеханизированном способе (укладка гончарных труб на «полку») одноковшовым экскаватором-драглайном с ковшом емкостью 1 м<sup>3</sup> составляет 40 м за смену (объем траншей около 16 м<sup>3</sup>/пог. м, производительность драглайна в частично-переувлажненных грунтах 660 м<sup>3</sup>/см).

Для обеспечения темпа работ, равного темпу работы дреноукладчика, необходимы три одноковшовых экскаватора-драглайна.

Для снятия растительного слоя и обратной засыпки траншей при традиционном и новом способах требуется два бульдозера на С-100.

Кроме того, для уплотнения грунта траншей традиционным способом необходим один прицепной кулачковый каток, работающий с трактором С-100.

Приняты в расчет следующие стоимости машин:

|                                        |                |
|----------------------------------------|----------------|
| Дреноукладчик Д-659А                   | — 40 тыс. р.   |
| Дреноукладчик ДК-3,5 на базе ЭТУ-354А  | — 11,0 тыс. р. |
| Экскаватор-драглайн — 1 м <sup>3</sup> | — 13,1 тыс. р. |



Таблица 56. Расчет экономической эффективности применения новых фильтров под креплением напорного откоса из монолитных железобетонных плит на земляной плотине Маячковского водохранилища (на 100 м<sup>2</sup>)

| Рабочий процесс                                                                | Фильтр из полужестких стекло-<br>ватных матов в два слоя, толщи-<br>ной 10 см |               |                   |                   |                          | Щебеночный фильтр в два слоя,<br>толщиной 35 см |               |                   |                   |                          |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------------------------------|---------------|-------------------|-------------------|--------------------------|
|                                                                                | Трудовые за-<br>траты, чело-<br>веко-дни                                      | Стоимость, р. | Затраты, р.       |                   |                          | Трудовые за-<br>траты, чело-<br>веко-дни        | Стоимость, р. | Затраты, р.       |                   |                          |
|                                                                                |                                                                               |               | на мате-<br>риалы | на меха-<br>низмы | на зарабо-<br>тную плату |                                                 |               | на мате-<br>риалы | на меха-<br>низмы | на зарабо-<br>тную плату |
| Транспортиров-<br>ка материалов<br>от строитель-<br>ной площадки<br>до плотины | —                                                                             | 7,28          | —                 | —                 | —                        | —                                               | 65            | —                 | —                 | —                        |
| Устройство<br>фильтра                                                          | 1,7                                                                           | 226,00        | 189               | 2                 | 55                       | 53                                              | 424           | 413               | 8                 | 3                        |

Таблица 57. Технико-экономические показатели применения новых фильтров под креплениями напорных откосов из монолитных железобетонных плит на земляных плотинах Крымской обл.

| Рабочий процесс                                  | Первоначальный проект                     |                           |                                         | Измененный проект                              |                           |                                         | Экономичес-<br>кий эффект<br>на 1 м <sup>2</sup> отко-<br>сов, р. |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
|                                                  | Площадь<br>крепле-<br>ния, м <sup>2</sup> | Общая<br>стоимость,<br>р. | Стои-<br>мость<br>1 м <sup>2</sup> , р. | Пло-<br>щадь<br>крепле-<br>ния, м <sup>2</sup> | Общая<br>стоимость,<br>р. | Стои-<br>мость<br>1 м <sup>2</sup> , р. |                                                                   |
| Крепление верхо-<br>вого откоса в<br>плотине № 1 | 37 200                                    | 459 441                   | 12—37                                   | 37 200                                         | 307 212                   | 8—52                                    | 4—05                                                              |
| То же в плоти-<br>не № 2                         | 48 670                                    | 599 708                   | 12—07                                   | 48 670                                         | 402 104                   | 8—28                                    | 3—79                                                              |
| То же в плоти-<br>не № 3                         | 71 700                                    | 869 239                   | 10—76                                   | 71 700                                         | 588 565                   | 7—24                                    | 3—52                                                              |
| Итого                                            | 157 570                                   | 1 928 388                 | 12—12                                   | 157 570                                        | 1 297 881                 | 8—18                                    | 4—00                                                              |

Бульдозер на С-100

— 6,25 тыс. р.

Каток кулачковый

— 3,8 тыс. р.

Трактор С-100

— 5,5 тыс. р.

Грейдер прицепной

— 1,2 тыс. р.

Дреноукладчик ЭТЦ-202

— 15,0 тыс. р.

$K_1 = 13,1 \times 3 + 6,25 \times 2 + 3,8 + 5,5 = 62,1$  тыс. р.

при Д-659

$K'_2 = 40,0 + 6,25 \times 2 = 53,0$  тыс. р.

при ДК-3,5

$K''_2 = 11 + 6,25 \times 2 = 23,5$  тыс. р.

при ЭТЦ 252

$K'''_2 = 15,0 + 6,25 \times 2 = 27,5$  тыс. р.

Годовой экономический эффект от внедрения нового способа по приведенным затратам на одиннадцати объектах внедрения систем Минводхоза УССР в 1977 г. составил 1 млн. 61 тыс. р.



В последующие годы этот показатель возрастал с увеличением объема производства длиномерных витых ПВХ труб с применением механизированной навивки фильтра [5, 106, 124].

Расчет экономической эффективности применения новых фильтров и оборудованного ими дренажа в низовых откосах земляных плотин, при дренировании населенных пунктов и под креплениями напорных откосов земляных плотин и защитных дамб выполнялся нами и рядом проектных и строительных организаций [14, 130] Минводхоза УССР, Министерства металлургического строительства УССР, Минпромстроя СССР, Минтяжстроя СССР и Минспецстроя УССР. Для горизонтального глубокого трубчатого дренажа при дренировании территорий населенных пунктов он выполнялся по методике, приведенной выше, а при замене под креплениями напорных откосов и в дренажах низовых откосов плотин песчано-гравийных фильтров волокнистыми — на основании смет и фактических затрат при строительстве для каждого объекта. Соответствующие расчеты для некоторых объектов приведены в табл. 56—58. Видно, что замена под креплениями напорных откосов и в трубчатых дренажах низовых откосов земляных плотин песчано-гравийных фильтров филь-

Таблица 58. Техничко-экономические показатели применения новых фильтров в дренажах низовых откосов на земляных плотинах Крымской обл.

| Рабочий процесс                                          | Первоначальный проект      |                     |                               | Измененный проект          |                     |                               | Экономический эффект на погонный метр, р. |
|----------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|
|                                                          | Количество погонных метров | Общая стоимость, р. | Стоимость погонного метра, р. | Количество погонных метров | Общая стоимость, р. | Стоимость погонного метра, р. |                                           |
| Устройство дренажной ленты и отводных дрен в плотине № 1 | 1850                       | 41 714              | 22—55                         | 1850                       | 16 434              | 8—88                          | 13—67                                     |
| То же в плотине № 2                                      | 2950                       | 71 196              | 24—13                         | 2950                       | 26 758              | 9—07                          | 15—06                                     |
| Итого                                                    | 4800                       | 112 910             | 23—63                         | 4800                       | 43 192              | 9—01                          | 14—52                                     |

рами из базальтового и стеклянного волокон позволяет уменьшить стоимость строительства фильтров и дренажа на 30—50%.

Общая экономическая эффективность внедрения проектными и строительными организациями различных министерств и ведомств новых конструкций фильтров и дренажа на мелиоративных системах, в гидротехнических сооружениях и других объектах водохозяйственного, коммунального и промышленного строительства в Украинской ССР за 1967—1977 гг. составила около 12 млн. р.

### Выводы

1. На основании результатов исследований, приведенных в предыдущих главах, результатов опытно-промышленной и промышлен-



ной проверки, а также обобщения опыта строительства новых фильтров и оборудованного ими дренажа предложены конструкции глубокого и мелкого трубчатого дренажа с минерально-волокнуистыми фильтрами; конструкции трубчатого дренажа для низовых откосов земляных плотин, для дренирования и защиты территорий населенных пунктов и промышленных площадок; конструкции волокнуистых фильтров под креплениями напорных откосов земляных плотин и защитных дамб.

2. Разработаны способы и технология укладки рекомендуемых фильтров и оборудованных ими трубчатых дренажей различного назначения, предложена установка [106] по навивке фильтров на дренажные трубы и даны рекомендации по расходу фильтрового материала для различных конструкций фильтров и дренажей.

3. Опытно-производственная проверка работы минерально-волокнуистых дренажных фильтров в трубчатых дренажах мелиоративных систем и других дренажных устройствах показала, что их фильтрационные характеристики (объемный вес, пористость, прочность, химический состав волокон) после 2—7 лет работы в различных связных (с коэффициентом пластичности от 6 до 40) и несвязных грунтах (с коэффициентом разнотернистости до 7) и агрессивных водах (слабокислых и слабощелочных с величиной  $pH = 4 \div 9$  и минеральным остатком до 20 г/л), характерных для зоны орошаемого земледелия и зоны избыточного увлажнения Украинской ССР, практически не отличаются от исходных величин.

4. Как показала обширная опытнo-производственная проверка, дренажи, оборудованные новыми фильтрами, и крепления, уложенные на волокнуистые фильтры, работают вполне удовлетворительно. Фильтры достаточно водопроницаемы, не кольматируются, надежно защищают дрены от заиления и земляные откосы плотин и защитных дамб от выноса из них грунта фильтрационным и поверхностным потоками.

5. Опыт внедрения новых фильтров в трубчатых дренажах и под креплениями откосов земляных плотин вместо песчано-гравийных показал, что в этом случае расход фильтрового материала сокращается по объему в несколько раз, по весу в десятки и сотни раз, в несколько раз повышается производительность труда, сокращаются сроки строительства дренажных устройств и самих сооружений, высвобождается большое количество транспортных средств по доставке фильтровых материалов на объекты строительства, создаются условия для полной механизации всех процессов по изготовлению, монтажу и укладке фильтров и оборудованных ими дренажей и повышается качество строительства фильтров и дренажей. Все это позволяет уменьшить стоимость строительства дренажа на 20—50%.

6. Разработанные конструкции фильтров и дренажей, способы и технология их укладки широко используются проектными и строительными организациями Министерств мелиорации и водного хозяйства СССР и УССР, Министерства энергетики и электрификации



СССР, Министерства коммунального хозяйства УССР, Министерства черной металлургии УССР и целого ряда других министерств и ведомств. За 1967—1977 гг. строительными организациями упомянутых выше министерств построено 7000 км на площади около 140 000 га глубокого горизонтального трубчатого дренажа с новыми фильтрами в зоне орошаемого земледелия, около 200 000 км на площади 300 000 га мелкого трубчатого дренажа в зоне избыточного увлажнения, дренировано более 100 населенных пунктов. Новые фильтры успешно внедрены под креплениями более чем на 100 земляных плотинах, в защитных дамбах в гидротехнических сооружениях горно-обогатительных комбинатов на площади свыше 1 млн. м<sup>2</sup>.

Выполненный нами и рядом проектных и строительных организаций расчет экономической эффективности свидетельствует о том, что такие объемы внедрения новых фильтров и оборудованных ими дренажей позволили получить экономический эффект в размере почти 12 млн. р.

7. В 1969—1973 гг. в системе Министерства мелиорации и водного хозяйства УССР построены две промышленные установки по производству разработанных нами фильтров из базальтового волокна.

Для удовлетворения быстро растущих потребностей строительства дренажей с новыми фильтрами и для более быстрого и широкого их внедрения в народное хозяйство необходимо на Украине и в других республиках Советского Союза расширить выпуск на ряде действующих предприятий и построить новые заводы или установки для производства в достаточном количестве новых фильтровых материалов и изделий из базальтового, стеклянного и полимерного волокон.

8. Разработанные конструкции, методы расчета волокнистых фильтров и оборудованных ими дренажей и предложенные способы их укладки создали условия для научно-технического прогресса в области мелиоративного и гидротехнического строительства.

Предложенные конструкции дренажных фильтров и дренажей с новыми фильтрами вошли в нормативный документ «Временные технические указания по проектированию фильтров из искусственных минеральных волокнистых материалов в дренажах мелиоративных систем и гидротехнических сооружениях» [95] и в республиканский и общесоюзный отраслевые стандарты ОСТ 33-10-73 [82].



## СПИСОК ЦИТИРОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов С. К.* Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве.— М. : Стройиздат, 1967.— 239 с.
2. *Аверьянов С. Ф.* Горизонтальный дренаж при борьбе с засолением орошаемых земель.— М. : Изд-во АН СССР, 1959.— 84 с.
3. *Антонов В. И.* Пластмассовый дренаж.— М. : Колос, 1969.— 112 с.
4. *Аравин В. И., Нумеров С. Н.* Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде.— М.; Л. : Гостехиздат, 1953.— 616 с.
5. *Артамановский О. Ю., Осипчук Л. Н.* Устройство трубчатого дренажа в неустойчивых водонасыщенных грунтах.— Гидротехника и мелиорация, 1973, № 7, с. 60—62.
6. *Асланова М. С.* Волокно, нити и ткани из стекла.— М. : Гизлегпром, 1945.— 92 с.
7. *Асланова М. С.* Влияние гидрофобизации поверхности стеклянных волокон на их свойства.— В кн.: Химическая обработка поверхности стеклянного волокна. М., 1966, с. 10—15.
8. *Асланова М. С.* Микроструктура и свойства стеклянных волокон различных стеклообразных систем.— В кн.: Материалы первого Всесоюз. симпоз. по стеклян. волокну. Москва, 7—9 февр. 1967 г. М., 1967, с. 8—25.
9. *Белецкий Б. Ф.* Воздействие ливня на сборную железобетонную облицовку канала в период ее устройства.— Гидротехн. стр-во, 1961, № 9, с. 41.
10. *Беляшевский Н. Н., Пивовар Н. Г., Бугай Н. Г.* Исследование контактной устойчивости обратных фильтров, уложенных под дренированным бетонным креплением, под воздействием пульсации давления.— В кн.: Тр. координац. совещ. по гидротехнике, 1963, вып. 7, с. 47—67.
11. *Беляшевский Н. Н., Бугай Н. Г., Топчий С. Л.* Исследование пульсирующей фильтрации и контактной устойчивости песчано-гравийных фильтров гидротехнических сооружений.— Гидротехника и гидравлика, 1973, № 16, с. 85—92.
12. *Бессонов Н. Д.* Гидравлические исследования фильтров блочного типа.— Гидротехника и мелиорация, 1961, № 4, с. 39—47.
13. *Бехбудов А. К., Айвазов А. М.* Горизонтальный трубчатый дренаж с фильтром из искусственных материалов.— Гидротехника и мелиорация, 1977, № 7, с. 89—94.
14. *Босак В. Д.* Фильтры из искусственных материалов в гидротехническом строительстве.— Пром. стр-во и инж. сооружения, 1974, № 1, с. 23—24.
15. *Бочеввер Ф. М., Алексеев В. С.* Оценка сопротивления водозаборных скважин по опытным и эксплуатационным откачкам.— Разведка и охрана недр, 1965, № 3, с. 39—45.
16. *Бугай Н. Г.* Исследование пульсации давления в слоях обратного фильтра.— Тр. координац. совещ. по гидротехнике, 1966, вып. 25, с. 14—22.
17. *Бугай Н. Г., Калантыренко И. И.* Устойчивость майкопских и сарматских глин на контакте с обратными фильтрами.— Мелиорация и вод. хоз-во, 1969, № 11, с. 95—102.
18. *Бугай Н. Г., Пивовар Н. Г.* Механическая кольматация волокнистых фильтров, работающих в разжиженных и неструктурных грунтах.— Мелиорация и вод. хоз-во, 1973, № 27, с. 95—102.



19. Бугай Н. Г. Размеры пор в волокнистых фильтрах.— Мелиорация и вод. хоз-во, 1974, № 29, с. 94—101.
20. Бугай Н. Г., Пивовар Н. Г. Расчет оптимальной перфорации дренажных труб с фильтрами из стеклохолста в различных по водопроницаемости грунтах.— Мелиорация и вод. хоз-во, 1976, № 38, с. 50—57.
21. Бугай Н. Г., Леонович Г. В., Пивовар Н. Г. Аналитическое определение оптимальной перфорации совершенной подрусовой дрены, оборудованной волокнистым фильтром.— Гидромеханика, 1976, № 33, с. 40—46.
22. Бугай Н. Г., Пивовар Н. Г., Фридрихсон В. Л. Исследование деформации, фильтрационных свойств и колюматации фильтров из стеклянных и базальтовых холстов.— Мелиорация и вод. хоз-во, 1977, № 41, с. 71—75.
23. Ведерников В. В. Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа.— М.; Л.: Госстройиздат, 1939.— 248 с.
24. Веригин Н. Н. Колюматация призабойной зоны скважин.— Изв. АН СССР. Прикл. механика и теорет. физика, 1964, № 2, с. 74—81.
25. Виленский В. М. Исследование свойств стеклянного полидисперсного фильтра методом пропрессовывания газа.— Журн. прикл. химии, 1965, № 6, с. 1285—1290.
26. Временные указания по строительству горизонтального закрытого дренажа глубокого заложения из витых поливинилхлоридных труб: РСН 277-75. [Утв. Гос. ком. Совета Министров УССР по делам стр-ва].
27. Гаврилко В. М. Фильтры из стеклотканей и их применение для целей изысканий.— М.; Л.: Госэнергоиздат, 1958.— 47 с.
28. Гаврилко В. М. Фильтры водозаборных, водопонижительных и гидрогеологических скважин.— М.: Госстройиздат, 1962.— 400 с.
29. Гаркуша Н. А. Мелиораторы Украины в борьбе за технический прогресс и высокие урожаи.— Гидротехника и мелиорация, 1976, № 5, с. 20—29.
30. Гинзбург С. С., Корелицкая О. М. Применение фильтровальных тканей и стекловолокна в цинкобелительном производстве.— Хим. пром-сть, 1956, № 7, с. 429—431.
31. Давыдов Г. М., Усенко И. С. Промышленное использование петруггического сырья Украины.— Киев: Наук. думка, 1959.— 244 с.
32. Дегтярев Б. М., Коринченко И. В. Сборные дренажи из иористых бетонных труб.— М.: ВНИИВОДГЕО, 1968.— 32 с.
33. Дружинин Н. И. Метод электродинамических аналогий и его применение при исследовании фильтрации.— М.; Л.: Госэнергоиздат, 1956.— 346 с.
34. Дубровский В. А., Пивовар Н. Г., Рычко В. А. О химической стойкости фильтров из стеклянного и базальтового волокна в дренажах мелиоративных систем.— Гидротехника и мелиорация, 1969, № 1, с. 80—87.
35. Дубровский В. А., Махова М. Ф., Рычко В. А. Некоторые области применения базальтового штапельного волокна.— В кн.: Волокнистые материалы из базальтов Украины. Киев: Техніка, 1971, с. 20—28.
36. Духовный В. А. Орошение и освоение Голодной степи.— М.: Колос, 1973.— 240 с.
37. Жилин Г. В., Коньев Е. М., Соколов Ю. А. Механизированная закладка дренажа из пластмассовых труб.— Гидротехника и мелиорация, 1967, № 3, с. 69—77.
38. Жужиков В. А. Фильтрование.— М.: Химия, 1968.— 411 с.
39. Загуменный А. И., Коротков П. А., Серебрянников Ф. В. Опыт применения закрытого дренажа в Голодной степи.— Гидротехника и мелиорация, 1969, № 1, с. 89—95.
40. Зак А. Ф. Физико-химические свойства стеклянного волокна.— М.: Ростехиздат, 1962.— 224 с.
41. Защита территорий от затопления и подтопления / С. К. Абрамов, В. П. Недрига, А. В. Романов, Е. М. Селюк — М.: Госстройиздат, 1961.— 423 с.
42. Зубец В. М., Мурашко А. И. Борьба с заилением закрытого трубчатого дренажа.— Гидротехника и мелиорация, 1962, № 9, с. 21—33.
43. Зубец В. М., Мурашко А. И. Опыт строительства пластмассового дренажа в Белоруссии.— Гидротехника и мелиорация, 1965, № 11, с. 20—29.



44. *Избаш С. В.* Фильтрационные деформации грунта.— Изв. ВНИИ по гидротехнике, 1933, № 10, с. 189—219.
45. *Инструкция по проектированию оросительных систем. Ч. 8. Дренаж на орошаемых землях : ВСН-П-8—74. Утв. Минводхозом СССР по согласованию с Госстроем СССР.— Введ. 01.04.75.*
46. *Истомина В. С.* Фильтрационная устойчивость грунтов.— М. : Госстройиздат, 1957.— 296 с.
47. *Истомина В. С., Буренкова В. В., Мишурова Г. В.* Рекомендации по подбору фильтров в плотинах из крупнообломочных материалов с глинистым ядром или экраном.— М. : ВНИИводоснабжения, канализации, гидротехн. сооружений и инж. гидрогеологии, 1970.— 40 с.
48. *Казаков В. С., Томин Е. Д.* Механизация строительства закрытого дренажа на осушаемых и орошаемых землях.— М. : Россельхозиздат, 1969.— 134 с.
49. *Казаков В. С., Нетребя Н. Н., Мясков А. В.* Дренажные трубопроводы с водоприемно-соединительными устройствами.— Гидротехника и мелиорация, 1976, № 4, с. 68—72.
50. *Ландер В. Ф., Низовкин Г. А., Овчинников Л. Ф.* Трубофильтры для закрытого дренажа.— Гидротехника и мелиорация, 1972, № 1, с. 65—70.
51. *Лейбензон Л. С.* Собрание трудов.— М. : Изд-во АН СССР, 1953.— Т 2. 544 с.
52. *Ломизе Г. М.* Фильтрация в трещиноватых породах.— М. : Госэнергоиздат, 1951.— 205 с.
53. *Ломтадзе В. Д.* Методы лабораторных исследований физико-механических свойств песчаных и глинистых грунтов.— М. : Госгеолгиздат, 1952.— 235 с.
54. *Маскет М.* Течение однородных жидкостей в пористой среде.— М. : Гостоптехиздат, 1949.— 628 с.
55. *Майборода В. О.* Определение дополнительных фильтрационных сопротивлений гончарного дренажа в однородном потоке.— Гидравлика и гидротехника, 1971, № 11, с. 85—88.
56. *Марков Е. С.* Мелиорация пойм нечерноземной зоны.— М. : Колос, 1973.— 320 с.
57. *Маслов Б. С.* Режим грунтовых вод переувлажненных земель и его регулирование.— М. : Колос, 1970.— 232 с.
58. *Магакян Г. Л.* Степь и вода : Новое в географии ирригации СССР.— М. : Мысль, 1977.— 190 с.
59. *Минц Д. М., Шуберт С. Л.* Гидравлика зернистых материалов.— М. : Коммухозиздат, 1955.— 112 с.
60. *Мурашко А. И.* Пластмассовый дренаж.— Минск : Ураджай, 1969.— 193 с.
61. *Мурашко А. И., Климов В. Т., Сапожников Е. Г.* Повышение эффективности гончарного дренажа и защита его от заиления.— Гидротехника и мелиорация, 1970, № 7, с. 50—56.
62. *Мурашко А. И.* Горизонтальный пластмассовый дренаж.— Минск : Ураджай, 1973.— 207 с.
63. *Мурашко А. И., Сапожников Е. Г.* Фильтрационные расчеты горизонтального трубчатого дренажа.— В кн.: Конструкции и расчеты осушительно-увлажнительных систем. Минск : Белорус. НИИ мелиорации и вод. хоз-ва, 1976, с. 22—65.
64. *Мясков А. В., Антонс Э. Р.* Применение метода ЭГДА при исследовании водоприемной способности мелиоративного дренажа.— В кн.: Физическое и математическое моделирование в мелиорации. М. : Колос, 1973, с. 391—401.
65. *Недрига В. П.* Методы расчета пространственной фильтрации к береговым дренажам.— В кн.: Вопросы фильтрационных расчетов гидротехнических сооружений. М. : Госстройиздат, 1952, с. 5—61.
66. *Непорожний Н. С.* Технический прогресс в энергостроительстве и проблемы сплошной электрификации СССР.— Гидротехн. стр-во, 1960, № 12, с. 16—22.
67. *Нестеров Е. А.* Закрытый дренаж в США.— Гидротехника и мелиорация, 1965, № 5, с. 48—58.
68. *Никитин И. К.* А. с. 109613 (СССР). Защитная одежда земляных откосов гидротехнических сооружений.— Оpubл. в Б. И., 1957, № 12.
69. *Никитин И. К.* Новый вариант сборного железобетонного крепления для защиты напорных откосов земляных плотин от разрушения ветровой волной.— Тр. Среднеаз. НИИ ирригации, 1959, вып. 99, с. 37—42.



70. Новое в строительстве закрытого дренажа в Прикарпатье / А. И. Тыщенко, П. В. Гриншпун, М. Н. Соболевский, А. Ф. Дмитриев — Гидротехника и мелиорация, 1976, № 9, с. 50—55.
71. Николадзе Г. И. Пластмассы в водном хозяйстве. — М.: Россельхозиздат, 1968. — 126 с.
72. Николаевский В. Н. О расчете дополнительного фильтрационного сопротивления скважин, несовершенных по степени вскрытия. — Изв. АН СССР. ОТН, 1957, № 8, с. 161—165.
73. Николодышев И. С. Исследование фильтра из пористого бетона. — Гидротехника и мелиорация, 1958, № 10, с. 36—46.
74. Олейник А. Я. Практические способы расчета горизонтального и вертикального дренажей в неоднородно-слоистых грунтах. — Мелиорация и вод. хоз-во, 1970, № 13, с. 109—121.
75. Олейник А. Я., Насиковский В. П. Методы расчета мелиоративного дренажа в неоднородно-слоистых грунтах. — Киев: Урожай, 1970. — 230 с.
76. Олейник А. Я., Ткач В. Н., Жовтоног И. С. Закрытый систематический дренаж на рисовых системах. — Гидротехника и мелиорация, 1976, № 9, с. 67—75.
77. Осипов Е. П. Фильтры из стеклянной ваты. — Отопление и вентиляция, 1937, № 516, с. 12—14.
78. Осипов А. Д., Ронжин И. С., Панфилов В. С. Дренаж и фильтры из пористого бетона. — М.: Энергия, 1972. — 112 с.
79. Осипчук Л. Н., Карпенко К. К. Рекомендации по определению параметров гибких витых дренажных труб из жесткого поливинилхлорида. — Киев: НИИ строит. про-ва, 1973. — 20 с.
80. Осипчук Л. Н., Андреев А. А., Артамановский О. Р., Ершов Б. Л., Грубый П. П., Фиалков М. П. А. с. 346439 (СССР). Дренажная труба. — Оpubл. в Б. И., 1974, № 23.
81. Островский Э. М., Дядик А. А. Устойчивость закрытого горизонтального дренажа в Голодной степи. — Гидротехника и мелиорация, 1966, № 6, с. 22—36.
82. ОСТ 33-10-73. Фильтры дренажные из искусственных минеральных волокнистых материалов: Техн. требования. — Введ. 10.01.73.
83. Панасюк В. И. Фильтровые материалы из стеклянного волокна. — М.: Химия, 1964. — 12 с.
84. Патрашев А. Н., Праведный Г. Х. Инструкция по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений. ВСН-2—65. Утв. Главтехстрой-проектом ГПКЭ и ЭССР. Введ. 01.01.66.
85. Перехрест С. М. Орошение земель юга Украины. — Киев: Изд-во АН УССР, 1962. — 275 с.
86. Перехрест С. М. Меліорація надмірно зволожених мінеральних земель України. — К.: Наук. думка, 1966. — 131 с.
87. Пивовар Н. Г. Результаты исследования фильтрационных свойств деформируемых пористых сред из минеральных волокнистых материалов. — В кн.: Фильтрационные исследования и расчеты. Киев: Наук. думка, 1967, с. 58—64.
88. Пивовар Н. Г. Фильтры из минеральных волокнистых материалов для дренажных устройств гидротехнических сооружений. Гидротехн. стр-во, 1967, № 7, с. 24—27.
89. Пивовар Н. Г., Бугай Н. Г. Фильтры из минеральных волокнистых материалов для трубчатого дренажа. — Гидротехника и мелиорация, 1967, № 2, с. 74—83.
90. Пивовар Н. Г. Фильтры из стеклянного и базальтового волокна и их применение в гидротехнике и мелиорации. — М., 1967. — 22 с. — (Экспресс-информ. ЦБНТИ по мелиорации и вод. хоз-ву. Сер. 6; Вып. 3).
91. Пивовар Н. Г., Бугай Н. Г. Фильтрационные и защитные свойства фильтров из искусственных минеральных материалов. — Sb. Vysokeho učenі technickiho v Brne, 1967, N 1/2, с. 139—144.
92. Пивовар Н. Г. Результаты исследований фильтрационных и других физико-механических свойств стеклянных и базальтовых волокон и изделий из них. — В кн.: Материалы первого Всесоюз. симпоз. по стеклян. волокну. Москва, 7—9 февр. 1967 г. М., 1967, с. 165—175.



93. Пивовар Н. Г., Бугай Н. Г. Затухание пульсаций давления в искусственных минеральных волокнистых материалах, насыщенных водой.— Гидравлика и гидротехника, 1968, № 6, с. 143—146.
94. Пивовар Н. Г. Фильтрационные свойства материалов и изделий из органических, минеральных и синтетических волокон и применение их как фильтров в дренажах.— Мелиорация и вод. хоз-во, 1968, № 8, с. 137—146.
95. Пивовар Н. Г. Временные технические указания по проектированию фильтров из искусственных минеральных волокнистых материалов в дренажах мелиоративных систем и гидротехнических сооружений.— Киев: Минводхоз УССР, 1968.— 64 с.
96. Пивовар Н. Г., Бугай Н. Г. Исследование фильтрационных свойств новых материалов для гидротехнических сооружений.— Гидравлика и гидротехника, 1969, № 8, с. 116—120.
97. Пивовар Н. Г. Результаты исследований работы фильтров из стеклянного и базальтового волокна в трубчатых дренажах в производственных условиях.— Мелиорация и вод. хоз-во, 1970, № 12, с. 116—128.
98. Пивовар Н. Г., Бугай Н. Г. Исследование волокнистых фильтров на кольматацию в дренажах.— Мелиорация и вод. хоз-во, 1971, № 16, с. 102—111.
99. Пивовар Н. Г. Глубокий трубчатый дренаж с минерально-волокнистыми фильтрами.— Гидротехника и мелиорация, 1971, № 10, с. 52—60.
100. Пивовар Н. Г., Сухоруков П. А., Рычко В. А. О влиянии связок на фильтрационные и другие физико-механические свойства дренажных фильтров из базальтового и стеклянного волокна.— Мелиорация и вод. хоз-во, 1972, № 23, с. 87—93.
101. Пивовар Н. Г. Результаты исследований фильтров из искусственных минеральных волокнистых материалов на кольматацию и контактную устойчивость защищаемых ими грунтов.— Тр. координац. совещ. по гидротехнике, 1972, вып. 72, с. 24—30.
102. Пивовар Н. Г., Леонович Г. В. Исследование водозахватной способности и фильтрационных сопротивлений трубчатого дренажа на интеграторе ЭГДА.— В кн.: Математическое моделирование потенциальных полей. Киев: Ин-т математики АН УССР, 1972, с. 90—104.
103. Пивовар Н. Г. Результаты лабораторных и натурных исследований трубчатых дренажей с фильтрами из стеклянного и базальтового волокна на орошаемых массивах юга Украины.— В кн.: Физическое и математическое моделирование в мелиорации. М.: Колос, 1973, с. 402—413.
104. Пивовар Н. Г., Рычко В. А. Изделия из базальтового и стеклянного волокна для фильтров гидротехнических дренажей.— Гидротехн. стр-во, 1973, № 12, с. 13—15.
105. Пивовар Н. Г., Бугай Н. Г., Насиковский В. П. Применение стекловолокнистых фильтров-оболочек в сочетании с местными песками для закрытого дренажа.— В кн.: Технология и орг. стр-ва гидромелиоратив. систем. Киев: Урожай, 1973, с. 258—266.
106. Пивовар Н. Г., Осипчук Л. Н., Тимко В. В., Шейко В. И., Данилец Г. П., Красницкая Е. М., Карпенко К. К., Грубый П. П., Лябах Ф. С. А. с. 436005 (СССР). Устройство для намотки изоляционного рулонного материала на дренажные трубы.— Оpubл. в Б. И., 1974, № 26.
107. Пивовар Н. Г. Конструкции и расчет фильтров из искусственных минеральных волокнистых материалов в гидротехнических сооружениях.— Мелиорация и вод. хоз-во, 1974, № 29, с. 84—93.
108. Пивовар Н. Г. Расчет водозахватной способности дренажа с волокнистыми фильтрами.— Гидротехника и мелиорация, 1975, № 6, с. 77—83.
109. Пивовар Н. Г. Фільтри з нових матеріалів для дренажу меліоративних систем і гідротехнічних споруд.— Вісн. АН УССР, 1975, № 2, с. 65—76.
110. Пивовар Н. Г. Исследование и применение волокнистых фильтров в дренажах мелиоративных систем.— В кн.: Мелиорация и окультуривание переувлажненных минеральных земель. Минск: Звезда, 1977, с. 119—124.
111. Пискарев И. В. Фильтровальные ткани из стеклянного волокна.— М.: Рос-техиздат, 1960.— 62 с.



112. Пискарев И. В. Фильтровальные ткани: изготовление и применение.— М.: Изд-во АН СССР, 1963.— 180 с.
113. Применение стеклопластиковых труб для устройства наблюдательных скважин / Л. И. Кондрусева, Н. Я. Тимофеев, М. Я. Приходько, Ю. А. Чирва.— Гидротехника и мелиорация, 1972, с. 55—77.
114. РСТ УССР 5015—77. Маты прошивные теплозвукоизоляционные и фильтрующие на основе стеклянных штапельных волокон из горных пород. Введ. 29.08.77 вместо ТУ 33 УССР 1—72.
115. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике.— М.: Наука, 1965.— 388 с.
116. Серебрянников Ф. В. Уточнение длины звеньев дренажных труб и площадей их перфорации.— Гидротехника и мелиорация, 1969, № 2, с. 69—74.
117. Серебрянников Ф. В. Исследование водоприемной способности конструкций закрытого дренажа в лабораторных условиях.— Тр. Ин-та «Средазгипроводхлопок», 1974, вып. 5, с. 89—97.
118. Семеринов Е. С. Защита закрытого дренажа от заиливания структурными фильтрующими материалами.— В кн.: Применение математического и физического моделирования в мелиорации. Л.: Энергия, 1977, с. 44—53.
119. Свойства расплавов основных магматических горных пород Украины и волокон на их основе / В. А. Дубровский, М. Ф. Махова, Г. С. Дубровская и др.— В кн.: Волокнистые материалы из базальтов Украины.— Киев: Техніка, 1977, с. 5—13.
120. Стеклянное штапельное волокно / Я. А. Школьников, Б. М. Полик, Э. П. Кочаров, Э. Ф. Нигин.— М.: Химия, 1969.— 270 с.
121. ТУ 33 УССР 38—74. Технические условия на трубы дренажные гибкие витые из поливинилхлорида. Взамен ТУ 33 УССР 5—73. Введ. 06.06.74.
122. Текстура и сорбционные свойства кремнеземных волокон из железосодержащих стекол и базальтов.— В кн.: Волокнистые материалы из базальтов Украины. Киев: Техніка, 1971, с. 41—45.
123. Ткач В. Н., Губина Н. И. Технический прогресс в мелиоративном строительстве на Украине.— Гидротехника и мелиорация, 1974, № 9, с. 1—11.
124. Трубы из ПВХ для строительства дренажа на орошаемых землях / Л. Н. Осипчук, К. К. Карпенко, Н. Г. Пивовар, Н. Г. Бугай.— Гидротехника и мелиорация, 1973, № 3, с. 53—56.
125. Томин Е. Д., Богатов Е. А. Строительство пластмассового дренажа в зоне избыточного увлажнения.— Гидротехника и мелиорация, 1976, № 7, с. 74—84.
126. Томин Е. Д., Бобченко В. И., Буравцев В. Н. Бестраншейное строительство закрытого дренажа в Голодной степи.— Гидротехника и мелиорация, 1970, № 3, с. 34—35.
127. Требин Г. Ф. Фильтрация жидкостей и газов в пористых средах.— М.: Гостоптехиздат, 1959.— 157 с.
128. Усенко В. С. Вопросы теории фильтрационных расчетов дренажных и водозаборных скважин.— М.: Колос, 1968.— 301 с.
129. Указания по фильтрационным расчетам горизонтального трубчатого дренажа.— Минск: Минводхоз СССР и Белорус. НИИ мелиорации и вод. хоз-ва, 1977.— 43 с.
130. Устройство обратных фильтров гидросооружений из минерально-волоконистых материалов / Н. Г. Пивовар, В. А. Осадчук, В. Ф. Канарский, Н. Г. Бугай.— Гидротехн. стр-во, 1971, № 12, с. 17—20.
131. Фильчаков П. Ф., Панчишин В. И. Интеграторы ЭГДА, моделирование потенциальных полей на электропроводной бумаге.— Киев: Изд-во АН УССР, 1961.— 172 с.
132. Фильчаков П. Ф. Теория фильтрации под гидротехническими сооружениями.— Киев: Изд-во АН УССР, 1959.— 305 с.
133. Ходаков Г. С. Основные методы дисперсного анализа порошков.— М.: Стройиздат, 1965.— 200 с.
134. Хрисанов Н. И. Фильтрационные деформации грунта при работе трубчатого дренажа.— В кн.: Сборник докладов по гидротехнике.— М.; Л.: Энергия, 1970, с. 253—262.



135. Хруцкая З. Я. Заилие дренажа железистыми соединениями.— М. : Колос, 1970.— 96 с.
136. Чаповский Е. Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов.— М. : Недра, 1975.— 302 с.
137. Чарный И. А. Подземная гидродинамика.— М. : Гостехиздат, 1963.— 346 с.
138. Чарный И. А. О притоке к несовершенным скважинам при одновременном существовании различных законов фильтрации в пласте.— М. : Изв. АН СССР, ОТН, 1950, № 6, с. 102—107.
139. Чирва Ю. А., Савеленко В. К. Устройство продольных пропилов в асбоцементных трубах для закрытого дренажа.— Гидротехника и мелиорация, 1970, № 9, с. 81—88.
140. Чирва Ю. А. Некоторые результаты исследований работы горизонтального дренажа орошаемых земель юга Украины.— Мелиорация и вод. хоз-во, 1970, вып. 10, с. 161—167.
141. Шейко В. Е. Современный уровень и задачи научных исследований в области стеклянного волокна.— В кн.: Материалы первого Всесоюз. симпоз. по стеклян. волокну. Москва, 7—9 февр. 1967 г. М., 1967, с. 4—7.
142. Шейдеггер А. Э. Физика течения жидкости через пористые среды.— М. : Гостехиздат, 1960.— 249 с.
143. Шестаков В. М. Теоретические оценки подпора, водопонижения и дренажа.— М. : Изд-во Моск. ун-та, 1965.— 233 с.
144. Шилейко С. В. Технология строительства пластмассового траншейного дренажа.— Гидротехника и мелиорация, 1968 № 3, с. 64—67.
145. Шрейдер В. А. Фильтры дренажных труб (за рубежом).— Гидротехника и мелиорация, 1965, № 11, с. 50—56.
146. Щелкачев В. Н. Влияние проницаемости призабойной области и диаметра скважины на дебит.— Нефть. хоз-во, 1946, № 2, с. 36—45.
147. Щуров В. И. Влияние круглых перфораций на приток жидкости из пласта в скважину.— В кн.: Научные основы эксплуатации нефтяных месторождений. М. : Гостехиздат, 1948, с. 53—62.
148. Эфендиев Н. Г. О водозахватной способности горизонтального дренажа.— Докл. Всесоюз. с.-х. акад., 1961, вып. 87, с. 35—42.
149. Agerchou H. Synthetic material filter in coastal protection.— Proc. Amer. Soc. Civil Eng., 1961, N 2, p. 111—125.
150. Armour J. C., Cannon J. N. Fluid flow through woven sireens.— Aiche J. Chem. Eng. Res. and development, 1968, N 5, p. 415—420.
151. Buras N., Pillsbury A. F. Lateral movement of water along a glass fiber sheet used as a draitile filter.— Trans. ASAE, 1963, N 2, p. 173—176.
152. Hausmann I. Glavlies als Umhullung Swerkstoff für die Dränung.— Z. Kulturtechn. und Fluberein., 1968, H. 2, S. 102—115.
153. Kirkham D. Potential flow into circumferentiatic openings in Tubes.— J. Appl. Phys., 1950, N 7, p. 655—660.
154. Kowald R. Entwicklung und Prufung mattenformiger Dranfilter.— Wasser und Boden, 1969, H. 9, S. 264—266.
155. Nelson R. W. Fiberglass as a filter for closed tile drains.— Agr. Eng. (USA), 1960, N 10, p. 690—700.
156. Overholt V. Fiber glass filters flor tile drains.— Agr. Eng. (USA), 1959, N 10, p. 604—607.
157. Sisson D. R., Jones B. A. Filter material for till drains in a medium sand.— A Laboratory Comparison.— Trans. ASAE, 1962, N 1, p. 54—58.
158. Schull H. Hydraulic characteristics of glass — fiber filter material.— Trans. ASAE, 1964, N 2, p. 120—122.
159. Schuller G. Betriebssichere Dränung durch Umhullung der Drane mit Mierolith Glasfasetvlies.— Wasser und Boden, 1962, H. 12, S. 245—248.
160. Tanzeldam O., Reschke K. Dranung mit Kunst Stoffrohren.— Wasser und Boden, 1961, H. 10, S. 74—78.
161. Watts D. G., Luthin J. N. Test of thick fiberglass filters for subsurface drains.— Hilgardia, 1963, N 35, p. 33—45.
162. Widmoser P. Einige Folgerungen aus der Theorie der Zustromung zu Dranrohren.— Wasser und Boden, 1972, H. 2, S. 68—72.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                                                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Предисловие . . . . .                                                                                                                                                                                          | 3         |
| Основные условные обозначения . . . . .                                                                                                                                                                        | 7         |
| <b>ГЛАВА I. Исследование и расчет физико-механических, фильтрационных характеристик и структурных параметров дренажных фильтров из искусственных минеральных и полимерных волокнистых материалов . . . . .</b> | <b>9</b>  |
| § 1. Физико-механические характеристики (деформация, объемная масса, пористость) размеры пор и структурные параметры нетканых материалов из искусственных волокон . . . . .                                    | 11        |
| § 2. Фильтрационные характеристики нетканых материалов и изделий из искусственных волокон . . . . .                                                                                                            | 23        |
| § 3. Структурные параметры и фильтрационные характеристики тканых изделий из искусственных волокон . . . . .                                                                                                   | 35        |
| § 4. Влияние среды, связок и аппретов на фильтрационные и физико-механические свойства волокнистых материалов и изделий . . . . .                                                                              | 43        |
| § 5. Сопротивление сдвигу внутри волокнистых фильтров и по контакту с различными грунтами и бетоном . . . . .                                                                                                  | 50        |
| <b>В ы в о д ы . . . . .</b>                                                                                                                                                                                   | <b>54</b> |
| <b>ГЛАВА II. Исследования волокнистых фильтров на кольматацию . . . .</b>                                                                                                                                      | <b>57</b> |
| § 1. Исследование кольматации волокнистых фильтров в грунтах естественной плотности при напорной установившейся фильтрации . . . . .                                                                           | 58        |
| § 2. Исследование волокнистых фильтров на кольматацию в трубчатых дренажах при напорно-безнапорной фильтрации . . . . .                                                                                        | 63        |
| § 3. Исследование волокнистых фильтров на механическую кольматацию при укладке дренажа в водонасыщенные (разжиженные) и разрыхленные грунты . . . . .                                                          | 68        |
| § 4. Исследование трубчатого дренажа с фильтровыми оболочками из стеклосеток и стеклохолстов в сочетании с обсыпками из неотсортированных местных песков . . . . .                                             | 78        |
| § 5. Исследование проникновения цементного раствора и кольматации волокнистых фильтровых подготовок при укладке их под монолитный бетон креплений откосов плотин . . . . .                                     | 84        |
| <b>В ы в о д ы . . . . .</b>                                                                                                                                                                                   | <b>85</b> |
| <b>ГЛАВА III. Химическая стойкость базальтовых и стеклянных волокон дренажных фильтров при работе в грунтовых водах и различных атмосферных условиях . . . . .</b>                                             | <b>87</b> |
| § 1. Химический состав штапельных волокон, полученных из основных пород типа базальтов . . . . .                                                                                                               | 89        |
| § 2. Химическая стойкость базальтовых штапельных волокон к действию солевых растворов и грунтовых вод, замораживанию и оттаиванию, намоканию и высушиванию и других атмосферных агентов . . . . .              | 94        |



|                                                                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3. Опытнo-производственная проверка химической стойкости волокон дренажных фильтров в различных гидрохимических и грунтовых условиях . . . . .                                              | 103 |
| <b>В ы в о д ы</b> . . . . .                                                                                                                                                                | 111 |
| <b>Г Л А В А IV. Исследования и расчет водозахватной способности, фильтрационных сопротивлений и параметров трубчатого дренажа с волокнистыми фильтрами</b> . . . . .                       | 112 |
| § 1. Исследование водозахватной способности и фильтрационных сопротивлений дренажа из различных труб с волокнистыми фильтрами методом физического и математического моделирования . . . . . | 113 |
| § 2. Аналитическое определение рациональной перфорации дрены из гладкостенных труб, оборудованных волокнистыми фильтрами . . . . .                                                          | 127 |
| § 3. Исследование водозахватной способности гончарного дренажа с волокнистыми фильтрами . . . . .                                                                                           | 135 |
| <b>В ы в о д ы</b> . . . . .                                                                                                                                                                | 147 |
| <b>Г Л А В А V. Исследования работы волокнистых фильтров при действии волн и пульсирующей фильтрации</b> . . . . .                                                                          | 148 |
| § 1. Контактная устойчивость грунтов, защищенных волокнистыми фильтрами, при установившейся и пульсирующей фильтрации . . . . .                                                             | 150 |
| § 2. Исследования и расчет затухания пульсаций давления в фильтрах из базальтового и стеклянного волокон . . . . .                                                                          | 159 |
| § 3. Исследование волокнистых фильтровых подготовок в условиях волнового воздействия . . . . .                                                                                              | 167 |
| <b>В ы в о д ы</b> . . . . .                                                                                                                                                                | 171 |
| <b>Г Л А В А VI. Конструкции, строительство, опытнo-производственная проверка, экономическая эффективность новых фильтров и дренажа</b> . . . . .                                           | 172 |
| § 1. Конструкции и внедрение горизонтального трубчатого дренажа с новыми фильтрами на мелиоративных системах . . . . .                                                                      | 172 |
| § 2. Дренаж с волокнистыми фильтрами в низовых откосах земляных плотин и на территории населенных пунктов . . . . .                                                                         | 183 |
| § 3. Конструкции, технология укладки и внедрение волокнистых фильтров в гидротехнических сооружениях . . . . .                                                                              | 186 |
| § 4. Опытнo-производственная проверка работы новых конструкций фильтров и дренажа . . . . .                                                                                                 | 189 |
| § 5. Экономическая эффективность применения волокнистых фильтров и оборудованных ими дренажей . . . . .                                                                                     | 198 |
| <b>В ы в о д ы</b> . . . . .                                                                                                                                                                | 203 |
| <b>Список цитированной литературы</b> . . . . .                                                                                                                                             | 206 |



Николай Григорьевич Пивовар  
Николай Григорьевич Бугай  
Валентина Андреевна Рычко

## **ДРЕНАЖ С ВОЛОКНИСТЫМИ ФИЛЬТРАМИ**

*Печатается по постановлению ученого совета  
Института гидромеханики АН УССР*

Редактор *Н. С. Кулаковская*  
Редактор-библиограф *А. Т. Чусов*  
Оформление художника *А. Л. Омелянюка*  
Художественный редактор *И. П. Антонюк*  
Технический редактор *Г. М. Терезюк*  
Корректоры *М. Т. Кравчук, Т. Я. Чорная*

Информ. бланк № 4562.

Сдано в набор 14.08.79. Подп. в печ. 31.07.80.  
БФ 04038. Формат 60×90/16. Бумага типогр. № 1.  
Лит. гарн. Выс. печ. Усл. печ. л. 13,5. Уч.-изд. л.  
14,35. Тираж 1200 экз. Зак. № 9—1957. Цена  
2 руб. 30 коп.

Издательство Наукова думка», 252601, Киев, ГСП.  
Репина, 3.

Отпечатано с матриц Головного предприятия Рес-  
публиканского производственного объединения  
«Полиграфкинг» Госкомиздата УССР, г. Киев,  
Довженко, 3 в областной книжной типографии  
Львовского облполиграфиздата, Львов, Стефани-  
ка, 11. Зак. 3635.