

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

НОВОЕ В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИВА

Выпуск 10
Сборник научных трудов

Москва 1977

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

НОВОЕ В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИВА

Выпуск 10

Сборник научных трудов

Москва 1977

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Балаев Л.Г. (председатель)

Божко И.А., Дзюбенко Б.В., Дмитриев В.С. (зам.председателя),
Емельянов В.А. (зам.председателя), Эликов Г.М., Казаков В.С.
(зам.председателя), Кац Д.М., Кременецкий Н.Н. (зам.председа-
теля), Куксин 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., Даниль-
ченко 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-исследова-
тельским институтом механизации и техники полива Минводхоза СССР

© Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники
и мелиорации (ВНИИГИМ), 1977

К.с.-х.н. Алиев И.Г..
инж. Разумовский А.А.
(ВНИИМИП)

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И КАЧЕСТВО ПОЛИВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИИ НАРЕЗКИ БОРОЗД

Инфильтрационный полив по бороздам сохраняет структуру почвы, создает необходимый для растений воздушный, питательный и солевой режимы, обеспечивающие в комплексе с агротехникой получение высоких урожаев орошаемых культур (хлопчатника, сахарной свеклы, табака и др.). Вместе с тем этот способ полива имеет и нежелательные явления, такие как глубинные утечки оросительной воды, поверхностные сбросы, неравномерность распределения поливной нормы, эрозия и др. В чем же заключается причина их появления? Во-первых, в неправильном выборе поливной борозды для конкретных природно-хозяйственных условий. Во-вторых, это связано с технологией нарезки поливных борозд. При междурядной обработке посредством культиваторов, агрегатируемых с колесными тракторами, получают борозды с разными технологическими свойствами. Например, в Средней Азии при существующей технологии нарезки поливных борозд создается большое пестрополье. На поливном участке получают борозды, различные по степени уплотненности почвы и, следовательно, по водопроницаемости. Это борозды неуплотненные (пушта), замятые колесом трактора один раз (саргызма), и борозды, замятые колесом трактора дважды (маркер) [3]. В связи с этим при поливе наблюдается большая неравномерность добегаания поливных токов, увеличиваются поверхностные сбросы и поливные нормы, поэтому снижаются производительность и качество поливов [6].

В 1971 г. при проведении исследований в Волгоградской области нами было установлено различие технологических свойств поливных борозд. Это различие обусловлено тем, что часть борозд нарезается по следу от колес трактора, и эти борозды имеют меньшую водопроницаемость, чем обычные. Так при нарезке борозд посредством культиватора КРН-4,2, агрегатируемого с трактором "Беларусь", две из семи борозд, прокладываемых за один проход, нарезаются по следу от колес трактора. Разность добегааний поливных потоков по бороздам, нарезанным по следу трактора и не по следу, при расходе

струи 1,5 л/с и гоне 500 м достигает в среднем 45% (рис.1). Значительно различаются по таким бороздам и поливные нормы на момент добегаия. В среднем они соответственно составили 770 и 1400 м³/га [1,7].

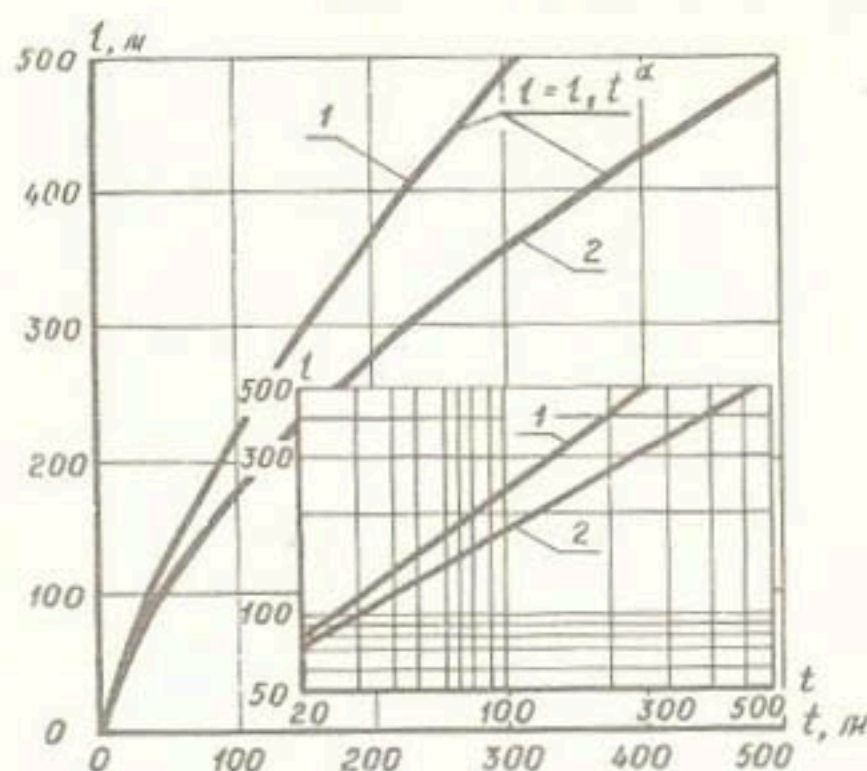


Рис.1. Графики добегаия поливных токов по бороздам ($q=1,5$ л/с, $i=0,004$): 1 - нарезанным по следу трактора; 2 - обычным

Для достижения равномерного продвижения поливных токов по фронту полива, снижения глубинных утечек, поверхностных сбросов и т.д. предлагались различные способы. В Армении, на Северном Кавказе, Азербайджане, в орошаемых районах Средней Азии в результате проведенных исследований была установлена связь отмеченных факторов с устройством ложа поливных борозд, с технологией их нарезки. Так, например, в Армении [8] для предотвращения глубинных утечек и поверхностных сбросов прокладывались вдавленные колесами автомашины борозды. Поливы по таким бороздам позволили улучшить увлажнение междурядного пространства, предотвратить глубинные утечки, снизить затраты оросительной воды.

На Северном Кавказе [9] для предотвращения поверхностных сбросов и равномерного увлажнения почвы по длине борозд были применены борозды-щели, позволившие повысить производительность труда и качество поливов.

В Азербайджане [2] для предотвращения эрозии и глубинных утечек прокладывались борозды параболического поперечного сечения с

прикатанными металлическими катками дном. Позже было применено щелевание дна ложа концевых участков борозд, что улучшило распределение поливной нормы по длине борозд и способствовало предотвращению поверхностных сбросов [4, 5].

В орошаемых районах Средней Азии [3] с целью выравнивания добеганий поливных потоков по фронту полива предлагалось устанавливать расход струи в соответствии с технологическими свойствами борозд на поливном участке, например, проводить поливы только по уплотненным бороздам. Это позволило снизить величину поверхностных сбросов, улучшить качество поливов, экономнее расходовать оросительную воду.

Обобщив опыт, накопленный в нашей стране, нами было разработано навесное оборудование (ав. св. № 471072) к культиватору растениепитателю, позволяющее установить на нем дополнительные рабочие органы: прикатывающие катки, щелерезы и бороздорезы-выглаживатели. Посредством навесного оборудования, устанавливаемого на КРН-4,2, одновременно с нарезкой семи поливных борозд производится формирование их ложа параболического поперечного сечения устойчивого к эрозии, прикатывается дно ложа гладким пневматическим катком для предотвращения глубинных утечек и нарезается щель по дну в концевой части для выравнивания распределения поливной нормы по гону полива и предотвращения поверхностных сбросов. Борозды, нарезаемые по следу трактора, дополнительной прикатке не подвергаются, так как их водопроницаемость близка к прикатанным.

В 1971-1975 гг. нами были проведены поливы по бороздам, нарезанным по рассмотренной выше технологии. Поливы проводились в Волгоградской области на светло-каштановых почвах и на полигоне ВНИИМИТП на среднеподзолистых почвах. Уклоны поливных участков находились в пределах 0,004-0,006. Длина борозд составляла 300-500 м. Контролем в опытах были обычные борозды, трапецеидального поперечного сечения.

Опытами установлено, что разность добеганий поливных потоков до конца борозд и поливные нормы на момент добегания при поливе по бороздам, нарезанным посредством навесного оборудования ФБУ-7 значительно уменьшились (табл. I).

Таблица I

Продолжительность полива и поливные нормы на момент
добегания

Характеристика борозд	Расход струи, л/с	Длина бороз- ды, м	Длина щели, м	Глубина щели, м	Продол- житель- ность полива, мин	Полив- ная норма, м ³ /га
Борозды с прикатанным дном и щелью в конце- вой части	1,5	300	167	0,10-	195	831
	1,5	400	170	-0,12	255	820
	1,5	500	165		320	823
Борозды без прикатки по следу трактора и щелью в концевой части	1,5	300	167	0,05-	190	819
	1,5	400	170	-0,08	268	863
	1,5	500	165		345	885
Обычные борозды (конт- роль)	1,5	500	нет	нет	515	1320

Так при длине борозд 400 м разность между временем добеганий поливных токов по бороздам с прикатанным дном и бороздам без прикатки, нарезанным по следу трактора, со щелью в концевой части в обоих случаях составила в среднем 5,1%.

На обычных бороздах и бороздах, нарезанных по следу трактора, она была равной 38%. При увеличении длины борозды до 500 м разность добеганий увеличилась до 7,3%. Поливные нормы на момент добегания оказались близкими к заданной поливной норме 800 м³/га. Максимальное отклонение, например, при расходе струи 1,5 л/с и длине борозд 500 м составило в среднем 85 м³/га или 10,5%, что значительно меньше, чем при поливе по обычным бороздам - 42%.

Это позволило повысить производительность полива с одной позиции на 48%. При этом более экономно расходовалась оросительная вода (в среднем было сэкономлено почти 440 м³ с гектара). Улучшилась равномерность распределения поливной воды по длине борозд (табл. 2), что позволило повысить качество полива.

Коэффициент равномерности, определенный по А. Н. Костякову, повысился с 0,2 до 0,63 при поливе по бороздам без прикатки по следу трактора и до 0,82-0,89 по бороздам с прикатанным дном и прощелеванной концевой частью.

Все рассмотренное выше свидетельствует о практической целесообразности применения на поливах борозд, нарезаемых посредством дополнительного оборудования (ФБУ-7) к культиватору.

Таблица 2

Распределение поливной нормы добегаания по длине поливных борозд

Характеристика борозд	Расход бо- струи, л/с	Длина борозд, м	С т в о р ы, м					Кoeffи- циент равно- мерно- сти
			0-100	100-200	200-300	300-400	400-500	
Борозды с при- катанным дном и щелью в кон- цевой части	1,5	300	854	927	696	-	-	0,82
	1,5	400	828	748	878	744	-	0,89
	1,5	500	896	823	732	862	753	0,84
Борозды без прикатки по следу трак- тора со щелью в концевой части	1,5	300	967	880	610	-	-	0,63
	1,5	400	1042	900	853	656	-	0,63
	1,5	500	1110	993	845	810	670	0,60
Обычные бороз- ды (контроль)	1,5	500	2414	1600	1234	946	430	0,20

В этом случае не только повышается производительность и качество поливов, но и экономно расходуется оросительная вода. При поливе же по обычным бороздам эта часть воды уходит на пополнение грунтовых вод и их подъем, что вызывает опасность заболачивания и засоления земель.

Л и т е р а т у р а

1. А л и е в И.Г. О технике полива культур зернового севооборота в Поволжье. Техника полива сельскохозяйственных культур. - Научные труды ВАСХНИЛ. М., "Колос", 1972.
2. А л и е в И.Г. Теория и расчет инфильтрационных поливов по бороздам. - В кн.: Прогрессивная техника полива сельскохозяйственных культур. Баку, Азгосиздат, 1963.
3. А в е р б у х Р.М. Некоторые причины неравномерности увлажнения поля. - "Хлопководство", 1973, № 4.
4. Б а ш и р о в Н.Б. Усовершенствование элементов техники полива. - "Хлопководство", 1971, № 6.

5. Г у с е й н о в Г.М. Пути повышения эффективности использования орошаемых земель, улучшения техники и способов полива сельскохозяйственных культур в Азербайджане. Баку, 1969.

6. Л я п и н А.Н. Нормированный полив хлопчатника. - "Хлопководство", 1975, № I.

7. Р а з у м о в с к и й А.А. Механизация прокладки поливных борозд. Агротехническая и технико-эксплуатационная оценка способов полива сельскохозяйственных культур в Поволжье. Материалы областной научно-технической конференции. Волгоград, 1974.

8. С а н о я н С.В. Опыт полива по вдавленным бороздам. - Труды АрмНИИГим, 1957.

9. Ш у м а к о в В.А., Ш т о к о л о в Д.А. Полив по бороздам-щелям. - Труды ЮжНИИГим. Новочеркасск, 1956.

К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ СПОСОБА РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОЛИВНЫХ
СТРУЙ ПРИ ПОЛИВЕ ПО БОРОЗДАМ

Одним из резервов повышения производительности труда на поливе является полив по длинным бороздам. Длинные борозды нарезаются, как правило, на хорошо спланированных участках с уклонами 0,002-0,008, с тяжелыми и средними по механическому составу почвами, имеющими низкую водопроницаемость (1,5-2,0 м/сут).

Однако бороздковый полив в настоящее время сопровождается большими потерями воды. По материалам Среднеазиатского совещания секции мелиорации ВАСХНИЛ 1974 г. потери воды на глубинные утечки, концевые сбросы и испарение достигают 30-50% от поданной на участок. Из общих потерь наибольшей величины достигает концевой сброс [1, 2]. В условиях растущего дефицита водных ресурсов вопрос экономии поливной воды приобретает первостепенное значение.

Многочисленными исследованиями установлено, что для уменьшения сброса и предотвращения глубинных утечек необходимо быстро увлажнить борозду по всей ее длине и далее вести полив уменьшенным поливным током в соответствии с изменением впитывающей способности борозды [3]. Возможность осуществления такого полива на практике очень ограничена ввиду его технологической сложности: такой полив требует постоянного регулирования поливных струй.

Наиболее доступным способом регулирования является полив ступенчато уменьшенным к концу полива расходом.

Однако такое регулирование поливных струй приводит к дроблению поливных участков при ручном поливе [4], что естественно сказывается на производительности труда. Полив переменной струей из стационарных поливных устройств с каскадным водораспределением на участках головной или концевой секций осуществить невозможно.

Регулирование поливных струй при каскадном водораспределении связано также с дополнительными капитальными вложениями [5]. Это обусловлено тем, что изменение поливной струи в два раза при постоянном сечении водовыпуска требует изменения напора над ним в четыре раза.

Поскольку сечения канала с каскадным регулированием назначают на обеспечение полива максимальной струей, то это приводит к необходимости увеличения глубины канала. А если учесть, что время

доувлажнения длинных поливных борозд больше времени добегания [3], то использование поливных устройств, рассчитанных на относительно короткий промежуток работы при максимальном наполнении, будет экономически невыгодным. Аналогично, при использовании машинной подачи воды в поливные устройства, регулирование поливных струй приводит к неполному использованию производительности насоса.

При поливе переменной ступенчато измененной струей поливной ток распределяют между двумя (тремя) рядом расположенными участками. Вначале весь расход подают на один участок и, при добегании воды в бороздах на $2/3-3/4$ ее длины или до конца борозды, его переключают на соседний участок. Для обеспечения полива переменной струей, весь поливной ток делят между этими участками [6].

Полив при таком способе регулирования неодинаков по участкам. При поливе первого участка (рис. 1а) подачу воды в борозды прерывают, а на втором участке (рис. 1б) осуществляют постоянно, это естественно не может не сказываться на процесс впитывания воды. На обоих участках при одновременном окончании полива с выдачей одинакового объема доувлажнения на втором участке может иметь место сброс. При этом равномерное увлажнение почвы достигается определенным соотношением норм добегания и доувлажнения или проведением дополнительных мероприятий, как, например, уплотнение начальных и щелевание концевых участков поливных борозд.

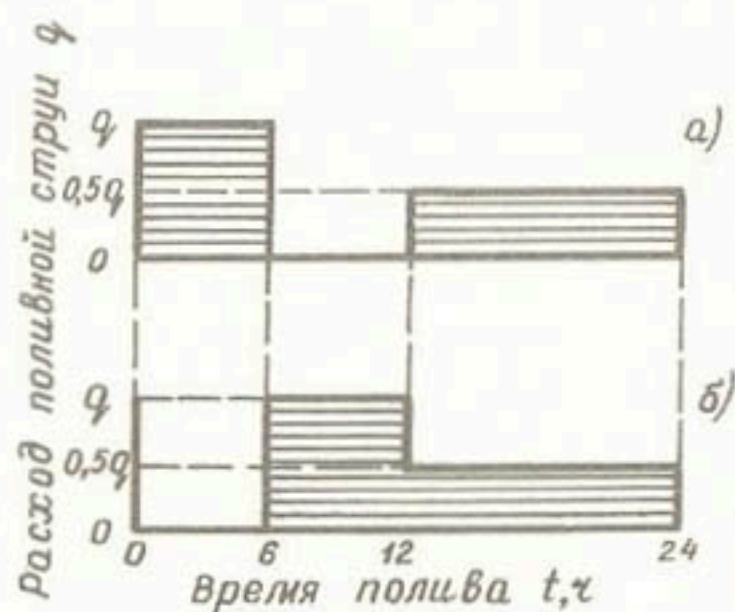


Рис. 1. Распределение расхода между двумя поливными трубопроводами: а – первый участок; б – второй участок

Одним из рациональных способов регулирования поливных струй и в первую очередь для тех условий, когда поливная норма значительно превышает норму добегания, может быть дискретное регулирование поливных струй. В общем случае дискретный способ регулирования [7] имеет три разновидности:

а) амплитудно-частотная, характеризующаяся переменной амплитудой сигнала и постоянной по величине продолжительностью периода импульса;

б) частотно-импульсная, характеризующаяся постоянной амплитудой и продолжительностью импульса при переменном периоде;

в) широтно-импульсная, характеризующаяся постоянной амплитудой и периодом при переменной продолжительности импульса.

Рассмотрим способы дискретного регулирования применительно к бороздковому поливу.

В приложении к регулированию поливных струй амплитуда импульса определяется величиной поливной струи, длительность импульса — длительностью подачи воды в борозды, а частота — как величина обратная периоду повторения импульсов подачи воды в борозды.

Предположим, что изменение поливной струи в зависимости от впитывающей способности почвы задано в виде графика (рис. 2а, кривая — 2). Для осуществления дискретного регулирования при постоянном головном расходе необходимы два фронта полива, аналогично рис. 1, между которыми происходит распределение всего расхода. При этом следует отметить, что амплитудно-импульсное регулирование, как требующее переменного по величине головного расхода, в дальнейшем не рассматривается.

Частотно-импульсное регулирование поливных струй при одновременном поливе двух участков также неприемлемо по той причине, что затягивает период добегания воды до конца поливной борозды.

Широтно-импульсный способ регулирования имеет значительный недостаток, заключающийся в том, что при обеспечении увлажнения на первом участке в соответствии с впитывающей способностью почвы (рис. 2а), на втором поливном участке получить такой же результат невозможно. На втором участке будет происходить увеличение подачи воды к окончанию полива (рис. 2б).

Таким образом дискретное регулирование поливной струи при распределении поливного тока между двумя участками полива при широтно-импульсной и частотно-импульсной модуляции в чистом виде неприемлемо. Но если при дискретном регулировании менять не толь-

ко периоды подачи, но и продолжительность импульсов в соответствующих сочетаниях, то можно получить убывающую характеристику подачи расхода. Такое регулирование, назовем его широтно-частотным, при соответствующих сочетаниях периода подачи и величины импульса позволит обеспечить одинаковое регулирование для двух объектов.

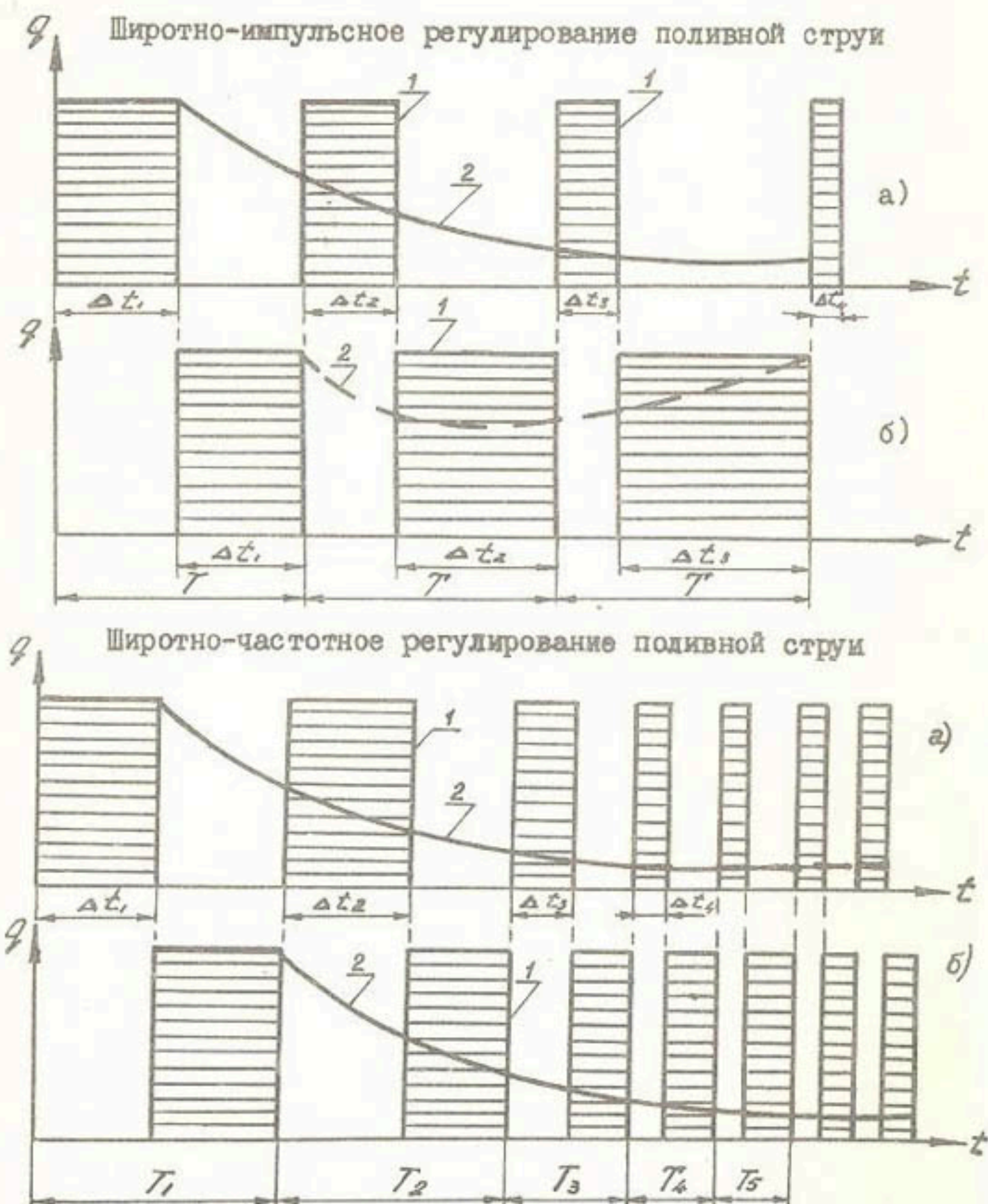


Рис. 2. Дискретное регулирование поливной струи для двух участков: а - первый участок полива; б - второй участок полива; 1 - импульсная подача поливной струи; 2 - суммарная кривая импульсной подачи, соответствующая впитывающей способности почвы

Применительно к регулированию поливных струй процесс заключается в многократной и поочередной подаче поливного тока на каждый из участков с продолжительностью подачи, равной времени добега воды в бороздах. При этом продолжительность подачи струи на один участок будет являться паузой для другого участка, в течение которого будет происходить впитывание воды, а каждая последующая подача будет уменьшаться в соответствии с впитывающей способностью почвы.

В общем случае циклограмма такого дискретного регулирования поливных струй для двух участков представлена на рис.2.

Проведенные предварительные исследования на полигоне ВНИИМИТТ показали реальную возможность осуществления такого широтно-частотного способа регулирования при поливе по бороздам. При многократной подаче воды нормами добега последующие пробеги воды в бороздах происходят быстрее. Так при первом пуске воды по отрезкам борозд длиной 50 м норма добега составила 460, при повторном пуске - 69, при третьем - 48,6, при четвертом - 39,4 м³/га (рис.3). Характер изменения норм добега приведен на рис.4.

Общая поливная норма будет определяться как сумма поданных норм добега

$$m = \sum_{i=1}^n m_{i \text{ доб}} ,$$

где m - поливная норма, выданная за время полива;

$m_{\text{доб}}$ - норма добега за подачу;

n - количество подач воды.

Общая поливная норма составила в опыте 617 м³/га.

Уменьшение норм добега при последующих пусках (рис.4) позволяет проводить доувлажнение поливных борозд подачей небольших объемов воды.

Дискретное регулирование имеет и ту предпочтительную особенность перед непрерывным регулированием [8], что как процесс, он менее энергоёмок, а сама система управления и ее элементы значительно проще за счет того, что их работа осуществляется в режиме "да-нет" (открыт-закрыт).

Система регулирования с широтно-частотной модуляцией может быть программной (разомкнутой) с заданием программы полива по времени в специальном узле или следящей (замкнутой), в которой сама борозда является объектом регулирования.

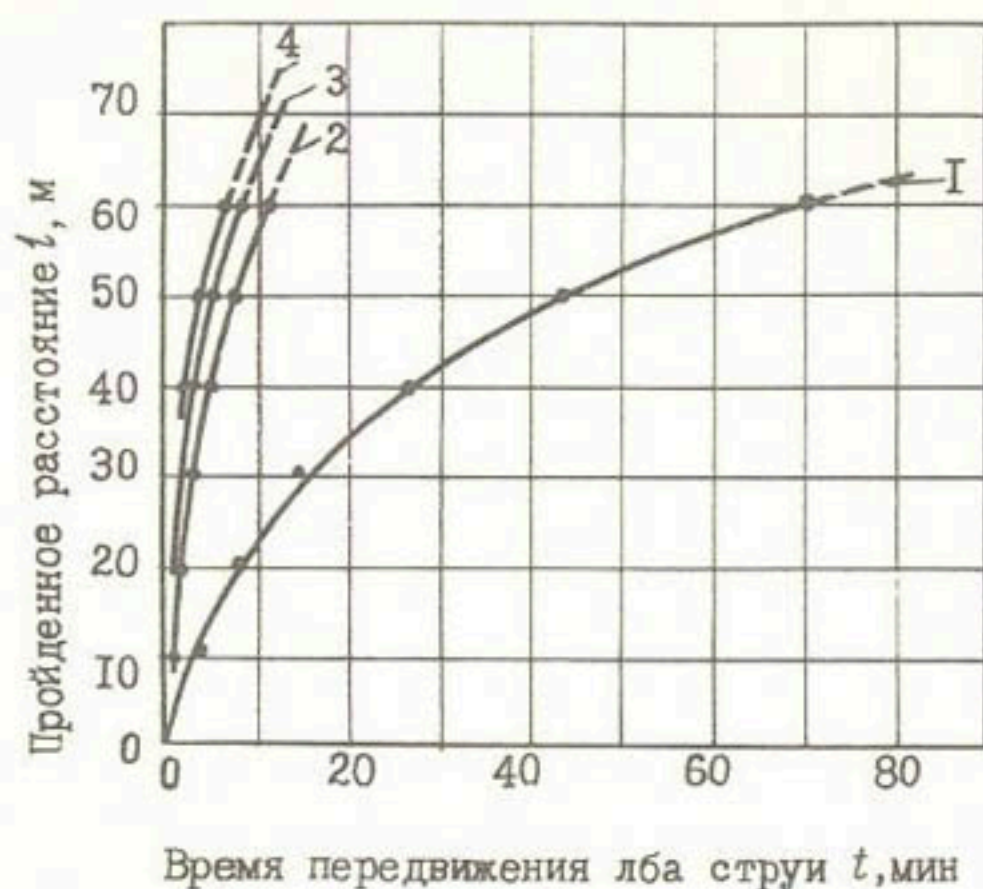


Рис Пробег потока воды в борозде при широтно-частотной подаче поливной струи с продолжительностью импульса, равной времени добегания: а – пробеги потока в борозде; 1, 2, 3, 4 – пуски воды в борозду; б – продолжительность и период импульсов подачи воды

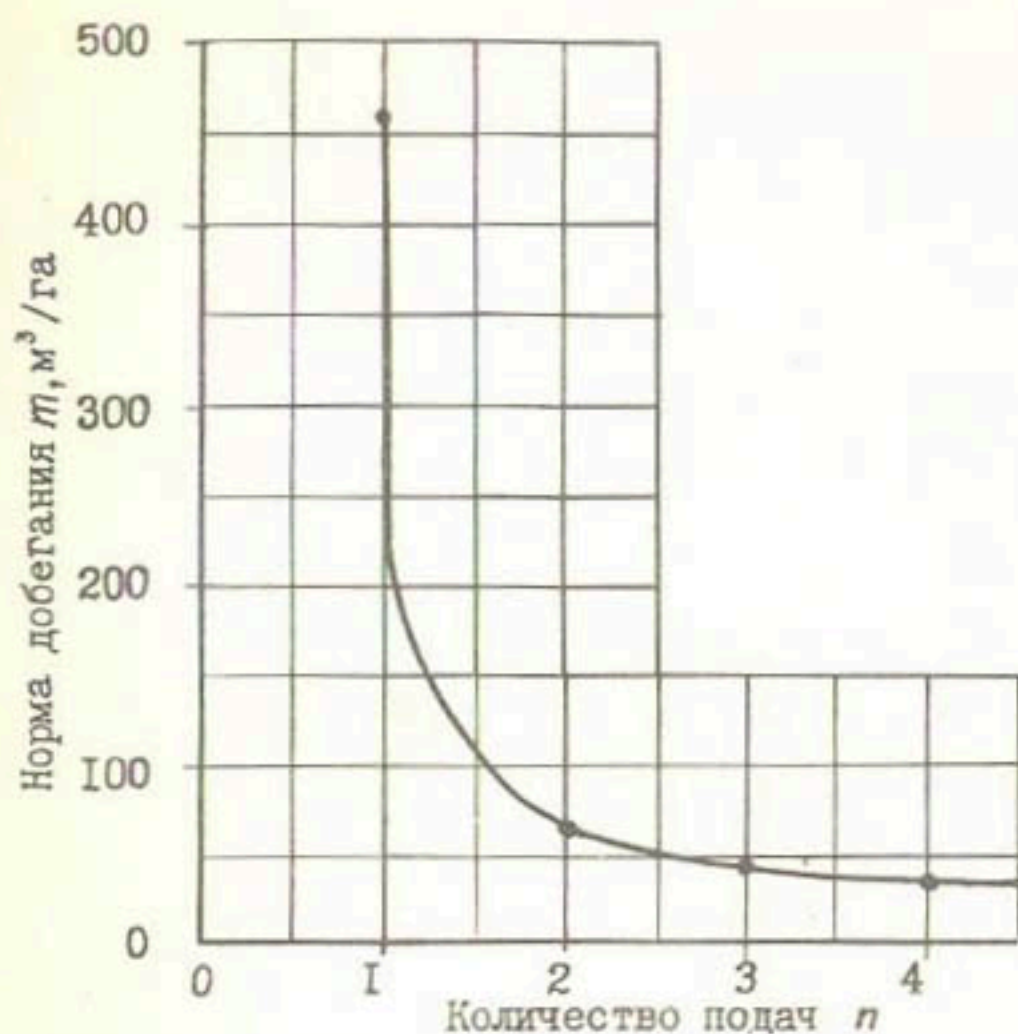


Рис. 4. Характер изменения нормы добега от числа подач

Попытки создания программных устройств показали, что блок программ должен иметь большую ёмкость [9], так как условия полива меняются не только по участкам, но и от полива к поливу на одном участке. Это создает большие трудности в автоматизации процесса управления поливом.

Более приемлемой является следующая система, замкнутая обратной связью с добеганием воды в бороздах специальным датчиком, что функционально приближает ее к самонастраивающимся системам, работающим при отсутствии достаточно полной информации об объекте регулирования. В такой системе объектом регулирования является сам поливной участок. Это позволяет сократить изыскания для разработки программ и упростить конструкцию системы управления поливом.

Структурная схема системы управления с регулированием по широтно-частотному способу изображена на рис. 5.

Поливная норма задается в виде количества тактов подачи воды, поданных в виде сигналов датчика добега на участках полива, и через элемент сравнения реализуется управляемыми водовыпусками. В элементе сравнения такты подачи суммируются (алгебраически) и сопоставляются с заданной величиной.



Рис.5. Структурная схема системы для бороздкового полива с широтно-частотным регулированием поливных струй

ВЫВОДЫ

1. Наиболее приемлемым способом дискретного регулирования поливных струй является широтно-частотный, характеризующийся переменными периодами и импульсами подачи воды, уменьшающимися к концу полива.

2. Поочередная многократная подача воды нормами по добега-нию позволяет проводить доувлажнение поливных борозд подачей ма-лых объёмов воды.

3. Широтно-частотное регулирование поливных струй на борозд-ковом поливе позволяет упростить систему автоматического управле-ния поливом.

Л и т е р а т у р а

1. Техника полива по длинным бороздам. Материалы III конферен-ции молодых специалистов. "Урожай", 1969.

2. Л а к т а е в Н.Т. Теоретическое обоснование технологии полива сельскохозяйственных культур по бороздам. Доклад на секции орошения ВАСХНИЛ и НТС Минводхоза СССР. М., сентябрь, 1970.

3. К а б а н о в М.М. К расчету элементов техники поверхно-стных поливов.- В сб.: Вопросы водного хозяйства. Вып.22. Фрунзе, "Киргизстан", 1972.

4. Б у н и т я н Л.Б. Методика установления распределения оросительной воды по длине борозды. - Труды АрмНИИГим, т.Ш, Ереван, 1958.

5. З а к у с и л о в Н.А. Автоматизация оросительных систем и ее экономическая эффективность. Фрунзе, "Млим", 1975.

6. Н а т а л ь ч у к М.Ф. Внутрихозяйственная эксплуатация оросительных систем. М., "Колос", 1969.

7. С о с о н к и н В.Л. Дискретная гидроавтоматика. М., "Машиностроение", 1972.

8. Основы автоматического управления (под ред. В.С. Пугачева). М., "Наука", 1968.

9. В о с т р о в В.К., С т р ы г и н И.З. Устройство автоматического управления поливом. А.с. № 4055II.

ТЕХНИКА РЕГИСТРАЦИИ МИКРОРЕЛЬЕФА ПОЛИВНЫХ УЧАСТКОВ

Потребность в исследовании неровностей поверхности земли возникает при решении большого ряда технических и сельскохозяйственных задач.

Отличительной особенностью сельскохозяйственных задач является потребность в информации как о крупных формах рельефа, называемых макро-и мезорельефом, так и о мелких и мельчайших формах, называемых микрорельефом и шероховатостью. Деление форм рельефа на категории условно и это, по-видимому, объективно вытекает из того факта, что при решении различных конкретных задач, связанных с учетом неровностей поверхности, одни и те же формы по разному влияют на протекание различных процессов. При этом, нежелательное влияние одних форм рельефа на протекание тех или иных процессов устраняется механически, за счет так называемых "фильтрующих" свойств механизма, конструкции и т.п. Влияние других форм рельефа приходится устранять, используя для этой цели сложные технические приемы. Однако, во всех случаях необходима полная информация о широком диапазоне неровностей, параметры которых носят случайный характер. Современные методы анализа входных воздействий и возмущений, имеющих случайный характер, синтеза систем, действующих определенным образом в условиях таких воздействий и возмущений особенно в случаях, связанных с поверхностными поливами, требуют сбора и анализа больших массивов информации и определяют использование соответствующих методов и аппаратур.

Исторически сложилось так, что первоначально получили развитие методы описания неровностей поверхности по точкам, получаемым с помощью различных геодезических методов и приборов. Однако, возникшее противоречие между необходимостью описания относительно мелких форм рельефа и чрезвычайно возрастающей при этом трудоёмкостью геодезических работ заставило искать методы повышения производительности труда и привело к созданию приборов для непрерывной механической записи профиля поверхности. В частности, в России в начале нашего века демонстрировался прибор для записи профиля железнодорожного пути. Последовательно появляются новые и новые конструкции профилографов системы Леонтовского, Нечипоренко, Артано-

ва и ряда других авторов [1, 2, 3, 4, 5]. Дальнейшее развитие техники привело к созданию совершенных приборов для записи профиля - автоматических высотомеров отечественной конструкции ВА-1, ВА-56 и АВА, разработанных в МИИГАиК. Из зарубежных конструкций наибольшей известностью пользуется высотомер-автомат Джонсона, разработанный американской фирмой "Sperry-Sun Well" [7].

Вышеупомянутые приборы имеют существенные отличия как в конструкции ходовой части и измерительной базы, так и в измерительной регистрирующей аппаратуре, однако они имеют и общий признак - принцип регистрации колебаний некоторой динамической системы с известными параметрами, обкатывающей неровности исследуемого участка вдоль трассы движения этой системы.

В общем виде этот принцип можно описать выражением

$$h(t) = k_h \cdot W_g \frac{1}{V_n} H(L), \quad (1)$$

где $H(L)$ - профиль исследуемой поверхности вдоль трассы движения профилографа;

$h(t)$ - регистрируемый процесс, отражающий изменение профиля трассы с течением времени движения профилографа;

W_g - оператор преобразования профиля $H(L)$ динамической системой тележки;

k_h - вертикальный масштаб записи сигнала;

V_n - скорость прокатывания динамической системы (профилографа) по поверхности исследуемого участка.

Структура и параметры звеньев динамической системы выбирают из условий линейности преобразования W_g и "физической осуществимости" обратного преобразования W_g^{-1} .

Для построения профиля исходной поверхности $H(L)$ в горизонтальном и вертикальном масштабах k_t и k_h , записанный сигнал $h(t)$ пропускается через динамическую систему обратного преобразования W_g^{-1} и записывается на информационном носителе с некоторой скоростью $V_{рег}$, обеспечивающей получение требуемого горизонтального масштаба $\frac{V_{рег}}{V_n} = k_t$. При этом записываемый сигнал представляет собой исходный профиль $H(L)$, записанный в горизонтальном и вертикальном масштабах, зависящих от соотношения скоростей движения V_n измерительной динамической системы, информационного носителя $V_{рег}$ и масштаба изображения вертикальных ординат k_h :

$$h(t) = V_{\text{рег}} \cdot W_g^{-1} \cdot h(t) = V_{\text{рег}} \cdot W_g^{-1} \cdot W_g \cdot \frac{k_h}{V_n} \cdot H(L) = \frac{V_{\text{рег}}}{V_n} \cdot k_h \cdot H(L) = k_h \cdot H(k_L \cdot L). \quad (2)$$

В общем случае операции W_g и W_g^{-1} могут совпадать во времени и осуществляться в одной конструкции, однако целесообразно разделять процессы измерения, преобразования и регистрации или обработки, особенно это важно в случае применения аналоговых вычислительных машин для моделирования структурных схем разрабатываемых механизмов, либо при применении ЭЦВМ для определения статистических характеристик исследуемых поверхностей.

В последние годы, в связи с широким развитием статистических методов анализа и синтеза систем управления различного рода транспортных, строительных, мелиоративных и сельскохозяйственных автоматизированных механизмов, находящихся в условиях непрерывного взаимодействия с неровностями поверхности трассы их движения, продолжают разрабатываться различные типы профилографов, в той или иной мере соответствующие выражениям (1) и (2). Однако, как показывает изучение весьма обширного литературного и патентного материала в большинстве известных конструкций не удается достичь линейности преобразования W_g — наиболее труднодостижимой цели.

Известные профилографы, несмотря на все различие в конструкции ходовой части и в измерительно-регистрирующей аппаратуре, имеют один общий признак. Построение профиля трассы движения профилографа производится интегрированием величины скорости движения ходовой части профилографа непрерывно умножаемый на текущую величину уклона участка, который определяется как наклон к горизонту продольной базы профилографа. Иногда пройденный профилографом путь (длина огибающей дневной поверхности) принимается за горизонтальную составляющую профиля, чем вносится ошибка, искажающая отмечаемые неровности в сторону увеличения их длины, тем большая, чем сложнее рельеф участка.

На рис. 1 изображена структурная схема получения, преобразования и регистрации информации при механическом построении профиля земной поверхности непосредственно в процессе движения профилографа по исследуемой трассе.

Согласно этой схеме, непрерывно измеряются величина скорости тележки и угол наклона тележки к горизонту, а перо двухкоординатного самописца, на котором изображается в некотором масштабе профиль трассы движения тележки, перемещается одновременно вдоль

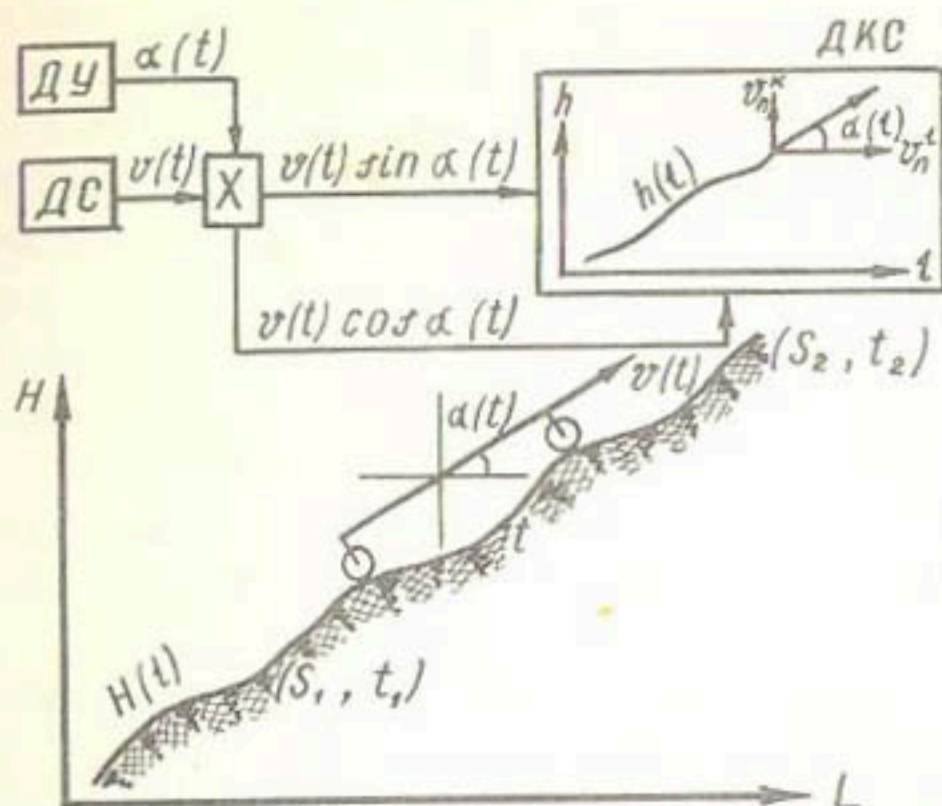


Рис. I. Структурная схема получения, преобразования и регистрации информации о неровностях поверхности при механическом построении профиля

вертикальной и горизонтальной координат со скоростями пропорциональными вертикальной и горизонтальной составляющим скорости перемещения тележки, т.е.

$$V_n^h(t) = k_h \cdot V_r(t) \sin \alpha(t) \quad (3)$$

и
$$V_n^t(t) = k_t \cdot V_r(t) \cos \alpha(t). \quad (4)$$

Здесь $V_n^h(t)$, $V_n^t(t)$ – соответственно горизонтальная и вертикальная составляющие скорости перемещения пера;

k_h, k_t – горизонтальный и вертикальный масштаб изображения профиля на самописце;

V_r – скорость движения тележки профилографа;

$\alpha(t)$ – текущая величина уклона поверхности.

В результате перемещения пера самописца со скоростями, определяемыми выражениями (3) и (4), в течение времени движения профилографа от момента времени t_1 до момента времени t_2 прочерчивается некоторая траектория $h(t)$, определяемая интегралами по времени в соответствующих пределах

$$h(t) = \int_{t_1}^{t_2} V_n^h(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} k_h V_r(t) \sin \alpha(t) dt \quad (5)$$

и

$$l(t) = \int_{t_1}^{t_2} V_n^t(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} k_h V_T(t) \cos \alpha(t) dt \quad (6)$$

Для точного построения профиля земной поверхности необходимо, чтобы тригонометрические функции угла наклона и скорость движения тележки определялись на основе соотношений:

$$\sin \alpha(t) = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta H(t)}{\Delta S} = \frac{dH(t)}{dS}; \quad (7)$$

$$\cos \alpha(t) = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta L(t)}{\Delta S} = \frac{dL(t)}{dS}; \quad (8)$$

$$V(t) = \frac{dS(t)}{dt}, \quad (9)$$

где ΔH и ΔL – вертикальное и горизонтальное приращения профиля поверхности;

ΔS – приращение расстояния земной поверхности по направлению движения профилографа.

Подставляя (7), (8) и (9) в (5) и (6), получим выражения, описывающие изменение во времени вертикальной и горизонтальной составляющих изображения регистрируемого профиля,

$$h(t) = \int_{t_1}^{t_2} k_h \frac{dS}{dt} \cdot \frac{dH(t)}{dS} \cdot dt = \int_{t_1}^{t_2} k_h dH(t) = k_h [H(t_2) - H(t_1)], \quad (10)$$

$$l(t) = \int_{t_1}^{t_2} k_l \frac{dS}{dt} \cdot \frac{dL(t)}{dS} \cdot dt = \int_{t_1}^{t_2} k_l dL(t) = k_l [L(t_2) - L(t_1)], \quad (11),$$

которые при одновременном перемещении пера самописца вдоль горизонтальной и вертикальной координат в строгом соответствии с этими выражениями приводят к изображению профиля земной поверхности $H(L)$ на самописце по выражению

$$h(l) = k_h \cdot H(k_l L) \quad (12)$$

в пределах от точки S_1 до точки S_2 (рис. I).

На практике длина измерительной базы профилографа (приращение ΔS в выражениях (7) и (8) не может быть сделана существенно малой без усложнения конструкции измерительной части. Поэтому вышеописанные механизмы и, в частности, выпускавшиеся малыми сериями профилографы промышленного производства МИИГАиК ВА-1, ВА-56 и АВА и профилограф Джонсона выполнялись на базе автомобиля или прицепной тележки, имеющих продольные базы значительных размеров от 1,2 до 2,8 м.

Отмеченные особенности измерения текущего уклона местности приводят к тому, что записываемый профиль является отражением толь-

ко тех элементов рельефа, продольные размеры которых много больше длины базы тележки профилографа.

Ошибки в изображении на профиле $h(t)$ высоты неровностей меньших длины базы профилографа S_δ возникают из-за замены в выражениях (7) и (8) величины текущего уклона исследуемой поверхности посередине базы профилографа наклоном опорной плоскости шасси профилографа, проходящей через опорные площадки его колес (рис.2).

Текущая координата средней точки опорной плоскости профилографа, траектория которой в соответствующих масштабах и есть записанный профиль $h(t)$, является текущей величиной полусуммы высотных отметок начала и конца базы профилографа, то есть

$$\frac{1}{k_h} \cdot h\left(\frac{t}{k_t}\right) = \frac{H(L - \frac{L_\delta}{2}) + H(L + \frac{L_\delta}{2})}{2}. \quad (13)$$

Так как истинное значение высотной отметки поверхности посередине базы есть величина $H(L)$, то величина текущей ошибки в изображении профиля $H(L)$ равна

$$\Delta H(L) = H(L) - \frac{H(L - \frac{L_\delta}{2}) + H(L + \frac{L_\delta}{2})}{2}. \quad (14)$$

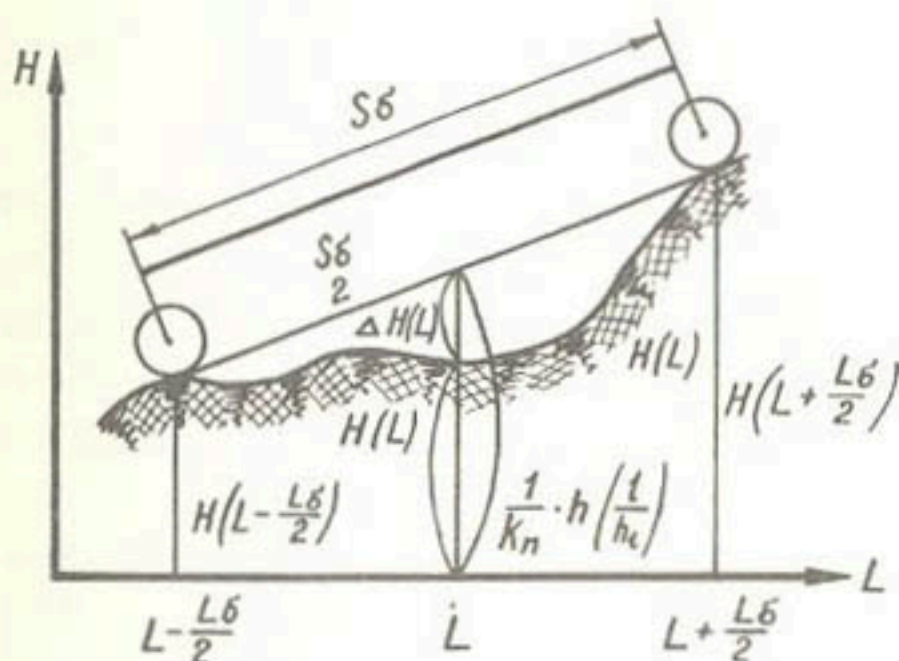


Рис.2. Схема возникновения ошибки в изображении высоты неровностей, длина которых меньше длины базы профилографа

Эта ошибка исчезающе мала при неровностях уже в 4÷5 раз более протяженных, чем длина базы профилографа L_δ и достигает полной высоты неровности, когда ее протяженность меньше длины базы.

График, приведенный на рис.3, дает представление об искажении в относительных единицах высоты регистрируемой неровности синусоидальной формы, когда ее длина превышает длину базы профилографа.

Искажение мелких и мельчайших (относительно длины базы профилографа) подробностей рельефа не имеет особого значения при использовании упомянутых профилографов для геодезической съёмки, ибо позволяет вычерчивать профиль с той степенью подробности, которая существенно превышает потребности картографии или определения объёма работ при крупномасштабном строительстве.

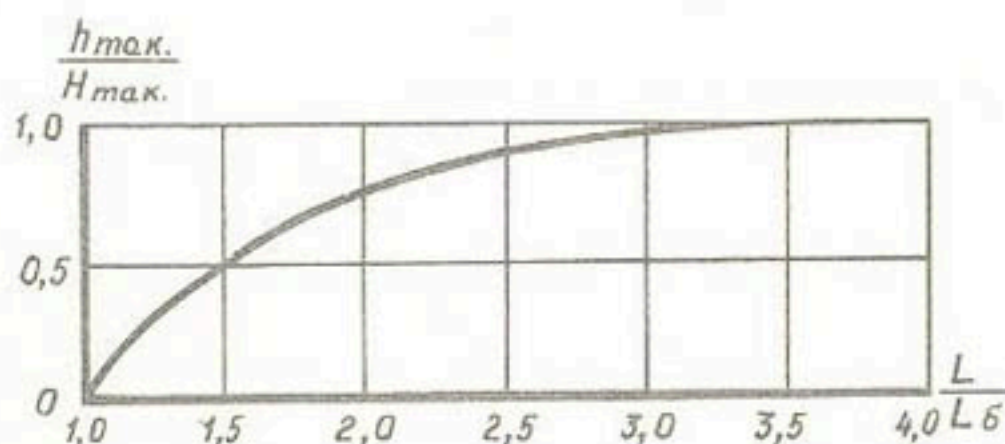


Рис.3. Относительное искажение амплитуды синусоидальной неровности

В случае исследования поверхности поливных участков, особенно отводимых под поверхностные поливы, нужна большая подробность в описании рельефа, так как на продвижение воды в борозде оказывают заметное влияние неровности высотой от 3–5 сантиметров и более и имеющие такую же или чуть большую протяженность.

Поэтому при исследовании поверхности поливных участков необходимы профилографы, имеющие меньшую в сравнении с описанными продольную измерительную базу, либо профилографы, использующие другие принципы измерения и регистрации информации о размерах мезо- и микронеровностей и шероховатости поверхности.

Наряду с вышеописанными системами профилографов получили распространение устройства, специально предназначенные для записи мелких и мельчайших неровностей поверхности, объединяемые общим названием – микропрофилографы.

Если в основе работы описанных систем в конечном итоге лежит принцип выявления неровностей рельефа относительно некоторой искусственно воссоздаваемой линии отсчета бесконечно большой длины и неизменно ориентированной в пространстве (геодезической верти-

кали-горизонтали), то в основе работы следующего типа профилографов лежит принцип выявления неровностей относительно короткой базы профилографа, положение которой определяется текущими величинами высотных отметок начала и конца базы механизма. Записываемым, в этом случае, сигналом служит текущая величина отклонения средней точки опорной плоскости механизма от фактической величины высотной отметки неровности, т. е. записывается величина текущей ошибки по выражению (14). Известны конструкции таких микропрофилографов, использующих 16 балансирносвязанных колес, а также - ползковые конструкции [8].

Основным недостатком таких микропрофилографов является изменение длины его базы каждый раз в соответствии с длиной базы того механизма, на ход которого влияет микрорельеф изучаемый в данный момент. Кроме того, при записи микропрофиля таким прибором необходимо поддерживать с высокой степенью точности постоянство скорости его движения, так как при движении с переменной скоростью возникают ошибки в изображении протяженности неровностей.

Ввиду недостатков двух описанных систем профилографов в последние годы получили распространение профилографы, основанные на регистрации параметров движения "пятого" колеса, крепящегося к подвижной системе: автомобилю, тягачу, артиллерийской системе и т.п. [9]. Датчиком параметров движения "пятого колеса" может быть акселерометр [9] или маятниковый дисбалансный виброметр [8] (медленный маятник) для измерения инфранизкочастотных виброперемещений большой амплитуды. Принцип действия маятникового виброметра подробно описан в [10], а принцип действия профилографа с использованием этого виброметра подробно описан в [8]. Как отмечают авторы [8] основным недостатком профилографов с использованием метода записи параметров движения "пятого колеса" является большая погрешность в записи низких частот, что на практике приводит к тому, что записанный сигнал содержит только относительно высокочастотную составляющую профиля - микропрофиль.

Недостатки существующих систем записи профиля побудили автора заняться разработкой метода и аппаратуры, свободных от указанных недостатков. В результате сравнительного изучения существующих систем был предложен метод, объединяющий первые два способа построения профиля. Сущность предложенного метода заключается в том, что тележка профилографа, имеющего датчики текущих величин наклона базы к горизонту и скорости ее поступательного движения,

дополнительно снабжается датчиком отклонения средней точки опорной плоскости тележки от фактических отметок поверхности посередине её. Дополнительный сигнал суммируется с вычисленной величиной вертикального перемещения тележки, что при совместной записи с вычисленным сигналом горизонтального перемещения приводит к построению профиля трассы движения с точностью до его осреднения (сглаживания) только по площадке касания поверхности земли средним колесом. Ввиду того, что среднее колесо может быть сделано достаточно малым, такой метод позволяет записывать наряду с основными формами рельефа и мельчайшие подробности, не меньшие размеров среднего колеса. Иными словами, в терминах частотного представления функций, описывающих профили поверхности, спектр суммарного сигнала, пропущенного одновременно через фильтр низких и фильтр высоких частот, содержит те же частоты, что и входной сигнал, то есть обеспечивается неискаженное воспроизведение сигнала.

Принципиальная схема профилографа с точной записью профиля поверхности, основанного на совместном использовании выражений (I0), (II) и (I4), приведена на рис.4.

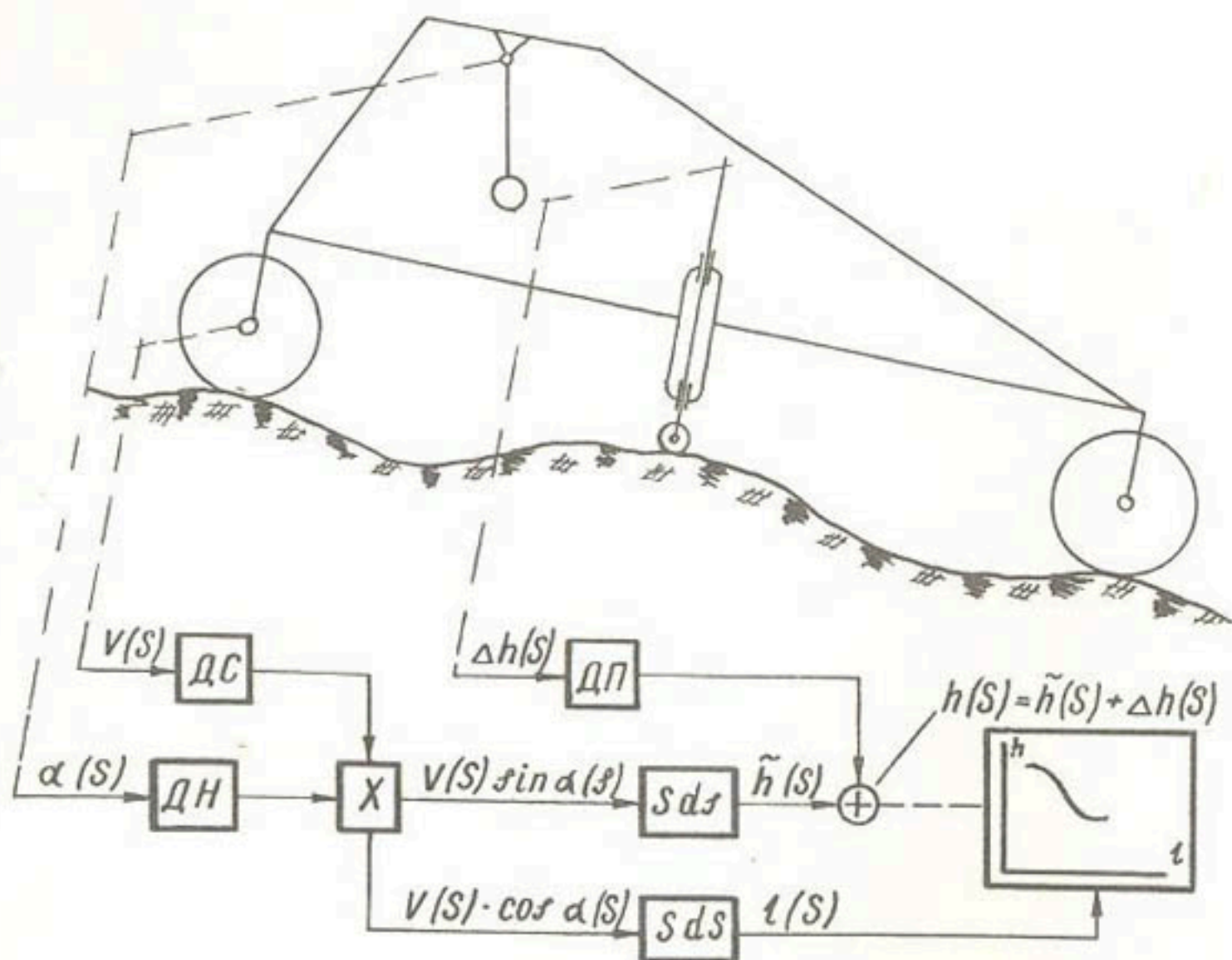


Рис.4. Принципиальная схема точной регистрации профиля

По предложенной схеме профилограф был изготовлен на базе малолитражного автомобиля повышенной проходимости ЗАЗ-969. В качестве датчика использовалась гировертикаль ЦТВ-2. Датчиком скорости профилографа явился тахгенератор, установленный на "среднем" колесе. Датчиком вертикальных перемещений служит прецизионный линейный потенциометр. Питание всех бортовых систем осуществлялось от специальной аккумуляторной батареи. Сигналы датчиков записывались на магнитограф. Математические операции над сигналами в соответствии с выражениями (I0), (II) и (I4) проводились в лабораторных условиях на аналоговой вычислительной машине (АВМ) с соответствующей коммутацией операционных усилителей.

Построение профиля осуществлялось двухкоординатным самописцем на бумаге, причем построенные профили использовались только для визуальной оценки и сравнения различных профилей. В основном, сигнал, содержащий полную информацию о неровностях поверхности, был использован при моделировании на АВМ системы автоматического управления нарезкой поливных борозд без копирования микрорельефа. Рамки статьи не позволяют подробно остановиться на этом вопросе, однако отметим, что наличие информации о мелких и мельчайших подробностях микрорельефа позволило не только определить оптимальные размеры "сглаживающей" базы моделируемого механизма, но и получить при этом сигнал, соответствующий "устраняемой" части микрорельефа, что, в свою очередь, позволило определить параметры следящей системы управления рабочими органами. На рис.5 приведен образец записи профилей по системе взаимно-перпендикулярных створов

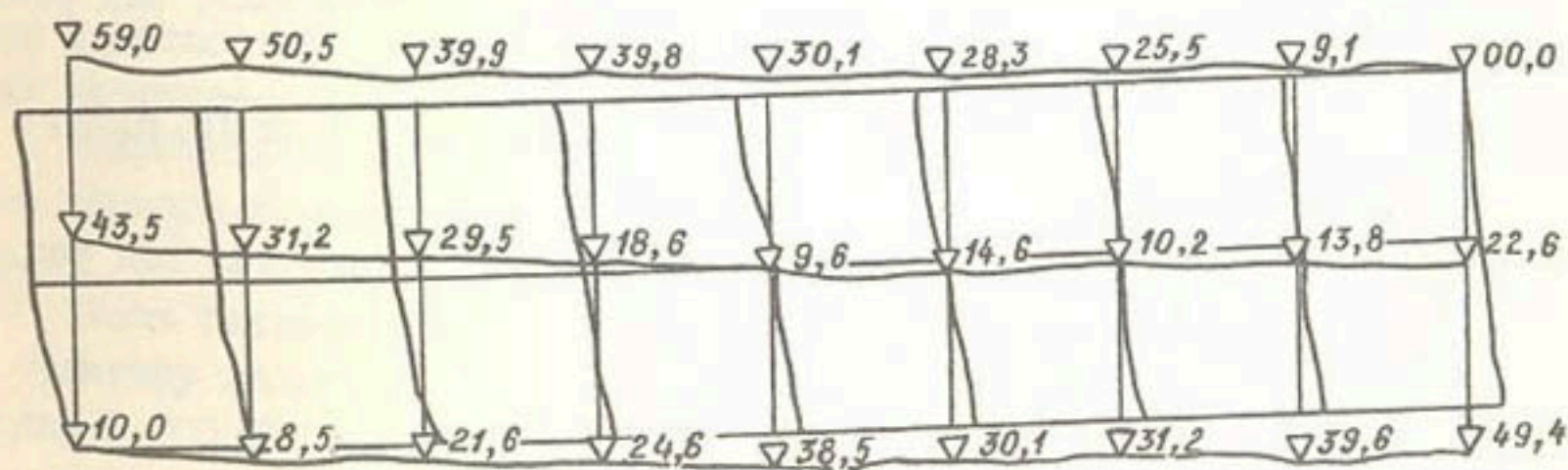


Рис.5. Образец записи профиля. Размеры участка 160x40 м. Масштабы: продольный и поперечный 1:1000, вертикальный 1:10

на участке полигона ВНИИМИТП, по которому можно определить общий уклон участка и оценить сложность микрорельефа поверхности, изображенного на чертеже в соответствующем масштабе с точностью до его осреднения "средним" колесом профилографа, имеющим радиус 8 см.

Л и т е р а т у р а

1. Л е о н т о в с к и й П. Нивелир - автомат проф. Леонтовского, Екатеринослав, 1915.
2. Л е о н т о в с к и й П. Нивелир - автомат - "Южный инженер", 1915.
3. Н е ч и п о р е н к о П. Некоторые дополнения к нивелир-автомату проф. П. Леонтовского и автоматическое вычерчивание нивелирного профиля. - "Геодезист", 1926, № 13-14.
4. Д р о б ы ш е в Ф. Нивелир-автомат. - "Геодезист", 1926, № 9-10.
5. А р т а н о в М.А. Нивелир-автомат. М., Трансжелдориздат, 1949.
6. М а л к и н Л.А., Ш и л л и н г е р В.И. Автоматические приборы для определения превышений, устанавливаемые на автомобиле. Труды МИИГАиК. Вып. 23. Геодезиздат, 1956.
7. Child W. Jhonson Ground Elevation Meter.
"The Australian Surocyor", September 1965.
8. Динамика системы дорога-шина-автомобиль-водитель, под ред. Хачатурова Н.А. М., "Машиностроение", 1976.
9. Т ю т ю н н и к Ю.Ф. А.с. № 120014 кл. 42с 9 от 10.10.58 "Дорожный профилограф".
10. Электрические измерения неэлектрических величин, под ред. Савицкого П.В. Изд. пятое. Л., "Энергия", 1975.

К ВОПРОСУ ПЛАНИРОВКИ ПОЛЕЙ ПРИ ОСУШЕНИИ ТОРФЯНИКОВ

Практика планировки осушаемых минеральных земель и торфяников показывает, что применение известных длиннбазовых прицепных планировщиков типа П-4, ПТ-4А, П-2,8 и др. на этих землях с низкой несущей способностью почво-грунта малоэффективно, а в отдельных случаях просто невозможно из-за глубокого погружения колес планировщиков в грунт.

К общим недостаткам длиннбазовых прицепных планировщиков можно отнести большую металлоёмкость конструкции, низкую маневренность и большое удельное давление на грунт.

В 1962-1963 гг. Севниигимом были проведены сравнительные испытания планировщиков ПТ-4А, ПДН-10 конструкции Южниигима и ПП-2,5 - Севниигима по выравниванию осушаемых земель в условиях Северо-Западной зоны РСФСР [1].

Проведенные испытания показали неудовлетворительную работу этих планировщиков. Например, планировщик ПТ-4А, попадая колесами в понижения, садился на раму, и при этом значительно возрастали тяговые сопротивления вплоть до пробуксовки трактора.

Планировщик ПП-2,5 на переувлажненной почве забивался и плохо отсыпал грунт в понижения.

Хронометражные наблюдения за работой планировщика ПДН-10 показали большую трудоемкость его монтажа и демонтажа (около 3 ч), а при транспортировке с одного участка на другой наблюдалась большая встряска и удары дышла с лыжей о землю.

Перечисленные недостатки можно устранить путем создания более легкого по конструкции навесного планировщика полозкового типа.

Нами разработан навесной планировщик ПДН-3 полозкового типа к трактору класса 30 кН с низким удельным давлением на грунт (порядка 0,005 МПа) [2].

В июле 1976 г. проводились исследования, цель которых заключалась в определении работоспособности экспериментального образца навесного планировщика ПДН-3 полозкового типа на осушаемом .

торфянике (рис.1). Принцип работы навесного длиннобазового планировщика ПДН-3 показан на рис.2.

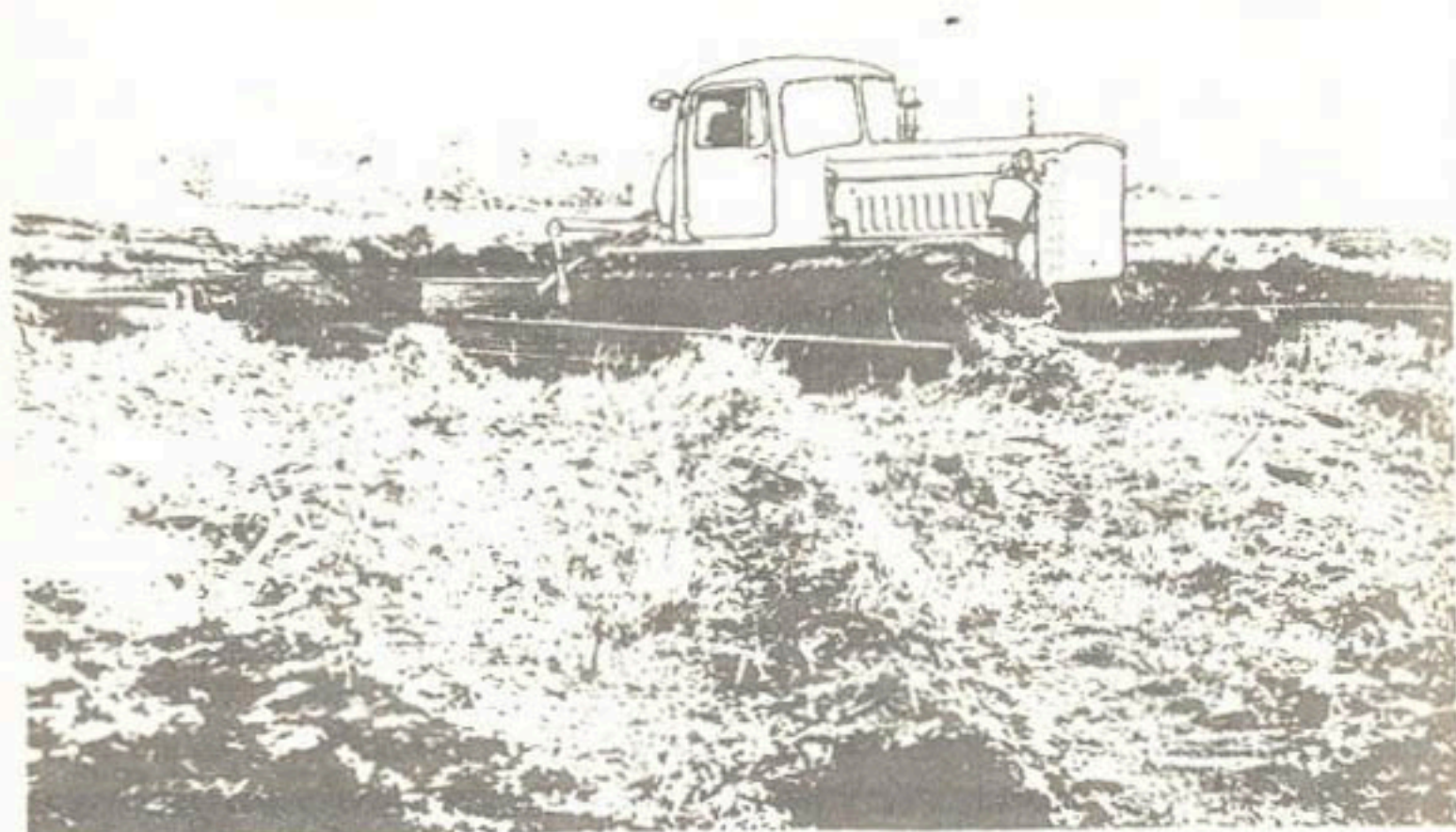


Рис.1. Микрорельеф опытного участка и его выравнивание планировщиком ПДН-3

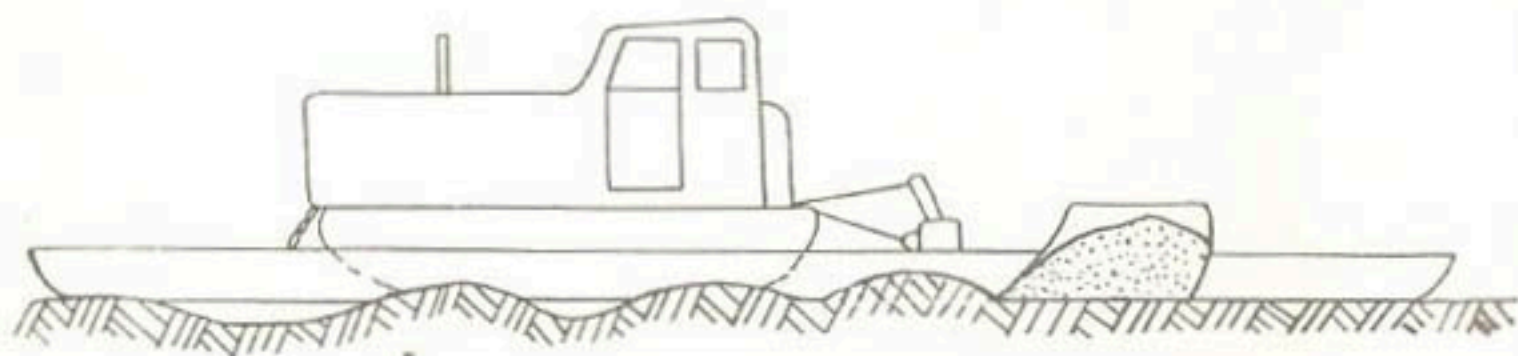


Рис.2. Технологическая схема работы навесного планировщика ПДН-3

При движении по планируемой поверхности опорная часть полозов вследствие мгновенного перераспределения удельного давления на выступах неровностей почво-грунта прорезает их и погружается до тех пор, пока вес планировщика не уравнивается силой реакции уплотненного полозами почво-грунта. Рабочий орган планировщика срезает те выступы неровностей почво-грунта, которые находятся внутри продольной базы планировщика, транспортирует грунт, отсыпает его в понижения и тем самым выравнивает поверхность. Чтобы рабочий орган планировщика не производил срезку на ровной поверхности, его устанавливают на ровной поверхности планируемого участка и начинают движение вперед до тех пор, пока погружение (вдавливание) полозов стабилизируется. Затем, зная величину погружения полозов на ровной поверхности, рабочий орган устанавливают перед началом работы выше опорной плоскости полозов на эту величину.

При разворотах планировщика в конце гона, а также при транспортировке с одного участка на другой, подъем осуществляется с помощью гидравлической навески трактора на высоту 0,55 м от поверхности земли.

Исследования по определению работоспособности планировщика ПДН-3 проводились на осушенном торфоболоте "Красное" Рязанской области [3].

Торфяная залежь включает 67,8% торфов верхового типа, 25,6% низинного и 7,1% переходного.

Средняя степень разложения торфа по массиву равна 32%, средняя пнистость залежи - 2%, мощность торфа на опытном участке - 0,2-0,4 м.

Рельеф опытного участка сложный с ярковыраженным микрорельефом, с чередующимися неровностями длиной 25-30 и высотой 0,3-0,4 м с переменными уклонами.

Плотность торфа в слое 0-30 см, замеренная в трехкратной повторности плотномером ВИСХОМа, составляла соответственно по горизонтам 0,04-1,2 МПа; влажность в период испытаний была 18-27%.

Методика исследования заключалась в нивелировке полос длиной 100-150 м до и после каждого прохода планировщика через 10 м. На основании данных нивелировок по полосам строились продольные профили, находились величины срезок и насыпей торфо-грунта. Тяговые сопротивления планировщика на холостых и рабочих ходах измеряли пружинным динамометром.

На рис.3 показаны продольные профили участка до и после прохода навесного планировщика, из которых видно, что максимальный объём работ выполняется при первом проходе планировщика, а максимальная толщина стружки при этом равна 13 см.

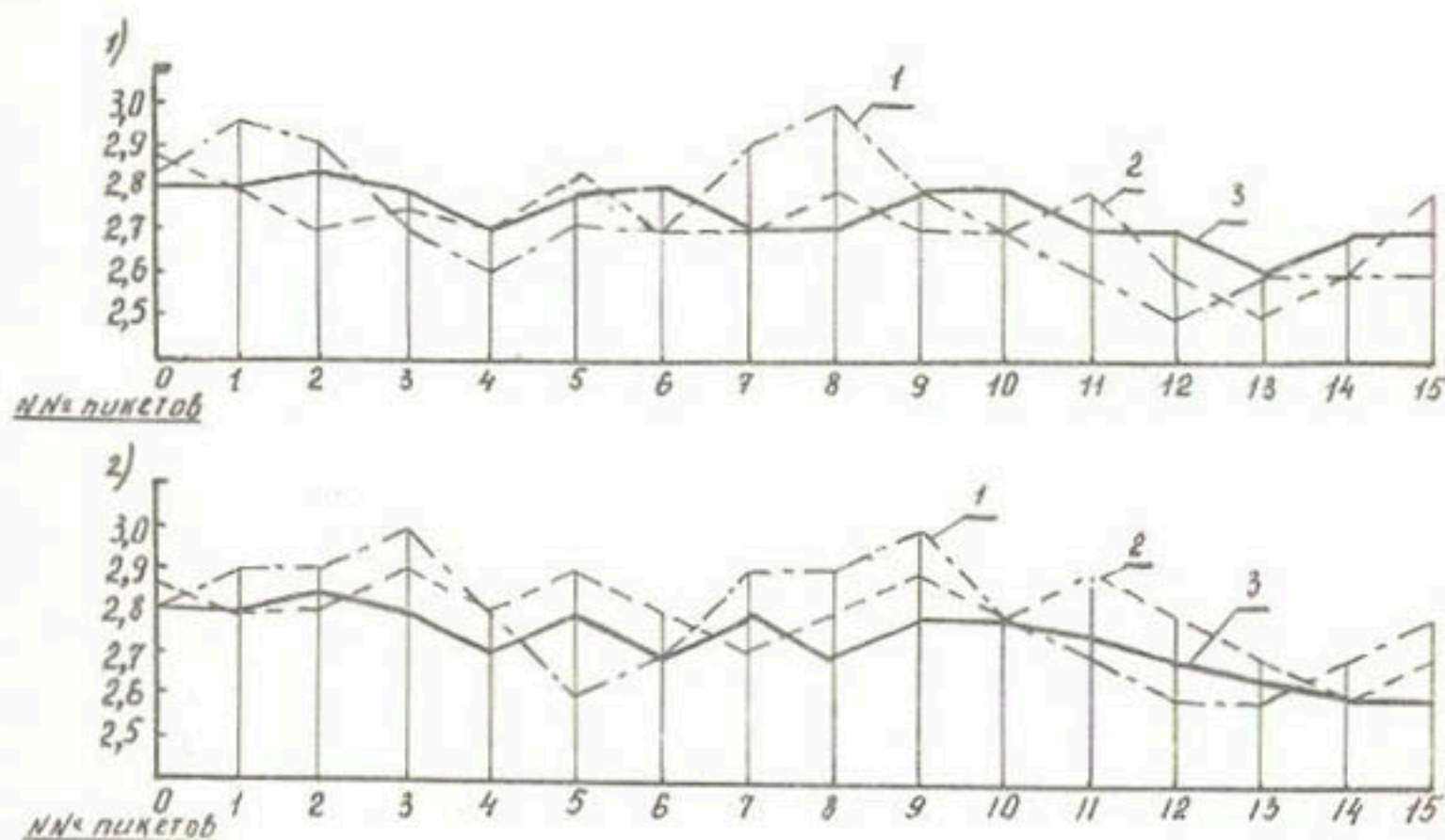


Рис.3. Продольные профили участков (I и 2) до и после прохода навесного планировщика ПДН-3: 1 – до прохода планировщика; 2 – после первого прохода; 3 – после второго прохода

За период наблюдений был спланирован в один след участок площадью 70 га. При этом поломок планировщика и нарушений технологического процесса производства планировочных работ не отмечено.

Были проведены три контрольные смены в полный рабочий день общей продолжительностью 15 ч чистого времени для изучения процесса работы навесного планировщика путем наблюдения и измерения длительности циклически повторяющихся элементов операции, рабочие ходы и повороты за час чистого и сменного времени.

Производительность планировщика за час работы чистого времени при длине гона 2000 м составила 1,8 га, а за смену в переводе на один след – 16,2 га.

Время, необходимое для разворота в конце гона, составляет 15–20 с. Тяговые сопротивления планировщика ПДН-3 на данном торфяном грунте при холостом ходе составляют 7 кН, а коэффициент трения стали о грунт равен $f = 0,51$.

Динамометрированием рабочего хода планировщика на контрольных полосах (в момент наибольшей срезки) при работе на первой передаче установлено, что тяговые сопротивления составляют 20 кН. При этом объем грунта в призме волочения составлял 3,5 м³, а максимальная толщина стружки - 13 см. Недозагруженность тягового усилия объясняется тем, что передвижение трактора при динамометрировании осуществлялось на первой передаче при скорости 3,6 км/ч, а расчетное тяговое усилие на крюке при этом составляло 30 кН.

Отсюда следует, что для эффективной загрузки тракторов класса 30 кН возможно проводить планировку торфяников при данной плотности на третьей передаче, тем самым увеличивая производительность планировочного агрегата в целом.

На основании проведенных исследований можно констатировать, что применение конструкции навесного планировщика ПДН-3 полозкового типа позволит значительно повысить эффективность планировочных орудий на осушаемых торфяниках.

Л и т е р а т у р а

1. К л и м к о А.И. К вопросу планировки полей при осушении минеральных земель. - Труды Севниигима, вып.26, Л., 1968.

2. Научно-технический отчет ВНИИМИТ за 1975 год по теме: "Разработать и испытать опытный образец маневренного навесного длиннобазового планировщика".

3. Проектное задание на реконструкцию и расширение торфопредприятия "Солотчинское" Рязанской области, М., 1967.

К.э.н. Фроликов П.И.,
к.э.н. Парфенова М.И.,
с.н.с. Королева А.П.,
Пономарева В.С.
(ВНИИМИТ)

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПОЛИВА

Экономическая эффективность средств механизации поверхностного полива по бороздам и полосам в значительной мере определяется техническими и эксплуатационными показателями их работы, а также топографическими и мелиоративными условиями орошаемого участка. Результаты государственных испытаний серийной поливной техники, проведенные зональными машиноиспытательными станциями (МИС) в течение нескольких лет, а также исследования работы опытных образцов позволяют установить их наиболее характерные технико-экономические и эксплуатационные показатели (табл. I).

Как видно из табл. I, техника поверхностного полива имеет существенные различия по металлоёмкости, расходу воды, протяженности оросительной сети.

Величина расхода воды и поливных норм, длины борозд и полос оказывают влияние на размеры КЗИ, удельную протяженность сети, производительность поливной техники.

На основе анализа материалов, полученных при государственных испытаниях, определены коэффициенты использования времени смены при определенной длине поливных борозд и полос (табл. I). Поливные планговые машины в связи с высокой трудоемкостью перемещения с одной позиции на другую характеризуются низким коэффициентом использования времени смены. В целом отмечается закономерная тенденция: с увеличением длины борозд и полос, поливных норм возрастает коэффициент использования сменного времени. Так для зон производства товарного зерна, где средняя норма полива $800 \text{ м}^3/\text{га}$ $K_{\text{см}}$ (коэффициент использования времени смены) колеблется в пределах 0,65–0,73, а для зон хлопководства при средней поливной норме $1000 \text{ м}^3/\text{га}$ – в пределах 0,73–0,95.

Производительность поливных машин при одной и той же поливной норме с увеличением длины поливных борозд возрастает, поливных норм – снижается.

Технико-экономические и эксплуатационные показатели поливных машин

Марка дождевальных машин									
I	ША-165	ША-165У	ША-165У ℓ=100 м	ПА-300	ПТ-250	ТИУ-200	ТИУ- -100	Трубочки- сифоны	
	2	3	4	5	6	7	8	9	
Расход, л/с	165	200	200	300	165	200	100	-	
Масса, кг, общая	3283	4595	4353	4574	3626	3960	2140	-	
поливной машины	638	1175	1033	1924	981	1310	1000	-	
трактора	2645	3420	3420	2650	2645	2650	1140	-	
Марка трактора	Т-28Х4	Т-54-В	Т-54-В	МТЗ-50	Т-28Х4	МТЗ-50	Т-40	-	
Металлоёмкость, $\frac{\text{кг}}{\text{л/с}}$	19,9	23,0	22,3	15,2	22,0	19,80	21,4	-	
Уд. протяженность сети, м/га постоянной ℓ _с =200 м	8,5	8,5	-	-	8,5	57,5	-	8,5	
ℓ _с =400 м	8	8	8	-	8	8	31,4	8	
ℓ _с =600 м	-	-	7,5	-	-	7,5	23,1	7,5	
временной ℓ _с =200 м	12	12	-	-	12	-	-	49	
ℓ _с =400 м	10	10	22,7	-	10	23,4	-	24,7	
ℓ _с =600 м	-	-	15,1	-	-	15,6	-	16,4	
КЗИ	0,96	0,96	0,95-0,96	-	0,95-0,96	0,95-0,96	0,96	0,94-0,96	
КПД	0,72	0,72	0,72	-	0,72	0,72	0,85	0,72	

Продолжение таблицы I

I	2	3	4	5	6	7	8	9
Коэффициент использования времени смены при $m = 1000 \text{ м}^3/\text{га}$								
$t_{\delta} = 200 \text{ м}$	0,76	0,73	-	-	0,73	-	-	-
$t_{\delta} = 400 \text{ м}$	0,86	0,84	0,77	-	0,80	0,83	0,90	-
$t_{\delta} = 600 \text{ м}$	-	-	0,83	-	-	0,84	0,90	-
Производительность полив- ной техники в час сменно- го времени, га при $m = 1000 \text{ м}^3/\text{га}$								
$t_{\delta} = 200 \text{ м}$	0,43	0,50	-	-	0,42	-	-	-
$t_{\delta} = 400 \text{ м}$	0,49	0,58	0,53	-	0,46	0,58	0,52	-
$t_{\delta} = 600 \text{ м}$	-	-	0,57	-	-	0,59	0,53	-

Для экономической оценки эффективности поливных машин были разработаны модели орошаемых участков для каждой группы однотипных поливных машин с учетом их конструктивных параметров и технологии применения. В основу параметров орошаемых участков были положены работы авторов (Багрова М.Г., Филимонова М.С. и др.), разработки ВНИИМИП (Алиева И.Г., Разумовского А.А.), полученные при орошении в Поволжье на светло-каштановых почвах.

Каждый орошаемый участок представляет модель и имеет свои, свойственные данному типу машины параметры оросительной сети, состоящей из внутрихозяйственного облицованного сборным железобетонным оросительного канала пропускной способностью 500–1000 л/с, хозяйственных и участковых распределителей в земляном русле и насосной станции (рис. I).

Влияние природно-хозяйственных факторов на эффективность немеханизированного полива с применением различных машин определено путем расчета значений основных технико-экономических и эксплуатационных показателей: производительности машины и труда на поливе, параметров оросительной сети и ее капиталоемкости, эксплуатационных и приведенных затрат. Величина оросительных норм для зерновой зоны Поволжья колеблется в пределах 1800–4000, а для хлопковой зоны – 4000–8000 м³/га.

В этих природно-хозяйственных зонах имеются значительные различия в величине поливных норм, что было учтено при экономической оценке поливных машин.

Величина поливных норм, как показывают результаты исследований, проведенных на светло-каштановых почвах, предопределяются временем добегания воды до конца борозды (табл. 2). Время добегания воды, а следовательно, и величина поливной нормы находится в прямой зависимости от механического состава почв (супесчаные, суглинистые, глинистые и т.д.), уклона поливной карты, расхода воды в борозду, длины поливной борозды. На участке с высоководопроницаемыми почвами (рис. Ia) борозда ограничена длиной 200 м, и полив таких участков возможен лишь с применением шланговых машин ШПА-165, ШПА-165У и ПТ-250. При поливе с помощью трубочек-сифонов и других машин по бороздам длиной 200 м резко снижается КЗИ и производительность с.-х. машин при обработке посевов. Применение опытных образцов ТПУ-100 связано с большой удельной протяженностью закрытой оросительной сети, а следовательно, и высокой капиталоемкостью. На участках со средневодопроницаемыми почвами (рис. Ib, в, г) длина поливной борозды допустима в пределах 250–400 м.

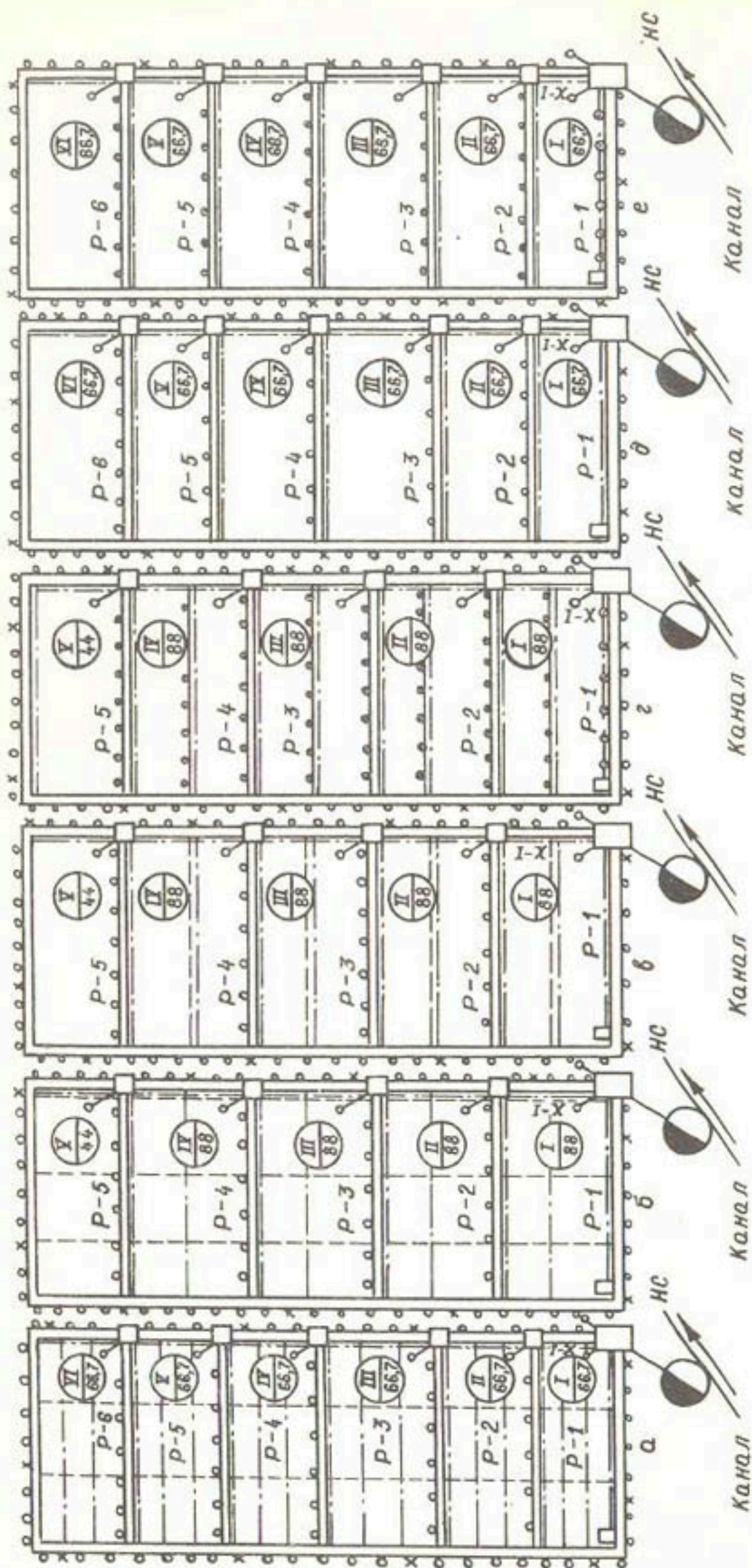


Рис. 1. Схемы орошаемых участков:

- а) полив ША-165У, ПТ-250, ША-165, длина борозд 200 м, уклон 0,01-0,007, почвы сильноводопроницаемые;
б) полив ША-165У, ПТ-250, ША-165, длина борозд 400 м, уклон 0,004-0,007, почвы средневодопроницаемые;
в) полив ТПУ-200, ША-165У, длина борозд 400 м, уклон 0,004-0,007, почвы средневодопроницаемые;
г) полив ТПУ-100, длина борозд 400 м, уклон 0,004-0,007, почвы средневодопроницаемые;
д) полив ША-165У, ТПУ-200, длина борозд 600 м, уклон 0,002-0,005, почвы слабодопроницаемые;
е) полив ТПУ-100, длина борозд 600 м, уклон 0,002-0,005, почвы слабодопроницаемые

⊗ — поля севооборота
— площадь орошения нетто, га

□ — водовыпуск; — — — — — участки орошения нетто, га

— — — — — дороги; — — — — — магистральный канал; — — — — — участковый канал;

..... — лесополосы; Р-1; Х-1 — распределительные водоводы

На этих участках рассмотрены параметры оросительной сети, характерные для шланговых машин ШПА-165, ШПА-165У и ПТ-250 с длиной трубопроводов 400 м (рис.1б), а также свойственные опытным образцам жестких трубопроводов ТПУ-200, шланговой машине ШПА-165У длиной 100 м (рис.1в) и ТПУ-100 (рис.1г).

Как видно из табл.1, опытный образец трубопровода ТПУ-100 и поливные шланговые машины ШПА-165, ШПА-165У и ПТ-250 имеют примерно одинаковый КЗИ, но у ТПУ-100 более высокий КПД (0,85). На орошаемом участке со слабОВОдопроницаемыми почвами (рис.1д) при длине борозд 600 м проанализирована оросительная система с ШПА-165У длиной шланга 100 м, ТПУ-200 и ТПУ-100. Все эти машины могут осуществлять полив с расходом воды в борозду 1,5-2 л/с.

В структуре времени смены поливных трубопроводов ШПА-165 и ШПА-165У большой удельный вес занимает время простоев по технологическому обслуживанию агрегатов от II до 25%, т.е. около половины всех простоев.

Таблица 2

Продолжительность полива и величина поливных норм на момент добегаия (почвы светло-каштановые, уклон 0,004-0,007)

Расход в борозду, л/с	Длина борозд, м			Длина борозд, м		
	200	400	600	200	400	600
	Время добегаия, мин			поливная норма на момент добегания, м ³ /га		
	<u>Обычные борозды</u>					
2,1	77	250	520	692	1125	1560
1,5	109	359	750	700	1153	1607
0,3	535	1780	3700	687	1144	1566
	<u>Прикатанные борозды</u> ж)					
2,1	47	124	230	423	558	690
1,5	63	166	310	405	533	664
0,3	235	640	1180	302	410	506

ж) Полив без сброса (0-10%) при рыхлении (щелевании) концевой части борозд $M = 0,7-0,9$.

По данным Киргизской МИС, из 123,7 ч всех технологических простоев 82,3 ч, или 66,5%, затрачено на разборку, укладку и сборку поливных шлангов. Кроме того, около 2,5 ч составили затраты

времени на очистку всасывающей линии и поливных шлангов и более 10 ч на соединение шлангов муфтами. Таким образом, до 3/4 времени технологических простоев связано с перемещением гибких шлангов. Из всего времени простоев по технологическим причинам более 96% занимают простои из-за разрывов поливных шлангов, срок службы которых по различным источникам колеблется от 2 до 3 лет. Низкий коэффициент использования времени смены оказывает существенное влияние не только на снижение сменной и сезонной производительности поливных шланговых машин, но и предопределяет большие потери воды на сброс.

Величина удельных капиталовложений в оросительные системы с поливными шланговыми машинами и жесткими трубопроводами находятся в прямой зависимости от удельной протяженности постоянной и временной оросительной сети, параметры которых предопределяются длиной поливной борозды и самой машиной (табл.3).

Как видно из табл.3, при длине борозд 200 м менее капиталоемкой в расчете на 1 полив является ШПА-165У и самой капиталоемкой — ШПА-165.

При длине борозд 400 м самая высокая капиталоемкость системы с ТПУ-100, затем с ШПА-165У ($l = 100$ м), ТПУ-200 и ПТ-250.

При длине борозд 600 м по минимальной капиталоемкости на первом месте стоит ТПУ-200, а ШПА-165У ($l = 100$ м) и ТПУ-100 находятся по этому показателю примерно на одном уровне.

По производительности труда на поливе (табл.4) на первом месте из шланговых машин стоит ШПА-165У и на последнем — ПТ-250.

ПТ-250 по затратам труда на поливе имеет более низкий показатель, чем при ручном поливе с помощью трубочек-сифонов. Если при немеханизированном поливе нормой $1000 \text{ м}^3/\text{га}$ сменная производительность составляет 2,1 га, то при поливе с применением ПТ-250 — 1,1 га на человека.

Наиболее эффективными по производительности труда на поливе являются ТПУ-100, ТПУ-200, ШПА-165У, ТПУ-100 и ТПУ-200, которые превосходят шланговые машины по производительности труда в 1,5–2,0 раза.

Эксплуатационные затраты на полив — один из важных экономических показателей поливной техники, в значительной мере определяющий общую эффективность орошения и экономичность той или иной поливной машины. Уровень затрат на орошение зависит от капиталоемкости системы, трудоёмкости полива, топографических условий и ре-

Таблица 3

Экономическая эффективность оросительных систем с различной поливной техникой в зонах производства товарного зерна (Поволжье) и хлопководства (УзССР)

Наименование поливной техники	Зона товарного зерна				Зона хлопководства			
	сезонная нагрузка, га	удельные капитальные вложения, руб/га	эксплуатационные затраты, руб/га х)	приведенные затраты, руб/га х)	сезонная нагрузка, га	удельные капитальные вложения, руб/га	эксплуатационные затраты, руб/га х)	приведенные затраты, руб/га х)
I	2	3	4	5	6	7	8	9
ОБЫЧНЫЕ БОРОЗДЫ								
Длина поливной борозды 200 м								
ППА-165	171	659	55,0	121	112	688	63,1	146
ППА-165У	186	652	52,0	117	123	677	59,2	140
ПТ-250	170	654	56,5	123	111	696	63,0	147
Длина поливной борозды 400 м								
ППА-165	184	626	52,9	116	129	650	60,0	138
ППА-165У	208	622	50,6	113	138	645	57,4	135
ППА-165У при t тр.=100 м	208	660	52,0	118	138	680	56,6	138
ПТ-250	182	636	57,4	121	127	666	64,4	144
ТПУ-200	243	654	43,3	108	161	669	45,4	125
ТПУ-100	146	701	42,3	112	97	832	51,6	143
Длина поливной борозды 600 м								
ППА-165У при t тр.=100 м	220	592	50,3	110	146	611	47,6	121
ТПУ-200	148	624	40,0	104	98	729	47,3	133
ТПУ-100	274	584	39,2	98	183	598	40,9	117
ПРИКАТАННЫЕ БОРОЗДЫ								
Длина поливной борозды 400 м								
ППА-165	239	618	47,8	110	159	636	54,4	118
ППА-165У	270	615	46,7	109	179	632	54,8	118
ППА-165У при t тр.=100 м	270	654	47,7	113	179	669	53,3	120
ПТ-250	261	626	50,9	113	173	639	55,3	119
ТПУ-200	316	651	41,7	107	209	662	45,0	111
ТПУ-100	190	701	46,7	117	190	830	50,3	133

I	2	3	4	5	6	7	8	9
<u>Длина поливной борозды 600 м</u>								
ППА-165У при $l_{тр.} = 100$ м	286	586	34,6	103	190	601	48,6	109
ТПУ-200	356	581	37,6	96	356	581	39,8	98
ТПУ-100	192	604	38,0	98	127	726	45,5	116

- ж) В расчете на I полив поливной нормой $800 \text{ м}^3/\text{га}$ ($l_{бор.} = 200 \text{ м}$); $1200 \text{ м}^3/\text{га}$ ($l = 400 \text{ м}$); $1600 \text{ м}^3/\text{га}$ ($l = 600 \text{ м}$).
- жж) В расчете на I полив поливной нормой $600 \text{ м}^3/\text{га}$ ($l = 400 \text{ м}$); $800 \text{ м}^3/\text{га}$ ($l = 600 \text{ м}$).

жима орошения с.-х. культур. Приведенные затраты на полив для сельскохозяйственных зон, имеющих различные режимы орошения и состав культур, существенно отличаются (табл.3). С возрастанием числа поливов увеличиваются и затраты на орошение.

С увеличением длины поливных борозд идет обратный процесс – затраты на орошение сокращаются. Затраты на орошение при поливе по коротким бороздам с помощью трубочек-сифонов на проведение первого полива самые низкие, а затем за счет больших затрат труда резко возрастают с $59,2$ (I полив) до $87,7$ руб/га (6 поливов) при длине борозд 200 м . Проведение первого полива ППА-165У менее эффективно, по сравнению с трубочками-сифонами, но на последующих поливах (втором, третьем и т.д.) ППА-165У является лучшей машиной для полива по коротким бороздам.

Самые низкие затраты на проведение полива при бороздах средней длины ($l = 400 \text{ м}$) на участках с жесткими трубопроводами ТПУ-200, ТПУ-100; выше – с применением трубок-сифонов и самый дорогой полив – при использовании ПТ-250. При поливе по длинным бороздам первый, второй и третий поливы дешевле проводить с помощью трубочек-сифонов. При последующих поливах затраты на орошение резко возрастают и эффективность их применения снижается.

Высокая производительность труда на поливе с применением опытных образцов поливных машин ТПУ-200, ТПУ-100 оказывает существенное влияние на структуру эксплуатационных затрат, т.е. на соотношение доли "живого" и овеществленного труда в стоимости ороше-

ния (табл.4). Основную часть эксплуатационных затрат по жестким трубопроводам ТПУ-200, ТПУ-100 составляют расходы по амортизации и текущему ремонту (79-87%), и лишь 13-20% - на оплату труда. Это свидетельствует о высокой степени механизации процесса полива данными машинами, что нельзя сказать о шланговых, у которых удельный вес оплаты труда в структуре затрат примерно равен затратам при поливе с применением трубочек-сифонов, а у ПТ-250 превосходит их на 10%.

Таблица 4

Производительность труда при поливе по бороздам
(поливная норма 1000 м³/га)

Наименование поливных машин	Число машин, обслу- живае- мых одним челов.. шт.	Расход воды управ- ляемый одним челове- ком, л/с	Производитель- ность поли- вальщика в смену, га		Требуется на орошение 1000га при круглосуточ- ном поливе человек			
			t=200м	t=400м	зона хлопко- водства		зона товар- ного зерна	
					t=200м	t=400м	t=200	t=400
ППА-165	0,5	8,3	1,47	1,61	53	46	35	33
ППА-165У	0,5	100	1,68	1,93	49	44	32	29
ППА-165У при t = 100 м	0,5	100	-	1,99	-	44	-	29
ПТ-250	0,33	55	1,03	1,10	75	71	53	50
ТПУ-200	-	200	-	4,0	-	18	-	12
ТПУ-100	2-3	200-300	-	5,73	-	16	-	10
Трубочки-си- фоны	60-80	90-100	1,96	2,1	33	30	33	30

Обобщающим показателем экономической эффективности капиталовложений в поливную технику является минимум приведенных затрат (табл.3).

Приведенные затраты по каждой поливной машине и при ручном поливе представляют собой сумму текущих затрат на орошение (себестоимость) и капитальных вложений, приведенных к одинаковой размерности в соответствии с нормативом эффективности.

Отраслевой нормативный коэффициент эффективности капиталовложений для сравнительной оценки был принят 0,1 для зерно-животноводческой зоны (Поволжье) и 0,11 - для хлопковой. По сумме приведенных затрат видно, что при поливе по коротким бороздам наиболее эффективным является ППА-165У.

При длине борозды 400 м на первом месте по затратам стоит полив с помощью трубочек-сифонов, затем ТПУ-200. При длине борозды в 600 м наименьшие затраты приходятся на ТПУ-100 и трубочки-сифоны (первые три полива). Таким образом, приведенные затраты при длине борозд 400 м при поливе трубочками-сифонами и колесными трубопроводами находятся примерно на одном уровне, лишь с той разницей, что производительность труда с ТПУ-200 в 3 раза выше.

Известно, что водопотребление различных с.-х. культур зависит от физиологических фаз развития и колеблется в пределах 25-80 для озимой пшеницы и 50-120 м³/га в сутки - для хлопчатника. Следовательно, величина поливных норм при межполивном периоде 12-15 суток была бы достаточной в пределах 600-1000 м³/га.

Однако по опубликованным данным (В.Я.Чичасов, В.В. Изюмов, В.Ф. Носенко) и экспериментальным исследованиям ВНИИМИТ (И.Г.Алиев, А.А.Разумовский), поливными нормами 600-1000 м³ можно полить лишь участки с длиной поливной борозды 150-170 м. При длине поливных борозд с диапазоном колебаний 400-600 м (табл.2) величина поливных норм достигает 1150-1600 м³/га. При таких высоких поливных нормах возрастают потери воды на глубинные утечки, повышается уровень грунтовых вод, увеличиваются затраты на орошение, снижается производительность поливных машин и труда на поливе. Поэтому представляет интерес технология полива по прикатанным бороздам, позволяющая проводить поливы оптимальными нормами, при минимальных потерях воды на фильтрацию. Разработка такой технологии с прикатыванием дна поливных борозд была начата в Южннигме, Армниивпиге, Аз-ниигме и продолжена во ВНИИМИТ. Экспериментальные данные по поверхностному поливу с использованием прикатанных борозд большой пропускной и транспортирующей способности были получены на светло-каштановых почвах Поволжья и приведены в табл.2. Прикатанные борозды позволяют несколько уменьшить затраты воды на полив, повысить сменную и сезонную производительность поливной техники и сократить затраты на орошение. Повышение сезонной нагрузки на машину несколько снижает единовременные затраты на поливную технику, а это, в свою очередь, снижает эксплуатационные затраты на орошение примерно на 9 и сумму приведенных затрат на 7,8% (табл.3). Эффект новой технологии поверхностного полива по прикатанным бороздам заключается в снижении единовременных и эксплуатационных затрат, но наибольшая ценность этой технологии при ограниченности водных ресур-

сов состоит в большой экономии поливной воды и в равномерности распределения ее по длине борозд.

Жесткие поливные трубопровода ТПУ-200 и ТПУ-100 могут применяться как для полива по бороздам, так и по полосам. Экономическая оценка эффективности их использования показана при поливе по бороздам. Поскольку эксплуатационные показатели при поливе по бороздам и полосам не имеют существенных различий, то их экономическая оценка ограничена расчетами по их применению на поливе по бороздам различной длины.

С.н.с. Оленин Н.Б.,
инж. Политова Н.С.
(ВНИИМИП)

МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ЭВМ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНИКИ ПОЛИВА ПО БОРОЗДАМ

Применение ЭВМ для моделирования элементов полива по бороздам позволяет определить оптимальные значения начального расхода, времени добегания воды на заданную длину, коэффициента увлажнения почвы в зависимости от параметров борозды (ширины борозды понижу, коэффициента заложения откоса, коэффициента шероховатости, гидравлического уклона) при широких пределах изменения одного из этих параметров или нескольких.

Описание процессов, происходящих при поливе по бороздам, подробно дано в работах [2], [3] и здесь не приводится.

При определении времени пробега потоков с переменной массой и неустановившимся режимом на основе решения уравнения баланса воды в борозде, описанной в работе [3], один из элементов расчета — конечная глубина наполнения h_k — не имел точного определения. Глубина наполнения в конечном створе, средняя глубина наполнения в пределах последнего метра, в последнюю расчетную минуту принималось $h_k = 1/3 h_0$. Это допущение определяло точность всего расчета в пределах $\pm 10\%$.

В настоящее время оказалось возможным найти более точное решение для определения h_k для каждого конкретного случая. Рассматривая кривую спада потока в борозде как монотонно изменяющуюся непрерывную функцию типа $y = a/x^\alpha$, возможно в логарифмических координатах представить эту функцию в виде прямой с тем или иным угловым коэффициентом $\lg y = \lg a - \alpha \lg x$

Экстраполируя до конечного отрезка борозды с заранее принятой точностью, на определенных расстояниях L_1 и L_2 , значительно меньших, чем длина пробега, определяются значения H_1 и H_2 , которые используются при вычислении h_k .

Расчеты также можно проводить для прикатанных борозд параболического сечения, обладающих повышенной пропускной и транспортирующей способностью.

Расчеты проводятся в два этапа. Первый этап заключается в нахождении начальной глубины наполнения воды в борозде по заданно-

му значению расхода.

Будем рассматривать алгоритм расчета на примере программы "Определение времени добега струи на заданную длину из уравнения баланса воды в борозде".

I этап

Вычисление начальной глубины наполнения производится по следующей схеме:

1. Задается начальное значение глубины наполнения h_n .

2. Определяется площадь живого сечения в начале борозды ω и определяется относительная глубина наполнения для трапецеидального сечения $\omega_o = (b + m h_n) h_n$; параболического $r = h_n / x$,

$$\omega_o = \frac{1,8856}{\sqrt{r}} \cdot h_n^2,$$

где b — ширина борозды по низу;

m — коэффициент заложения откоса;

x — параметр параболы (расстояние от фокуса параболы до директриссы);

h_n — глубина наполнения.

3. Определяется величина смоченного периметра P_o

$$P_o = b + 2 h_n \sqrt{1 + m^2}; \quad P_o = x [\sqrt{2r(1+2r)} + 1_n (\sqrt{2r} + \sqrt{1+2r})].$$

4. Определяется величина гидравлического радиуса R_o

$$R_o = \omega / P$$

5. Определяется величина коэффициента Шези C_o

$$C_o = \frac{1}{n} + 17,72 \lg R,$$

где n — коэффициент шероховатости.

6. Определяется значение расхода Q_p

$$Q_p = 60 \cdot \omega \cdot c \cdot \sqrt{i \cdot R},$$

где i — гидравлический уклон.

7. Производится сравнение заданного расхода q_o с вычисленным значением Q_p . Если q_o не равно Q_p с заданной степенью точности ϵ_h , то к начальной глубине наполнения прибавляется Δh — шаг изменения глубины наполнения. Полученная глубина наполнения сравнивается с максимально возможной глубиной наполнения h_{max} . Если полученная глубина наполнения не превышает максимально возможную, то весь расчет повторяется с пункта 2. Если полученная глубина наполнения превышает максимально возможную, а равенства с

заданной степенью точности между q и Q_p не достигнуто, то происходит увеличение точности вычислений на шаг изменения точности вычислений $\Delta \varepsilon_h$ и весь расчет повторяется с пункта I. Если с заданной степенью точности, то расчет прекращается и на печать выдаются все вышеперечисленные величины (в расчете принимается, что $q_o \geq Q_p$).

II этап

По найденному значению начальной глубины наполнения в логарифмическом масштабе строится прямая добегания воды на заданную длину. На момент добегания на определенных расстояниях L_1 и L_2 снимаются значения H_1 и H_2 (рис. I).

Далее расчет производится в следующей последовательности:

I. Определяется конечная глубина наполнения воды при добегании её на заданную длину

$$\alpha_h = \frac{\lg H_2 - \lg H_1}{\lg L_1 - \lg L_2} \quad \text{и} \quad h_K = h_o / l^{\alpha_h},$$

где l — длина пробега воды.

2. Определяется площадь живого сечения в конце длины пробега w_K : для трапецеидального сечения $w_K = (b + m h_K) \cdot h_K$ для параболического

$$r_K = h_K / x; \quad w_K = \frac{1,8856}{\sqrt{r_K}} \cdot h_K^2.$$

3. Определяется α_w

$$\alpha_w = \frac{\lg w_o - \lg w_K}{\lg l}.$$

4. Определяется n_w

$$n_w = 0,5 \cdot \alpha_w^{0,1634}.$$

5. Определяется среднее значение площади живого сечения

$$w_{cp} = w_K (l \cdot n_w)^{\alpha_w}$$

6. Определяется объём воды, накопившейся в борозде в момент добегания струи на заданную длину W

$$W = w_{cp} \cdot l.$$

7. Определяется величина смоченного периметра в конце длины пробега P_K :

для трапецеидального сечения $P_K = b + 2 h_K \sqrt{1 + m^2}$;

параболического $P_K = x [\sqrt{2 r_K (1 + 2 r_K)} + \ln (\sqrt{2 r_K} + \sqrt{1 + 2 r_K})]$.

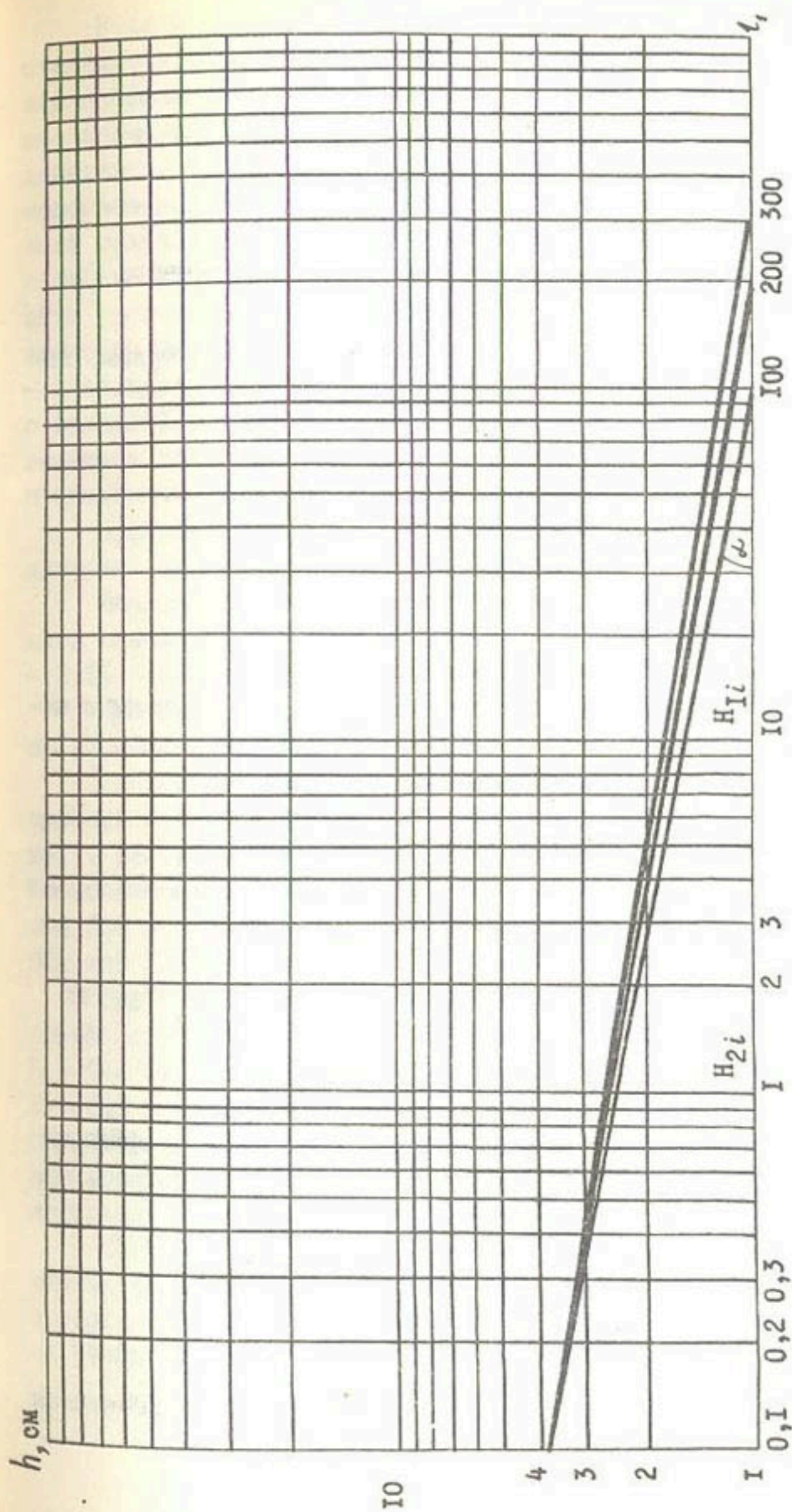


Рис. 1. Кривая добегания воды на заданную длину

8. Определяется α_p

$$\alpha_p = \frac{\lg P_0 - \lg P_K}{\lg t}.$$

9. Определяется n_p

$$n_p = 0,5 \cdot \alpha_p^{0,1634}.$$

10. Определяется среднее значение смоченного периметра P_{cp}

$$P_{cp} = P_K (n_p \cdot t)^{\alpha_p}.$$

Все величины, полученные по вышеперечисленным формулам, выводятся на печать.

11. Задаётся начальное время добега t_H .

12. Определяется α_t

$$\alpha_t = \frac{\lg t - \lg t_K}{\lg t},$$

где t_K — заданное время.

13. Определяется n_t

$$n_t = 0,5 \cdot \alpha_t^{0,1634}.$$

14. Определяется среднее время впитывания для борозды в целом t_{cp}

$$t_{cp} = t_K (t \cdot n_t)^{\alpha_t}.$$

15. Определяется разность между t_{cp} и T ,

где T — время инфильтрации.

Если $t_{cp} \leq T$, то для вычисления K_{cp} применяется формула А.Н. Костякова

$$K_{cp} = K_0 / t_{cp}^{\alpha}.$$

Если $t_{cp} > T$, то для вычисления K_{cp} применяется формула И.Г. Алиева

$$K_{cp} = \frac{K_c \cdot T + K_d (t_{cp} - T)}{t_{cp}},$$

где K_0 — средняя скорость впитывания в первую единицу времени;

K_d — установившаяся скорость впитывания;

α — показатель степени кривой впитывания;

T — полное среднее время впитывания.

$$K_c = K_0 / T^{\alpha}.$$

16. Вычисляется произведение $q_0 \cdot t$.

17. Вычисляется $P_{cp} \cdot t \cdot t_{cp} \cdot K_{cp} + W$.

18. Производится сравнение левой и правой частей уравнения баланса.

Если левая часть уравнения не равна правой части с заданной степенью точности ξ_t , то к начальному значению времени добега- ния прибавляется Δt — шаг изменения времени добега- ния. Полученное время добега- ния сравнивается с максимально возможным временем добега- ния t_{max} . Если полученное время добега- ния не превышает максимально возможного, то весь расчет повторяется с пункта I2. Если полученное время добега- ния превышает максимально возможное, а равенство с заданной степенью точности между правой и левой ча- стью уравнения баланса не достигнуто, то происходит увеличение точности вычислений на величину $\Delta \xi_t$ — шага изменения точности — и весь расчет повторяется с пункта I1. Если $q_0 t = P_{ср} \cdot t \cdot t_{ср} \cdot K_{ср} + W$ с заданной степенью точности, то расчет прекращается и на печать выдаются все величины, перечисленные в пунктах I1-I8 (в расчете принимается, что $q_0 t \geq P_{ср} \cdot t \cdot t_{ср} \cdot K_{ср} + W$).

Длина пробега воды в борозде может разбиваться на створы, ко- личество которых не должно превышать I0.

Начальная точность вычислений: глубины заполнения — 0,5%, шага изменения точности вычислений — 0,05%; времени добега- ния — 2,5%; шага изменения точности вычислений — 0,5%.

Программа, реализующая описанный выше алгоритм, составлена во внешних кодах ЭВМ "Наири-2" и состоит из 462-х команд.

Расчет по данной программе проверялся по фактическим данным пробега потока в бороздах длиной 500 м на светло-каштановых поч- вах в Волгоградской обл. (с-з "Дубовоовражный") при $i = 0,0043$. Фактическое время пробега потока расходом 1,5 л/с в бороздах дли- ной 500 м в рассматриваемых условиях при первом поливе составило 523 мин [5].

Время пробега потока в борозде длиной 500 м, определенное по вышеизложенной программе, при установившейся скорости впитывания $K = 0,4$ мм/мин составило 470,5 мин, а при водопроницаемости $K = 0,5$ мм/мин время добега- ния потока в борозде равно 584,5 мин. Среднее значение между этими двумя расчетными данными 528 мин. Та- ким образом точность расчета в значительной мере зависит от досто- верности данных полевого определения скорости впитывания.

Настоящая программа была использована при проектировании по- ливных участков поверхностным способом полива на Приволжской оро- сительной системе в Саратовской области [6] и опытного участка на стационарной оросительной системе в Каршинской степи [7].

Л и т е р а т у р а

1. К о с т я к о в А.Н. Основы мелиорации. Сельхозгиз, 1961.
2. А л и е в И.Г. Теория и расчет инфильтрационных поливов по бороздам. "Прогрессивная техника с.-х. культур". Материалы Всесоюзного семинара по прогрессивной технике полива. АзНИИГим, 1963.
3. А л и е в И.Г., Б о н ч к о в с к и й Н.Ф. Определение оптимальных элементов техники полива по бороздам.- Труды ВНИИМИП, т.2, Коломна, 1970.
4. Р е ш е т н и к о в М.Т., Р е ш е т н и к о в а Г.Н. Программирование для ЭВМ "Наири", вып. I. Издательство Томского университета, Томск, 1973.
5. Р а з у м о в с к и й А.А. Опыт полива по длинным бороздам с уплотненным дном в условиях Волгоградской области. Материалы второй зональной научно-производственной конференции. Волгоград, 1973.
6. Научно-технический отчет за 1976 год по теме Д-95, "Технология, технические средства и конструкции поливных участков механизированного полива колёсными трубопроводами на полустационарной закрытой низконапорной оросительной системе на примере Приволжской оросительной системы", Коломна, ВНИИМИП, 1976.
7. Научно-технический отчет за 1975 год по теме Д-69 "Разработка и производственные исследования автоматизированной системы полива", Коломна, ВНИИМИП, 1975.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРЕНИЯ И МЕТОДИКА
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДОЖДЯ

Расчет элементов (насадок) дождевальнoй машины, оценка дождя в начале, середине и конце струи осуществляется среднекубическим диаметром капли [1,2].

Оценка же качества дождя всей площади полива машиной, а следовательно, и оценка самой машины, осуществляется средним диаметром капли, определяемый как среднеарифметический по трем вышеназванным среднекубическим диаметрам [2].

Ввиду неравномерности дождя по интенсивности и размеру капель, особенно вдоль радиуса действия струи, видимо следует крупность капель по всей площади полива характеризовать среднекубическим (среднеобъемным) диаметром капли.

При оценке качества полива машиной не учитываются энергетические характеристики дождя, не разработаны также и средства измерения. Но такие исследователи, как Эллисон, Михара, Бизаль, Фри, Роуз, Вишмейер, Гудзон, Исаев, Мирхулава, Швебс и другие доказали, что уплотнение, разрушение структуры, перенос почвы во многом зависят от энергетических характеристик дождя (количества движения, кинетической энергии падения, силы удара, размера и скорости падения капель с различными показателями степени) [1,3,4]. Однако нет единодушного мнения, какая из этих энергетических характеристик является основополагающей. Поэтому лимитируемые агротребованиями характеристики дождя далеко не полностью характеризуют его качество. Дополнительный учет различных энергетических характеристик искусственного дождя позволит более полно изучить его силовое воздействие на почву и растения, более достоверно выбрать показатели оценки качества полива площади машиной.

Следовательно также актуален вопрос разработки средств измерения и методики определения энергетических характеристик дождя. Требуется совершенствования и методики определения среднекубического диаметра капли по всей площади полива.

Для измерения, расчета и определения характеристик дождя, их количественных показателей целесообразно пользоваться методами

статистики, так как при распаде струй образуется громадное количество капель на значительной площади полива, предполагая, что процесс распада и падения капель является установившимся.

В этом случае, чтобы определить количественные показатели характеристик дождя в зонах и по всей площади полива машиной, необходимо и достаточно измерять дифференциальное распределение количества капель по размерам, скорость их падения, приемную площадь прибора и время регистрации на элементарных площадках полива.

Чтобы доказать справедливость этого утверждения, определим вначале основные характеристики дождя на элементарных площадках, а затем для всей площади полива машиной.

Интенсивность падения капель дождя на элементарной площадке полива определяется как

$$J_j = \frac{N_j}{S_j T} , \quad (1)$$

где N_j — количество капель, упавших на эту площадку S_j в течение времени полива T .

Эта же характеристика при условии установившегося процесса распада и падения капель может быть определена прибором как

$$J_{nj} = \frac{N_{nj}}{S_{nj} t_{nj}} , \quad (2)$$

где $N_{nj} = \sum_{i=1}^K n_{nij}$ — количество капель, падающих или пролетающих через приемную площадку прибора S_{nj} , установленного на данной площадке полива, и зарегистрированных им в течение какого-либо времени t_{nj} ;

n_{nij} — количество капель данного (i -го) размера, регистрируемых прибором (дифференциальное распределение количества капель по размерам);

K — число градаций размера капель прибором.

Исходя из принятого условия и уравнения 1+2, общее количество капель, упавших на площадку полива, определим как

$$N_j = \frac{S_j T}{S_{nj} t_{nj}} \cdot N_{nj} = K_j N_{nj} , \quad (3)$$

где $K_j = \frac{S_j T}{S_{nj} t_{nj}}$ — коэффициент пропорциональности измерения.

Очевидно также, что количество капель какого-либо размера n_{ij} , упавших на эту же площадку полива (дифференциальное распределение количества капель по размерам), можно определить как

$$n_{ij} = \frac{S_j T}{S_{nj} t_{nj}} \cdot n_{nij} = K_j n_{nij} . \quad (4)$$

Таким образом, с помощью показаний прибора можно определить фактически упавшее количество капель дождя на элементарной площадке полива. Регистрируемое прибором количество капель дождя отличается от фактического количества капель, упавших на какой-либо площадке полива, в число раз, равное постоянному для данной площадки коэффициенту пропорциональности K_j .

Обычно при расчетах удобнее пользоваться относительными характеристиками дождя. Вероятность падения капель какого-либо размера для данной площадки полива определяется как

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{N_j} \quad (5)$$

Здесь и в дальнейшем показатель или уравнение характеристики с индексом " j " показывает, что они относятся или характеризуют только какую-нибудь элементарную площадку полива, без индекса — всю площадь полива; с индексом " n " — измеренные или определяемые с помощью прибора.

Выразив n_{ij} и N_j через показания прибора и сократив дробь на K_j , получим

$$P_{ij} = \frac{n_{nij}}{N_{nj}} = P_{nij} \quad (6)$$

Следовательно, на данной площадке полива фактическая вероятность падения капель какого-либо размера непосредственно может быть определена прибором.

Зная фактическое распределение капель дождя по размерам, определяемое по показаниям прибора, нетрудно найти:

вероятность распределения объема (массы) воды дождя по размеру капель

$$P_{vij} = \frac{V_{ij}}{V} = \frac{n_{ij} d_i^3}{\sum_{i=1}^K n_{ij} d_i^3} = \frac{P_{ij} d_i^3}{\sum_{i=1}^K P_{ij} d_i^3} = \frac{n_{nij} d_i^3}{\sum_{i=1}^K n_{nij} d_i^3} = \frac{P_{nij} d_i^3}{\sum_{i=1}^K P_{nij} d_i^3} = P_{nvij}; \quad (7)$$

среднекубический диаметр капли

$$d_{\kappa j} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^K n_{ij} d_i^3}{N_j}} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^K P_{ij} d_i^3} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^K n_{nij} d_i^3}{N_{nj}}} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^K P_{nij} d_i^3} = d_{n\kappa j}; \quad (8)$$

интенсивность дождя

$$\rho = \frac{V_j}{S_j T} = \frac{\pi d_{\kappa}^3 N_j}{6 S_j T} = \frac{\pi}{6} d_{\kappa j}^3 J = \frac{\pi}{6} d_{n\kappa j}^3 \cdot \frac{N_{nj}}{S_{nj} t_{nj}} = \frac{\pi}{6} d_{n\kappa j}^3 J_{nj} = \rho_{nj}. \quad (9)$$

Таким образом, данные характеристики дождя непосредственно могут быть определены по показаниям прибора.

При установившемся процессе распада струи на капли и предположении, что скорость падения капель определенного размера на какой-либо площадке малых размеров колеблется в небольших пределах, для определения энергетических характеристик дождя достаточно, кроме регистрации дифференциального распределения количества капель, фиксировать в каждом размерном классе i какое-то количество капель m_{nij} с регистрацией размера d_n и скорости их падения V_n . Тогда по известным уравнениям можно определить:

количество движения любой капли

$$f_K = m_K V_K = \frac{\pi}{6} \rho d_n^3 V_n = f_{nK}, \quad (I0)$$

кинетическую энергию этой же капли

$$w_K = \frac{1}{2} m_K V_K^2 = \frac{\pi}{12} \rho d_n^3 V_n^2 = w_{nK} \quad (II)$$

и, согласно уравнению Исаева А.П., силу удара той же капли [I]

$$U_K = \frac{\pi}{6} V_3 \rho d_n^2 V_n = U_{nK}. \quad (I2)$$

Оказываемое каплей давление, исходя из предположения, что удар капли является упругим и действует на площади контура капли, можно определить как

$$P_K = \frac{U_K}{S_K} = \frac{2}{3} \rho V_3 V_K = \frac{2}{3} \rho V_3 V_{nK} = P_{nK}. \quad (I3)$$

Средние значения количества движения, кинетической энергии падения и силы удара капли какого-либо размера, падающей на площадку полива, можно определить как

$$F_{nKij} = \frac{\sum_{i=1}^{m_i} f_{nKij}}{m_{ni}} = F_{Kij}; \quad (I4)$$

$$W_{nKij} = \frac{\sum_{i=1}^{m_i} w_{nKij}}{m_{ni}} = W_{Kij}; \quad (I5)$$

$$U_{nKij} = \frac{\sum_{i=1}^{m_i} U_{nKij}}{m_{ni}} = U_{Kij}; \quad (I6)$$

$$P_{nKij} = \frac{\sum_{i=1}^{m_i} P_{nKij}}{m_{nij}}, \quad (I7)$$

где V_3 - скорость распространения упругих волн в капле;
 ρ - плотность жидкости.

Зная дифференциальное распределение капель по размерам и средние значения количества движения, кинетической энергии, давления, силы удара капли данного размера (класса) нетрудно доказать и найти зависимости для определения таких характеристик дождя, как общее количество движения и кинетической энергии падения капель, их удельные значения, действующие на единицу площади и в единицу времени, средневзвешенные значения количества движения, кинетической энергии, давления и силы удара капли, а также распределение названных характеристик по размеру капель.

Ввиду большого объема, а также идентичности получаемых уравнений, дадим эти зависимости только для показателей кинетической энергии падения капель. Эти зависимости приведены в табл. I.

Таблица I

Элементарная площадка полива		
Характеристика и обозначение	Уравнение характеристики	№ уравнения
Кинетическая энергия, несомая каплями определенного размера, W_{ij}	$W_{ij} = W_{kij} n_{ij} = N_j P_{ij} W_{kij} = K_j n_{ij} W_{pkij} =$ $= K_j N_{nj} P_{nij} W_{pkij} = K_j W_{nij}$	18
Кинетическая энергия всех падающих капель W_j	$W_j = \sum_{i=1}^K W_{ij} = N_j \sum_{i=1}^K P_{ij} W_{kij} = K_j N_{nj} \sum_{i=1}^K P_{nij} W_{pkij} =$ $= K_j \sum_{i=1}^K W_{nij},$	19
	$W_j = N_j W_{nj} = K_j N_{nj} W_{pkj} = K_j W_{nj}$	20
Среднее значение кинетической энергии падения капли W_{kj}	$W_{kj} = \frac{W_j}{N_j} = \frac{\sum_{i=1}^K n_{ij} W_{kij}}{N_j} = \sum_{i=1}^K P_{ij} W_{kij} = \frac{P_{ij} W_{kij}}{P_{wij}} =$ $= \frac{\sum_{i=1}^K n_{nij} W_{pkij}}{N_{nj}} = \sum_{i=1}^K P_{nij} W_{pkij} = \frac{P_{nij} W_{pkij}}{P_{nwi}} = W_{pkj}$	21
Вероятность распределения кинетической энергии по размерам P_{wij}	$P_{wij} = \frac{W_{ij}}{W_j} = \frac{n_{ij} W_{kij}}{\sum_{i=1}^K n_{ij} W_{kij}} = \frac{P_{ij} W_{kij}}{\sum_{i=1}^K P_{ij} W_{kij}} = \frac{P_{ij} W_{kij}}{W_{kj}} =$ $= \frac{n_{nij} W_{pkij}}{\sum_{i=1}^K n_{nij} W_{pkij}} = \frac{P_{nij} W_{pkij}}{\sum_{i=1}^K P_{nij} W_{pkij}} = \frac{P_{nij} W_{pkij}}{W_{pkj}} = P_{nwi}$	22
Удельное значение кинетической энергии падения капель W_{yij}	$W_{yij} = \frac{W_{ij}}{S_j T} = \frac{\sum_{i=1}^K n_{ij} W_{kij}}{S_j T} = \frac{N_j}{S_j T} \sum_{i=1}^K P_{ij} W_{kij} = J_j W_{kj} =$ $= \frac{\sum_{i=1}^K n_{nij} W_{pkij}}{S_{nj} t_{nj}} = \frac{N_{nj}}{S_{nj} t_{nj}} \sum_{i=1}^K P_{nij} W_{pkij} = J_{nj} W_{pkj} = W_{pyj}$	23

Анализируя вышеприведенные зависимости, видим, что определяемые с помощью прибора значения абсолютных характеристик дождя на элементарной площадке полива отличаются от действительных в K_j раз, а относительные величины, в том числе и среднекубический диаметр капли, равны истинным.

Методика измерения характеристик дождя на площадке полива заключается в следующем. Прибор с фиксируемой приемной площадью вносится на площадку полива определенных размеров, и в течение определенного времени регистрируется дифференциальное распределение количества капель по размерам и скорость их падения. По вышеприведенным зависимостям определяются количественные характеристики дождя.

Теперь перейдем к определению тех же характеристик дождя для всей площади полива машиной.

Зависимость для определения количества капель какого-либо размера N_i , падающих на всю площадь полива, с учетом уравнения (4) будет иметь вид

$$N_i = \sum_{j=1}^Z n_{ij} = \sum_{j=1}^Z K_j n_{nij}, \quad (24)$$

где Z — количество элементарных площадок полива, на которые разбита вся поливаемая машиной площадь.

Общее количество капель, падающих на всю площадь полива, с учетом выражения (3) может быть определено как

$$N = \sum_{i=1}^J N_i = \sum_{i=1}^J K_i N_{ni}. \quad (25)$$

Зная распределение капель по размерам N_i , общее количество капель N , среднее значение кинетической энергии падения капли и её распределение по размеру капель на элементарных площадках, можно определить вероятность распределения количества, объёма (массы) и кинетической энергии капель по размеру P_i ; P_{vi} ; P_{wi} , среднюю интенсивность дождя ρ , среднекубический диаметр капли D_k , средневзвешенное значение кинетической энергии капли и её

удельное значение для всей площади полива. Эти зависимости приведены в табл.2.

Таблица 2

П л о щ а д ь п о л и в а		
Характеристика и обозначение	Уравнение характеристики	№ урав- нения
Вероятность распре- деления количества капель определенно- го размера P_i	$P_i = \frac{N_i}{N} = \frac{\sum_{j=1}^z n_{ij}}{\sum_{j=1}^z N_j} = \frac{\sum_{j=1}^z K_j n_{nij}}{\sum_{j=1}^z K_j N_{nj}} = \frac{\sum_{j=1}^z K_j P_{nij} N_{nj}}{\sum_{j=1}^z K_j N_{nj}}$	26
Среднекубический диаметр капли D_K	$D_K = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^K N_i d_i^3}{N}} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^K d_i^3 \sum_{j=1}^z K_j n_{nij}}{\sum_{j=1}^z K_j N_{nj}}}$	27
	$D_K = \sqrt[3]{\frac{\sum_{j=1}^z N_j d_{Kj}^3}{\sum_{j=1}^z N_j}} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{j=1}^z K_j N_{nj} d_{nKj}^3}{\sum_{j=1}^z K_j N_{nj}}}$	28
Вероятность распре- деления объёма (массы) воды дождя по размерам капель P_{Vi}	$P_{Vi} = \frac{V_i}{V} = \frac{N_i d_i^3}{\sum_{i=1}^K N_i d_i^3} = \frac{d_i^3 \sum_{j=1}^z K_j n_{ij}}{\sum_{i=1}^K d_i^3 \sum_{j=1}^z K_j n_{nij}}$	29
	$P_{Vi} = \frac{N_i d_i^3}{\sum_{j=1}^z N_j d_{Kj}^3} = \frac{d_i^3 \sum_{j=1}^z K_j P_{nij} N_{nj}}{\sum_{j=1}^z K_j N_{nj} d_{nKj}^3}$	30
	$\rho = \frac{V}{S T} = \sum_{j=1}^z \frac{S_j}{S} \rho_j = \sum_{j=1}^z \frac{S_j}{S} \rho_{nj};$	31
Интенсивность дож- дя ρ	$\rho = \frac{\pi}{6 S T} \sum_{j=1}^z N_j d_{Kj}^3 = \frac{\pi}{6 S} \sum_{j=1}^z \frac{S_j N_{nj}}{S_{nj} t_{nj}} d_{nKj}^3 = \frac{\pi}{6} \sum_{j=1}^z \frac{S_j}{S} J_{nj} d_{nKj};$	32
	$\rho = \frac{\pi D_K N}{6 S T} = J V_K$	33

П л о щ а д ь п о л и в а		
Характеристика и обозначение	Уравнение характеристики	№ уравнения
Кинетическая энергия падения всех капель W	$W = \sum_{j=1}^z W_j = \sum_{j=1}^z N_j W_{Kj} = \sum_{j=1}^z K_j N_{nj} W_{nKj},$	34
	$W = W_K N$	35
Среднее значение кинетической энергии падения капли W_K	$W_K = \frac{W}{N} = \frac{\sum_{j=1}^z N_j W_{Kj}}{\sum_{j=1}^z N_j} = \frac{\sum_{j=1}^z K_j N_{nj} W_{nKj}}{\sum_{j=1}^z K_j N_{nj}}$	36
Среднее удельное значение кинетической энергии падения капель W_y	$W_y = \frac{W}{S T} = \frac{\sum_{j=1}^z W_{yj} S_j T}{S T} = \sum_{j=1}^z \frac{S_j}{S} W_{nyj};$	37
	$W_y = \frac{\sum_{j=1}^z N_j W_{Kj}}{S T} = \frac{\sum_{j=1}^z K_j N_{nj} W_{nKj}}{S T} = \sum_{j=1}^z \frac{S_j}{S} J_{nj} W_{nKj};$	38
	$W_y = \frac{W_K N}{S T} = J W_K$	39
Вероятность распределения кинетической энергии капель определенного размера P_{wi}	$P_{wi} = \frac{W_i}{W} = \frac{\sum_{j=1}^z P_{wij} W_j}{\sum_{j=1}^z W_j} = \frac{\sum_{j=1}^z K_j P_{nwij} W_{nj}}{\sum_{j=1}^z K_j W_{nj}} =$ $= \frac{\sum_{j=1}^z K_j P_{nwij} N_{nj} W_{nKj}}{\sum_{j=1}^z K_j N_{nj} W_{nKj}}$	40

Подобным образом могут быть найдены зависимости показателей количества движения, давления и силы удара капель, падающих на всю площадь полива. Вышеприведенные зависимости (табл.2) показывают, что интенсивность дождя, средние удельные значения кинетической энергии падения, а также количества движения прямо пропорциональны интенсивности падения капель дождя. Они также показывают, что для определения количественных показателей относительных характеристик дождя, как и абсолютных, необходимо дополнительно знать приемную площадь прибора и время регистрации капель, т.е.

необходимо учитывать коэффициент K_j на каждой элементарной площадке полива.

Расчет и определение характеристик дождя по вышеприведенным зависимостям может упроститься в зависимости от методики измерения. Если вся площадь полива разбита на равновеликие площадки ($S_1 = S_2 = \dots S_j = \dots S_z = S_0$), на каждой из которых производится измерение капель с одинаковым временем регистрации ($t_{n1} = t_{n2} = \dots t_{nj} = \dots = t_z = t_n$) и одинаковой приемной площадью прибора (площадью регистрации), т.е. $S_{n1} = S_{n2} = \dots S_{nj} = \dots S_{nz} = S_n$, то коэффициенты пропорциональности K_j равны между собой и имеют вид

$$K_1 = K_2 = \dots K_j = \dots K_z = K_n = \frac{S_0 T}{S_n t_n} = \text{const}.$$

Расчетные уравнения упрощаются, зарегистрированные прибором капли суммируются обычным способом по всем площадкам, количественные характеристики дождя по всей площади полива, в том числе и среднекубический диаметр капли, определяются как и характеристики дождя на элементарных площадках полива (методика I).

Как показывают проведенные исследования, размер капель постепенно изменяется вдоль струи аппарата, увеличиваясь к ее концу, и в дождевании принято определять размеры капель вдоль струи аппарата.

Если измеряются параметры капель вдоль радиуса действия струи через одинаковые расстояния r_0 , время регистрации капель прибором и его приемная площадь одинаковые во всех точках измерения, то коэффициент пропорциональности K_j увеличивается по мере удаления точки измерения от аппарата за счет увеличения обслуживаемой прибором площади и равен

$$K_j = j \frac{S_0 T}{S_n t_n}, \quad (41)$$

где S_0 — площадь, обслуживаемая первым прибором (ближайшая к аппарату площадь).

Зависимости также упрощаются. Для определения характеристик дождя регистрируемые прибором капли на площадках полива уже суммируются с умножением их на порядковый номер места взятия капель от аппарата (методика 2).

При измерении капель вдоль радиуса действия струи расчетные зависимости могут быть еще более упрощены и сведены к расчетным

уравнением методики I, если приемная площадь прибора, время регистрации капель или расстояние взятия проб от центра r_j будут изменяться таким образом, чтобы коэффициент пропорциональности K_j оставался постоянным. Это может быть в том случае, если

$$S_{nj} = j S_{n_1} = j S_n [S_{n_1} = S_n ; S_{n_2} = 2 S_n ; \dots S_{n_z} = z S_n], \quad (42)$$

или

$$t_{nj} = j t_{n_1} = j t_n [t_{n_1} = t_n ; t_{n_2} = 2 t_n ; \dots t_{n_z} = z t_n], \quad (43)$$

или

$$r_j = \sqrt{j} r_0, \quad (44)$$

т.е. время регистрации или приемная площадь прибора должны увеличиваться в число раз, равное порядковому номеру места взятия капель от аппарата (методики 3 и 4), или расстояние любой точки измерения от центра было бы равно расстоянию места взятия первой пробы, умноженному на корень квадратный из порядкового номера данной точки измерения (методика 5). Методики I, 3, 4 и 5 могут позволить последовательно по площади регистрировать капли при условии установившегося процесса распада струй и падения капель.

Таким образом, для определения характеристик дождя, как на площадках, так и по всей площади полива, необходимо измерять количество капель по размерам, скорость их падения и знать время регистрации капель.

На данном этапе при испытании дождевальных машин время регистрации капель не фиксируется, количество регистрируемых капель небольшое, применяемые средства измерения имеют малое время взятия пробы и допускают пропуск капель. Поэтому затруднен расчет даже такого важного показателя качества полива как среднеобъемный (среднекубический) диаметр капли по всей площади полива машиной. Однако при испытании дождевальных машин определяется слой осадков и интенсивность дождя на элементарных площадках полива, время регистрации которых известно и равно времени полива или единичному времени, т.е. $t_{n_1} = t_{n_2} = \dots t_{n_j} = \dots t_{n_z}$. Исходя из данного условия и достоверного определения вероятности распределения количества капель по размерам путем многократного взятия проб (как показывают проведенные исследования, число регистрируемых капель на элементарной площадке полива должно быть не менее 5-10 тысяч) количественные характеристики дождя по всей площади полива могут быть определены по величине интенсивности дождя (слою осадков) и

среднеобъемному (среднекубическому) диаметру капли на элементарных площадках полива (методика 6).

Общее количество упавших капель на элементарной площадке равно

$$N_j = \frac{6TS_j\rho_j}{\pi d_{\kappa j}^3} = \frac{6S_j h_j}{\pi d_{\kappa j}^3} = \frac{6TS_j\rho_{nj}}{\pi d_{n\kappa j}^3} = \frac{6S_j h_{nj}}{\pi d_{n\kappa j}^3} \quad (45)$$

Интенсивность падения капель дождя на данной площадке найдем как

$$J_j = \frac{N_j}{S_j T} = \frac{6\rho_j}{\pi d_{\kappa j}^3} = \frac{6h_j}{\pi d_{\kappa j}^3 T} = \frac{\rho_j}{V_{\kappa j}} = \frac{6\rho_{nj}}{\pi d_{n\kappa j}^3} = \frac{6h_{nj}}{\pi d_{n\kappa j}^3 T} = \frac{\rho_{nj}}{V_{n\kappa j}} \quad (46)$$

Это уравнение показывает, что интенсивность падения капель связывает воедино такие важные характеристики дождя как интенсивность дождя и средний диаметр капли.

Среднекубический диаметр капли по всей площади полива может быть определен как

$$D_K = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^n N_j d_{\kappa j}^3}{\sum_{i=1}^n N_j}} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^n S_j \rho_j}{\sum_{i=1}^n S_j \frac{\rho_j}{d_{\kappa j}^3}}} \quad (47)$$

Используя первую методику, его можно определить по следующему уравнению

$$D_K = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^n \rho_{nj}}{\sum_{i=1}^n \frac{\rho_{nj}}{d_{n\kappa j}^3}}} \quad (48)$$

вторую методику, то по нижеследующему

$$D_K = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^n J_j \rho_{nj}}{\sum_{i=1}^n J_j \frac{\rho_{nj}}{d_{n\kappa j}^3}}} \quad (49)$$

Зная количество капель, выраженное через интенсивность дождя, вероятность их распределения по размеру и, если будут известны средние энергетические параметры на элементарных площадках, легко определить энергетические характеристики дождя по всей площади полива. Например, средневзвешенное значение кинетической энергии падения капли по всей площади полива равно

$$W_K = \frac{\sum_{j=1}^n S_j W_{\kappa j} \frac{\rho_j}{d_{\kappa j}^3}}{\sum_{j=1}^n S_j \frac{\rho_j}{d_{\kappa j}^3}} \quad (50)$$

Данное уравнение будет упрощено, если использовать вышеперечисленные методики: сомножитель $S_j = I$ (методика I) и $S = j$ (методика 2).

Таким образом, зная интенсивность дождя на элементарных площадках полива (слой осадков или другую характеристику дождя с известным временем регистрации), измеряя распределение количества капель по размерам путем многократного взятия проб и скорость их падения на тех же площадках полива, можно также определить количественные характеристики дождя как на площадках полива, так и по всей площади полива. Данная методика допускает потерю некоторого числа капель при измерении их количества при условии достоверного определения их распределения по размерам.

Используя вышеперечисленные методики и уравнения расчета, можно определить зональные и общие характеристики дождя, создаваемого различными дождевальными машинами.

Поэтому для более эффективной оценки качества дождя, видимо, следует при испытании дождевальных машин дополнительно определять вероятность распределения капель по размерам, его энергетические характеристики, производить оценку всей площади полива машиной среднекубическим (среднеобъемным) диаметром капли, а не среднеарифметическим.

Для определения вышеназванных характеристик дождя необходимо и достаточно измерять дифференциальное или интегральное распределение количества капель по размерам, скорость падения и время их регистрации, знать приемную площадь прибора.

Для упрощения расчетов регистрацию размера и скорости падения капель целесообразно проводить на равновеликих площадках полива вдоль радиуса действия струи или радиальной сетки, применяя вышеизложенные методики и используя для вычисления зональных и общих характеристик искусственного дождя зависимости методик I или 2. При условии установившегося процесса распада струй и падения капель, используя методики I, 3, 4 и 5, можно производить регистрацию капель последовательно по площади полива. При использовании методики 2 необходимо учитывать вес площадки полива, обслуживаемой одним прибором.

При действии дождя высокой интенсивности или измерении капель приборами с малым быстродействием или малой запоминающей памятью (емкостью) возможна потеря информации о количестве упавших капель. В этом случае для определения характеристик дождя

как на элементарных площадках полива, так и всей площади, дополнительно можно использовать лимитируемую в дождевании интенсивности дождя или слой осадков при условии достоверного измерения вероятности распределения количества капель по размерам на данных элементарных площадках полива.

Л и т е р а т у р а

1. И с а е в А.П. Гидравлика дождевальных машин. М., "Машиностроение", 1973.

2. Программа и методы испытаний дождевальных машин и установок. М., Союзсельхозтехника, 1971.

3. Г у д з о н Н. Охрана почвы и борьба с эрозией (перевод с англ.). М., "Колос", 1974.

4. Ш в е б с Г.И. Формирование водной эрозии стока наносов и их оценка. Л., Гидрометеиздат, 1974.

К. т. н. Данильченко Н. В.,
с. н. с. Данильченко И. Ф.
(ВНИИМИП)

О ПРИМЕНИМОСТИ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН "ФРЕГАТ" НА ДВУХ ПОЗИЦИЯХ В ПОВОЛЖЬЕ

Постановлением Центрального Комитета КПСС и Совета Министров СССР "О плане мелиорации земель на 1976-1980 гг. и мерах по улучшению использования мелиоративных земель" в зоне Поволжья предусмотрено ввести в строй 847 тыс. га орошаемых земель.^{ж)} При этом особое место уделено ускорению работ по орошению земель для создания крупных зон гарантированного производства товарного зерна. За последние 10 лет площадь орошаемых земель в Поволжье возросла с 174 до 950 тыс. га. Об эффективности орошения в зоне Поволжья свидетельствуют высокие урожаи сельскохозяйственных культур, получаемые в течение ряда лет в совхозах "Мелиоратор", "Ахтубинский" Волгоградской области, "Энгельский" Саратовской области и др. (зерновые - 40-45 ц с га, овощи - 300-400, сено многолетних трав - 90-110, кукуруза на силос - 450-500 ц).

Особенностью плана мелиорации в X пятилетке является комплексное осуществление работ на крупных оросительных системах. Большую часть вновь вводимых орошаемых земель предполагается поливать дождевальными машинами, в том числе и широкозахватными типа "Фрегат" и "Волжанка". В этой связи особенно остро встает вопрос о правильном подборе и расстановке дождевальной техники. Применяемые дождевальные машины должны отвечать природно-климатическим и организационно-хозяйственным условиям региона и обеспечивать подачу оросительной воды в соответствии с оптимальным режимом орошения и высоким коэффициентом использования сменного времени.

В качестве примера рассмотрим использование различных модификаций дождевальной машины "Фрегат" в Поволжье.

Сезонная нагрузка на дождевальную машину или площадь, которую она может полить на протяжении сезона, в том числе и в критический период водопотребления растений с соблюдением оптимального режима орошения, устанавливается по зависимости

$$F_{\text{сез}} = \frac{Q \cdot K_{\text{сут}}}{q_p} \cdot \beta \cdot K_m \cdot \tau = \frac{Q \cdot K_{\text{с.з.}}}{q_p} ; \quad (I)$$

^{ж)} См. "Правду" от 5 августа 1976 г.

где $F_{сез}$ - сезонная нагрузка на машину, га;

q_p - расчетная ордината гидромодуля в критический период водопотребления, л/с на га;

$K_{сум}$ - плановый коэффициент использования времени суток в тот же период;

β, K_m, τ - коэффициенты, учитывающие соответственно потери воды на испарение при дождевании, потери рабочего времени по метеорологическим условиям (из-за высоких скоростей ветра), потери времени по независящим от машины причинам (отказы на насосных станциях, оросительной сети, арматуре и т.д.) в расчетный период;

$K_{с.з.}$ - совокупный зональный коэффициент использования времени (учитывающий суммарно все виды потерь).

Зональный коэффициент " $K_{с.з.}$ " применительно к критическому (расчетному) периоду для "Фрегата" приведен в табл. I.

Таблица I

Зональный коэффициент $K_{с.з.}$ для дождевальных машин "Фрегат"

Природные зоны	Расчетная ордината гидромодуля, л/с на га	Коэффициент $K_{с.з.}$	
		при однопозиционной работе	при двухпозиционной работе
Полупустынная	$\geq 0,8$	0,66	0,64
Степная	0,7	0,67	0,65
	0,6	0,69	0,66
Лесостепная	0,5	0,725	0,69
	0,4	0,740	0,70
Лесная	0,3	0,750	0,71
	0,2	0,760	0,72

Расчетная (критическая) ордината гидромодуля, допускающая полив площади, закрепленной за машиной, в течение сезона с соблюдением заданного режима орошения, определяется по зависимости

$$q_p = \frac{Q \cdot K_{с.з.}}{F_{сез}}, \quad (2)$$

где $F_{сез}$ - сезонная нагрузка на машину, га. Для машин "Фрегат", работающих на одной позиции, $F_{сез} = F_n$; при двухпозиционной работе $F_{сез} = 2 \cdot F_n$, где F_n - площадь, поливаемая с позиции.

Для существующих модификаций машины "Фрегат" расчетная ордината гидромодуля, допускающая работу машины на одной и двух позициях, приведена в табл. 2, 3.

Таблица 2

Предельные значения ординаты гидромодуля q_p при
однопозиционной работе "Фрегата"

Модификация "Фрегата"	$F_{сез} = 2 \cdot F_n$, га	q_p , л/с на га при следующих значениях $K_{с.з.}$						
		лесная		лесостепная		степная		полупустынная
		0,76	0,75	0,74	0,725	0,69	0,67	0,66
ДМ-454-100	72	1,055	1,041	1,027	1,005	0,958	0,930	0,916
ДМ-454-70	72	0,738	0,729	0,719	0,704	0,670	0,651	0,641
ДМ-454-50	72	0,527	0,520	0,513	0,503	0,479	0,465	0,458
ДМ-424-90	64	1,068	1,054	1,040	1,019	0,970	0,942	0,928
ДМ-424-70	64	0,831	0,820	0,809	0,792	0,754	0,732	0,721
ДМ-424-50	64	0,593	0,585	0,578	0,566	0,539	0,523	0,515
ДМ-394-80	55	1,105	1,090	1,076	1,054	1,003	0,974	0,960
ДМ-394-55	55	0,76	0,75	0,74	0,725	0,69	0,67	0,660
ДМ-365-68	48	1,076	1,062	1,048	1,027	0,977	0,949	0,935
ДМ-335-58	40,5	1,088	1,074	1,059	1,038	0,988	0,959	0,945

Таблица 3

Предельные значения ординаты гидромодуля q_p , допускающие
двухпозиционную работу "Фрегата"

Модификация "Фрегата"	$F_{сез} = 2 \cdot F_n$, га	q_p , л/с на га при следующих значениях $K_{с.з.}$						
		лесная		лесостепная		степная		полупустынная
		0,72	0,71	0,70	0,69	0,66	0,65	0,64
I	2	3	4	5	6	7	8	9
ДМ-454-100	144	0,50	0,493	0,486	0,479	0,458	0,451	0,444
ДМ-454-70	144	0,350	0,345	0,340	0,335	0,320	0,315	0,311
ДМ-454-50	144	0,25	0,246	0,243	0,239	0,229	0,225	0,222
ДМ-424-90	128	0,506	0,499	0,492	0,485	0,464	0,457	0,450
ДМ-424-70	128	0,393	0,388	0,382	0,377	0,360	0,355	0,350
ДМ-424-50	128	0,281	0,277	0,273	0,269	0,257	0,253	0,250

Продолжение таблицы 3

I	2	3	4	5	6	7	8	9
ДМ-394-80	110	0,523	0,516	0,509	0,501	0,480	0,472	0,465
ДМ-394-55	110	0,360	0,355	0,350	0,345	0,330	0,325	0,320
ДМ-365-68	96	0,510	0,502	0,495	0,488	0,467	0,460	0,453
ДМ-335-58	81	0,515	0,508	0,501	0,494	0,472	0,465	0,458

В табл. 4 приведены предельные (критические) значения суточного дефицита водопотребления $\Delta \ell_v$, при котором возможна одно- и двухпозиционная работа "Фрегатов", $\Delta \ell_v = q_p 8,64$ мм/сут.

Таблица 4

Предельные значения суточного дефицита водопотребления, до которого возможна одно-или двухпозиционная работа "Фрегата"

Модификации "Фрегата"	$F_{сез}$, га	$\Delta \ell_v$, мм/сут, в числителе - работа на I-й позиции, в знаменателе - на 2-х позициях при $K_{с.з.}$						
		лесная		лесостепная		степная		полупустынь.
		$\frac{0,76}{0,72}$	$\frac{0,75}{0,71}$	$\frac{0,74}{0,70}$	$\frac{0,725}{0,69}$	$\frac{0,69}{0,66}$	$\frac{0,67}{0,65}$	$\frac{0,66}{0,64}$
ДМ-454-100	72	9,12	8,99	8,87	8,68	8,28	8,04	7,91
	144	4,32	4,26	4,20	4,14	3,96	3,90	3,84
ДМ-454-70	72	6,38	6,30	6,21	6,08	5,79	5,62	5,54
	144	3,02	2,98	2,94	2,89	2,76	2,72	2,69
ДМ-454-50	72	4,56	4,49	4,43	4,35	4,14	4,02	3,96
	144	2,16	2,13	2,10	2,06	1,98	1,94	1,92
ДМ-424-90	64	9,23	9,10	8,99	8,80	8,38	8,14	8,01
	128	4,37	4,31	4,25	4,19	4,01	3,96	3,89
ДМ-424-70	64	7,18	7,08	6,98	6,84	6,51	6,32	6,23
	128	3,40	3,35	3,30	3,26	3,11	3,07	3,02
ДМ-424-50	64	5,12	5,05	4,99	4,90	4,66	4,52	5,45
	128	2,43	2,39	2,36	2,32	2,22	2,19	2,16
ДМ-394-80	55	9,55	9,42	9,30	9,11	8,67	8,42	8,29
	110	4,52	4,46	4,40	4,33	4,15	4,08	4,03
ДМ-394-55	55	6,57	6,48	6,39	6,26	5,96	5,79	5,70
	110	3,11	3,07	3,02	2,98	2,85	2,81	2,76
ДМ-665-68	48	9,30	9,18	9,05	8,87	8,44	8,20	8,08
	96	4,41	4,34	4,28	4,22	4,03	3,97	3,91
ДМ-335-58	40,5	9,40	9,28	9,15	8,97	8,54	8,29	8,16
	81	4,45	4,39	4,33	4,27	4,08	4,02	3,96

Там, где среднесуточный декадный дефицит орошаемых культур равен или менее значений, приведенных в знаменателе (табл.4), машина может использоваться на двух позициях. В промежутке между значениями числителя и знаменателя машины могут быть использованы на поливе одной позиции. При значениях $\Delta \ell_v$ выше, чем приведенные в числителе, машина не может обеспечить заданный режим орошения даже на одной позиции.

При групповой работе машин на севообороте в процессе укомплектования эксплуатационных графиков полива удастся на 5–15% снизить ординату гидромодуля, в связи с чем диапазон применимости машин "Фрегат" несколько расширяется.

На рис.1 видно, что возможность применения дождевальных машин "Фрегат" на 2-х позициях в средний многолетний год (каждый второй) распространяется на степную, лесостепную и лесную зоны и южная граница ее проходит по изолинии коэффициента увлажненности $K_y = 0,34$ (рис.2). В среднесухой год (повторяется раз в 4 года) граница 2-позиционной работы машины ДМ-454-100 сужается и проходит по изолинии коэффициента увлажненности $K_y = 0,40$, т.е. в этот год почти в половине степной зоны "Фрегат" теряет возможность обеспечить режим орошения на 2-х позициях. В сухой год (повторяется один раз в 20 лет) критической границей для 2-позиционной работы служит изолиния увлажненности $K_y = 0,52$. Указанная граница 2-позиционной работы соответствует технико-эксплуатационным параметрам "Фрегата" ДМ-454-100. Граница применения остальных модификаций "Фрегата" ориентировочно может быть принята по рис.1. Так, например, ДМ-454-50 в среднесухой год ($P = 75\%$) может обеспечить полив 2-х позиций только при $K_y \geq 0,7$, т.е. в условиях Поволжья применять ее на 2-х позициях невозможно.

Из рис.1, 2 видно, что применительно к условиям Поволжья в сухой год (год 95%-ной обеспеченности по дефициту водопотребления) в зону однопозиционной работы "Фрегата" входит Калмыцкая АССР, Астраханская, Волгоградская, большая часть Саратовской (за исключением северо-восточной окраины области) и южная часть Куйбышевской области (южнее г. Куйбышева). Двухпозиционная работа "Фрегат", без ущерба водообеспечения растений, в сухой год может быть обеспечена в Пензенской и Ульяновской областях, на северо-восточной окраине Саратовской и северной части Куйбышевской областей.

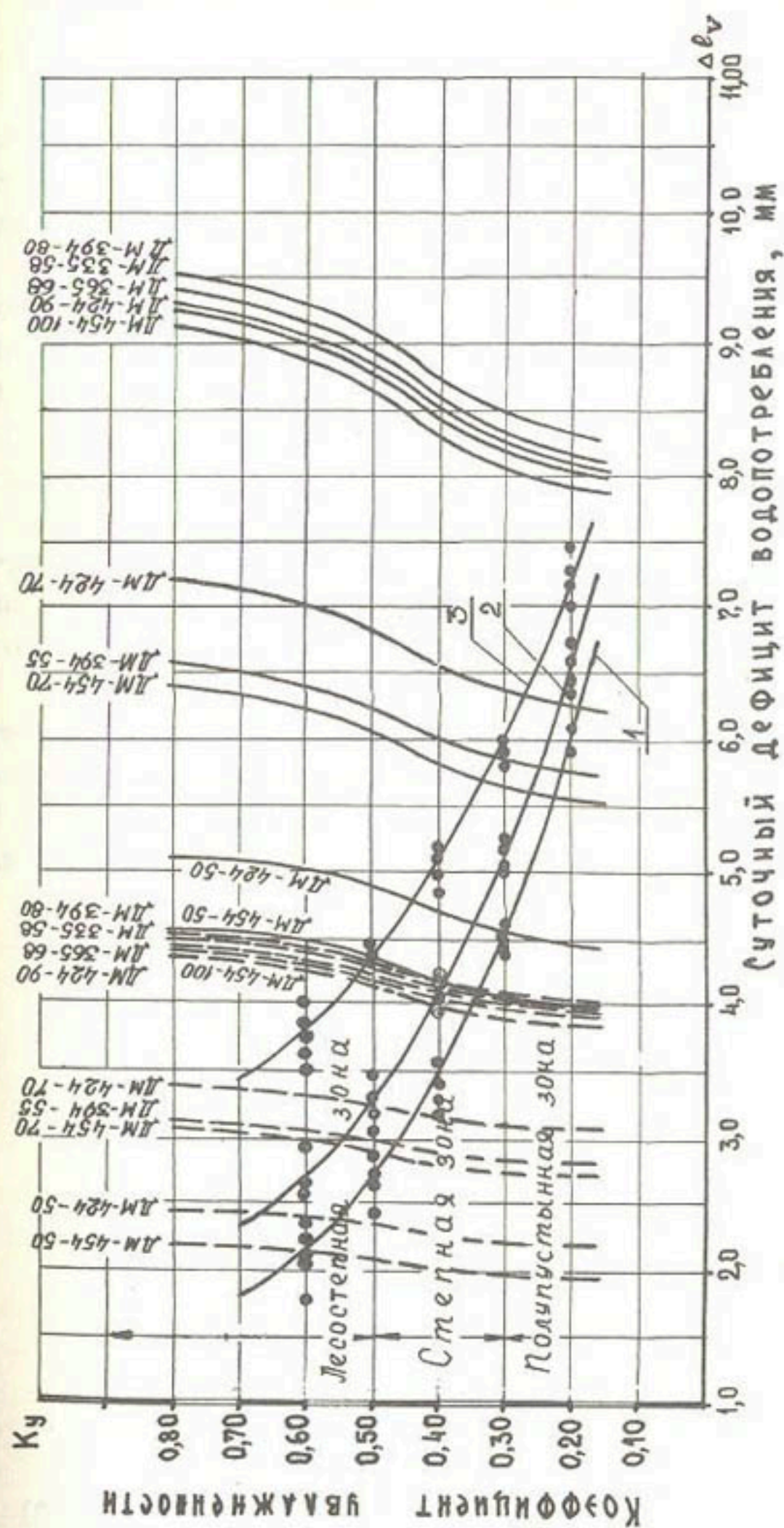


Рис. 1. Зоны применимости дождевальных машин "Фрегат" в условиях Поволжья на одной и двух позициях: 1, 2, 3 — кривые изменения среднего суточного дефицита водопотребления культур зерно-кормового севооборота в разные по обеспеченности годы ($1 - P_{50\%}$; $2 - P_{75\%}$; $3 - P_{95\%}$); — — кривые изменения предельного суточного дефицита водопотребления при однопозиционной работе "Фрегатов" различных модификаций; --- — то же при двухпозиционном поливе

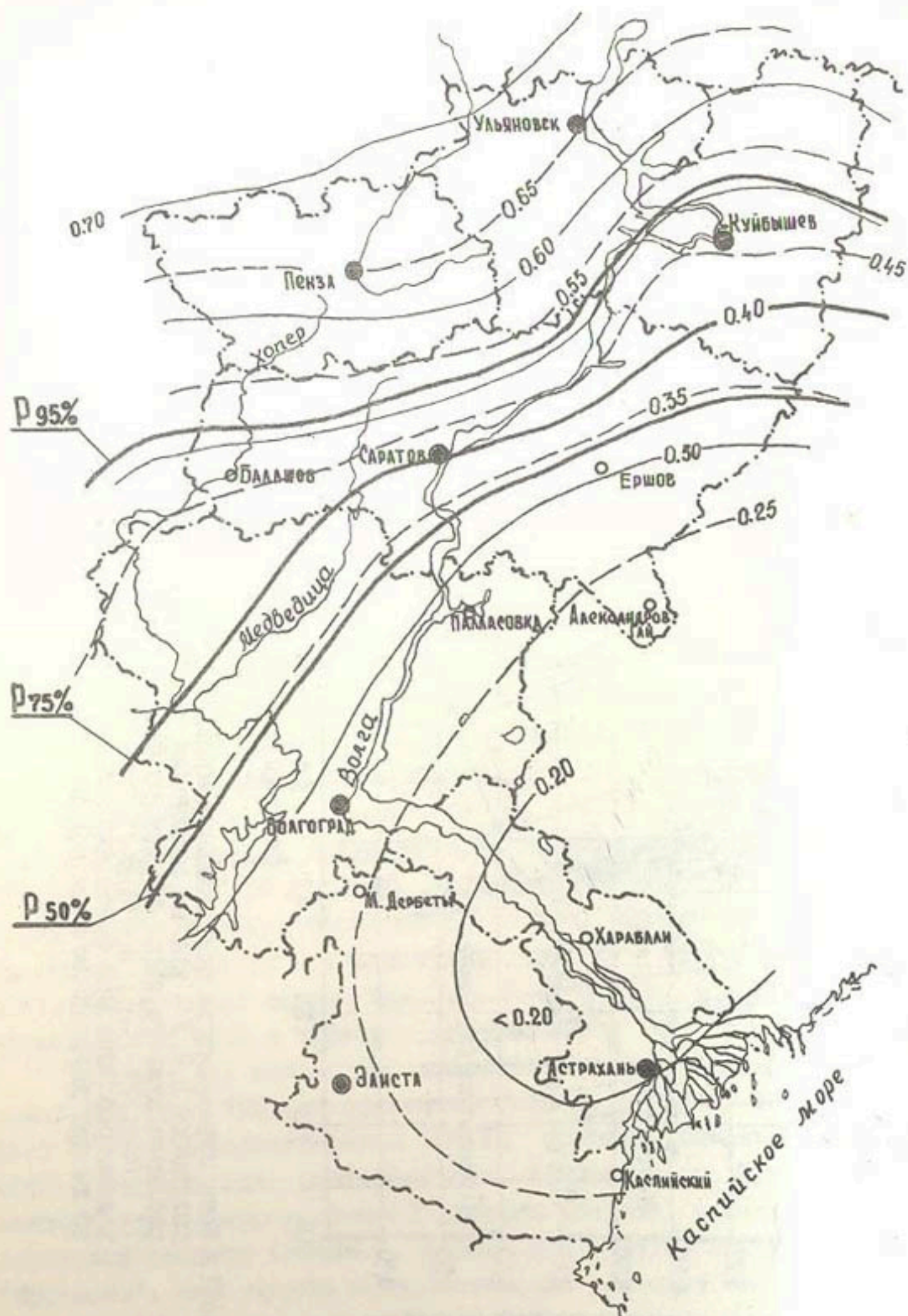


Рис. 2. Увлажненность территории Поволжья (за период с $t > 5^{\circ}\text{C}$) и границы применимости дождевальных машин "Фрегат" на одной и двух позициях:
 $K_y \geq 0.86$ - лесная зона; $0.51-0.85$ - лесостепная зона;
 $0.31-0.50$ - степная зона; ≤ 0.30 - полупустынная зона

Выбор модели "Фрегата", наиболее полно отвечающей природно-хозяйственным условиям конкретного объекта, можно предварительно выполнить по рис. I, 2. Например, необходимо запроектировать оросительную систему с применением на поливе машин "Фрегат" в районе г. Пензы. По рис. 2 видно, что данный район характеризуется коэффициентом увлажнения $K_y = 0,65$. На рис. I показано, что при

$K_y = 0,65$ в год 95%-ной обеспеченности при суточном дефиците водопотребления орошаемых культур до 3,3 мм можно использовать на поливе ДМ-424-70, если $\Delta \ell_v$ орошаемых культур более 3,3 мм, то следует принять одну из моделей: ДМ-454-100, ДМ-424-90, ДМ-365-68, ДМ-335-58, ДМ-394-80, которая наиболее полно отвечает организационно-хозяйственным условиям проектируемой системы. В том случае, если суточный дефицит водопотребления сельскохозяйственных культур в данной зоне более 4,7 мм, следует использовать однопозиционную работу "Фрегата", подбирая необходимую модель по рис. I путем сопоставления K_y и $\Delta \ell_v$.

Для конкретных природно-хозяйственных условий (почвенных, гидрогеологических, метеорологических, состава культур и т.д.) позиционность работы должна уточняться на основе водобалансовых и технико-экономических расчетов применительно к выбранной модели "Фрегата".

Д.э.н. Угрюмов А.В.,
к.т.н. Луцкий В.Г.,
к.т.н. Рязанцев А.И.

МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ ДОЖДЕВАЛЬНАЯ МАШИНА "ФРЕГАТ" ДЛЯ РАБОТЫ НА УЧАСТКАХ СО СЛОЖНЫМ РЕЛЬЕФОМ

Применение серийных дождевальных машин "Фрегат" ограничено на участках, где местные уклоны превышают 0,05.

Производственно-техническое объединение "Компрессор" совместно с ВНИИМИТП разработали новые модернизированные дождевальные машины "Фрегат" для полива полей со сложным рельефом. Это достигнуто, главным образом, с помощью введения новой системы тросов, расположенных в вертикальной плоскости, и установки (при необходимости) на водопроводящем трубопроводе гибких вставок.

Все это в комплексе дает возможность водопроводу изгибаться в вертикальной плоскости и копировать рельеф местности с общими уклонами до 0,05 и местными — до 0,18–0,22, что исключает предварительную планировку орошаемого участка.

Принцип действия, основные конструктивные элементы машины и ее систем, а также требования к оросительной системе, включая требования к внешней системе электрозащиты, аналогичны серийно выпускаемой дождевальной машине "Фрегат".

Гибкие вставки по длине водопроводящего пояса машины могут устанавливаться в следующих местах: у неподвижной опоры, на тележке вместо короткой трубы, на промежуточных трубах.

Установка вставки в том или ином месте машины определяется соответственно наличием господствующих уклонов местности орошаемого поля. Конструктивно гибкая вставка представляет собой металлический каркас, состоящий из двух частей, соединенных шарнирно, и гофрированные рукава из прорезиненной ткани (рис.1).

Новая система тросовой подвески, расположенная в вертикальной плоскости, представляет собой трос, на котором с помощью тяг и роликов подвешен трубопровод гибкого пролета. Между гибкими пролетами расположены жесткие, выполняющие функцию растяжек для обеспечения правильного положения тележек.

Гибкие и жесткие пролеты по длине машины чередуются, причем последний всегда выполняется жестким.

Для определения агротехнических и эксплуатационно-технологических показателей машины и их соответствия технической характеристике были изготовлены две базовые опытные модели машины ДМУ-А392-50 и ДМУ-А417-37, включающие соответственно I4 и I5 самоходных тележек.

Эти машины были установлены на специально оборудованном ВНИИМИТ полигоне в к-зе им. В.И. Ленина Предгорного района Ставропольского края, проект которого разработал "Севкавказгипроводхоз". Общий вид одной из машин показан на рис.2.

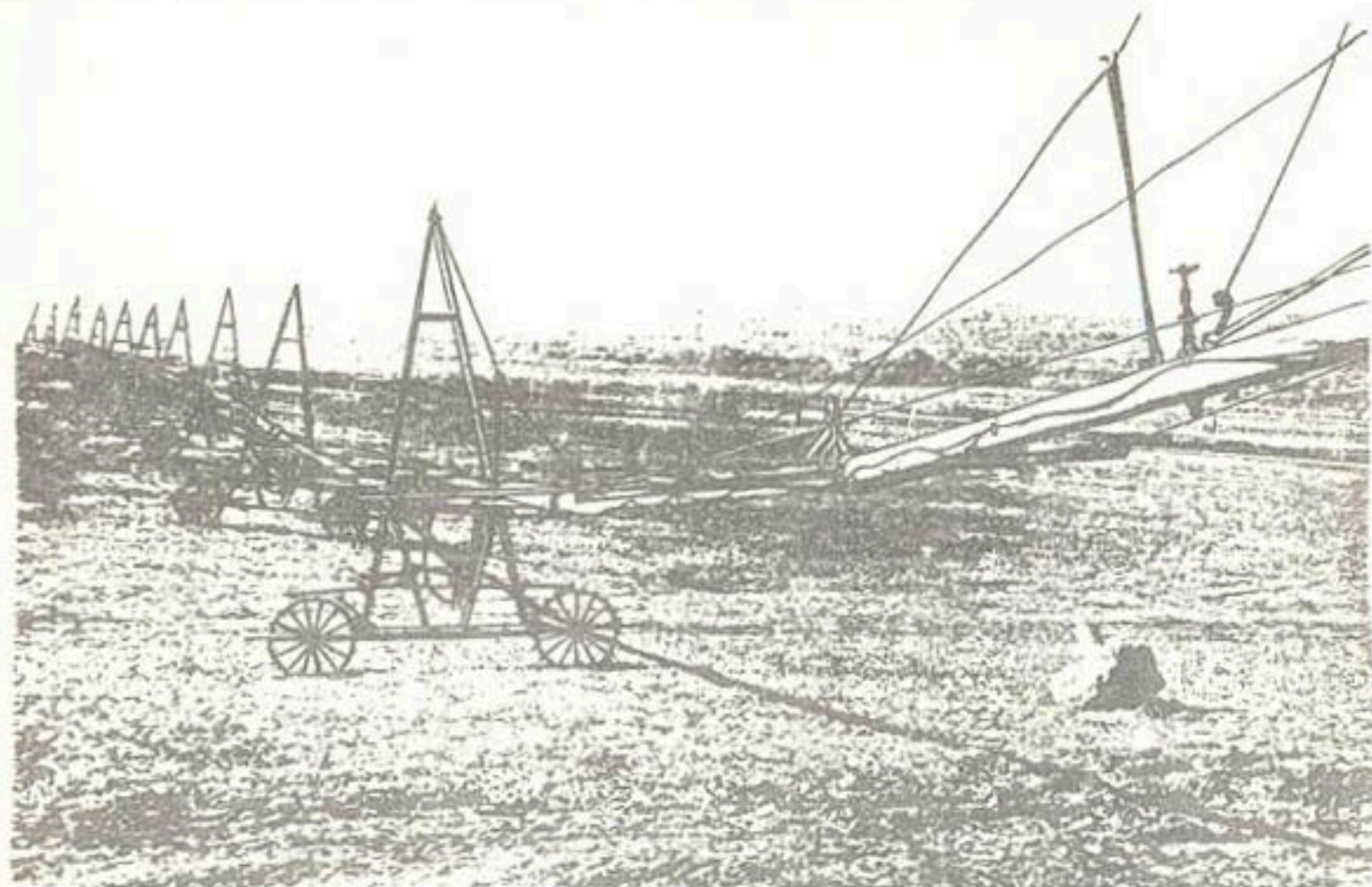


Рис.2. Общий вид машины с глубокими вставками

Источником воды для орошения являлась р. Подкумок, откуда вода поступала по внутрихозяйственным каналам в небетонированный водоём-отстойник.

Подача воды к машинам осуществлялась двумя каскадами насосных станций, подключенных последовательно, без промежуточного бассейна. Две параллельно работающие станции СНП-75/100 первого каскада обеспечивали подвод воды к станциям второго каскада, разница геодезических отметок между которыми 56 и расстояние около 1800 м.

Каждая из двух насосных станций СНП-75/100 второго каскада осуществляет подачу воды в соответствующую ДМУ "Фрегат", установленную на расстоянии 850 м от другой такой же машины.

Места установки гибких вставок по длине водопроводящих трубопроводов машин определялись расчетным путем посредством обработки карты орошаемых полей.

Участки, где были установлены машины, имеют сложный рельеф с общим направлением уклона с юга на север. Почвенный покров участков однородный, представлен предкавказскими черноземами.

Машины ДМУ-А 392-50 и ДМУ-А417-37 в 1974 г. прошли заводские, а машины ДМУ-А 392-50 в 1975 г. в период с 26 мая по 12 августа – государственные испытания. Поэтому нижеприведенные показатели по обеим машинам даны по соответствующим результатам испытаний.

За время испытаний машин были определены их гидравлические и эксплуатационно-технологические показатели. Гидравлические показатели определялись в наиболее характерных по рельефу участках по длине водопроводящего пояса относительно практически безуклонного участка поля.

Общие расходы машин определялись как по водомеру, так и объёмным способом, как сумма расходов дождевальных аппаратов, настройка которых производилась по общепринятой методике на участках с незначительными общими и местными уклонами, характерными при применении серийно выпускаемых машин "Фрегат". Данная настройка дождевальных аппаратов обеспечила расходы у машин ДМУ-А417-37 и ДМУ-А 392-50 соответственно 37 и 57 л/с.

Изменение напорно-расходных характеристик машин отражено на рис.3 и 4.

При замерах на нулевых направлениях получены расходы воды для ДМУ-А417-37 – 36,4, ДМУ-А392-50 – 55,6 л/с.

При расположении дождевальной машины ДМУ-А417-37 в направлениях "в гору" ($i = +0,057$) и "под уклон" ($i = -0,048$), она имела соответственно расходы воды 29,8 и 41,8 л/с, т.е. изменение расхода воды машины при работе на участке с общим положительным уклоном составило 6,6 л/с или 18,1%, а на участке с общим отрицательным уклоном – 5,4 л/с или 14,8% (рис.3). Изменение давления по длине трубопровода машины при этом для сечения "в гору" было в пределах от 0,68 до 0,36, а для сечения "под уклон" – от 0,70 до 0,82 МПа, что соответствует перепаду высот указанных сечений.

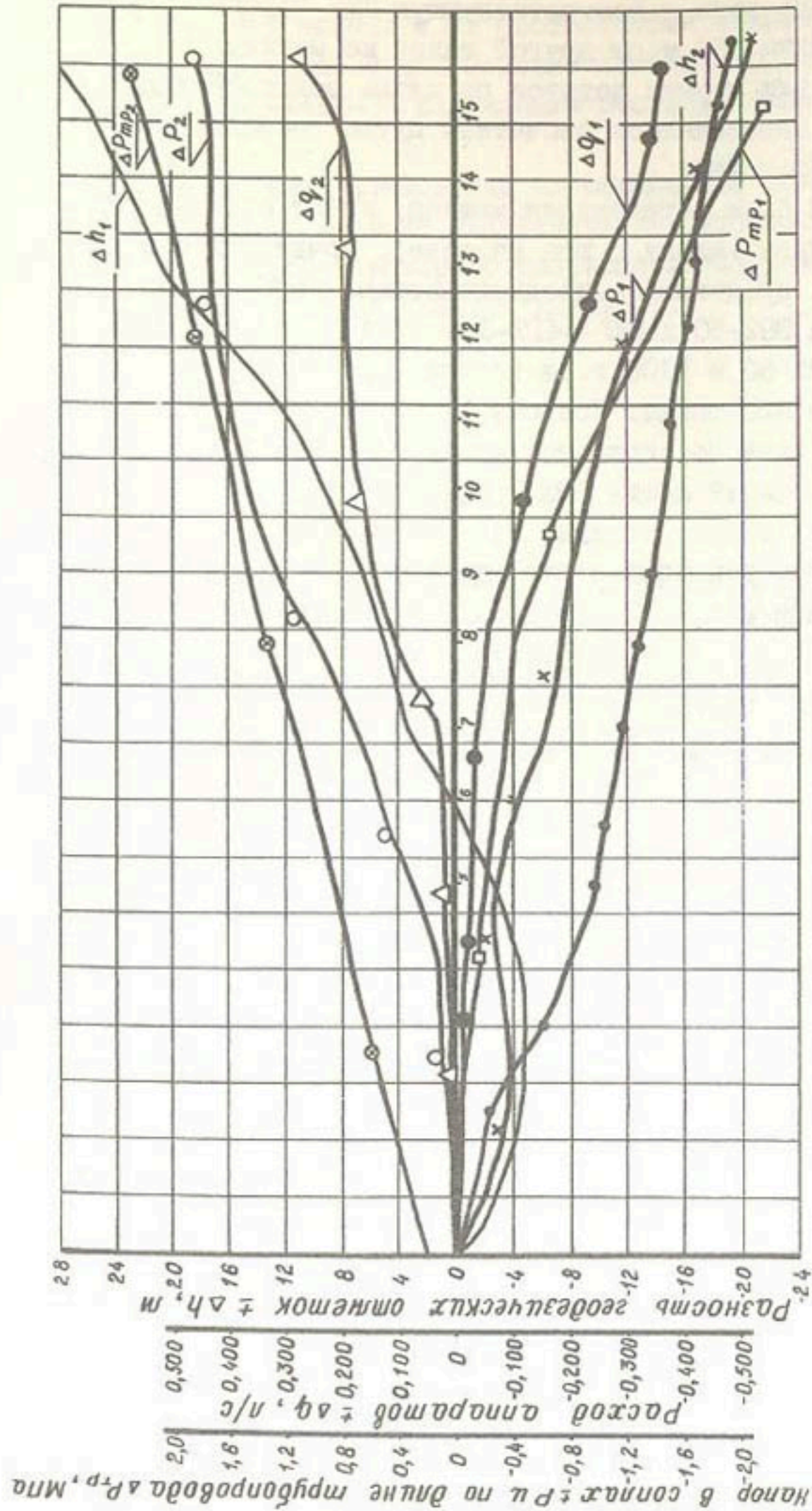


Рис. 3. Гидравлические показатели машины ДМУ-А417-37

- Δh — разность геодезических отметок положения тележек в контрольных сечениях 1, 2;
- х — ΔP_1 — изменение напора в соплах дождевальных аппаратов в контрольном сечении 1;
- о — ΔP_2 — изменение напора в соплах дождевальных аппаратов в контрольном сечении 2;
- — ΔP_{mp1} — изменение напора в трубопроводе по его длине в контрольном сечении 1;
- ⊗ — ΔP_{mp2} — изменение напора в трубопроводе по его длине в контрольном сечении 2;
- — Δq_1 — изменение расхода в соплах дождевальных аппаратов в контрольном сечении 1;
- Δ — Δq_2 — изменение расхода в соплах дождевальных аппаратов в контрольном сечении 2;

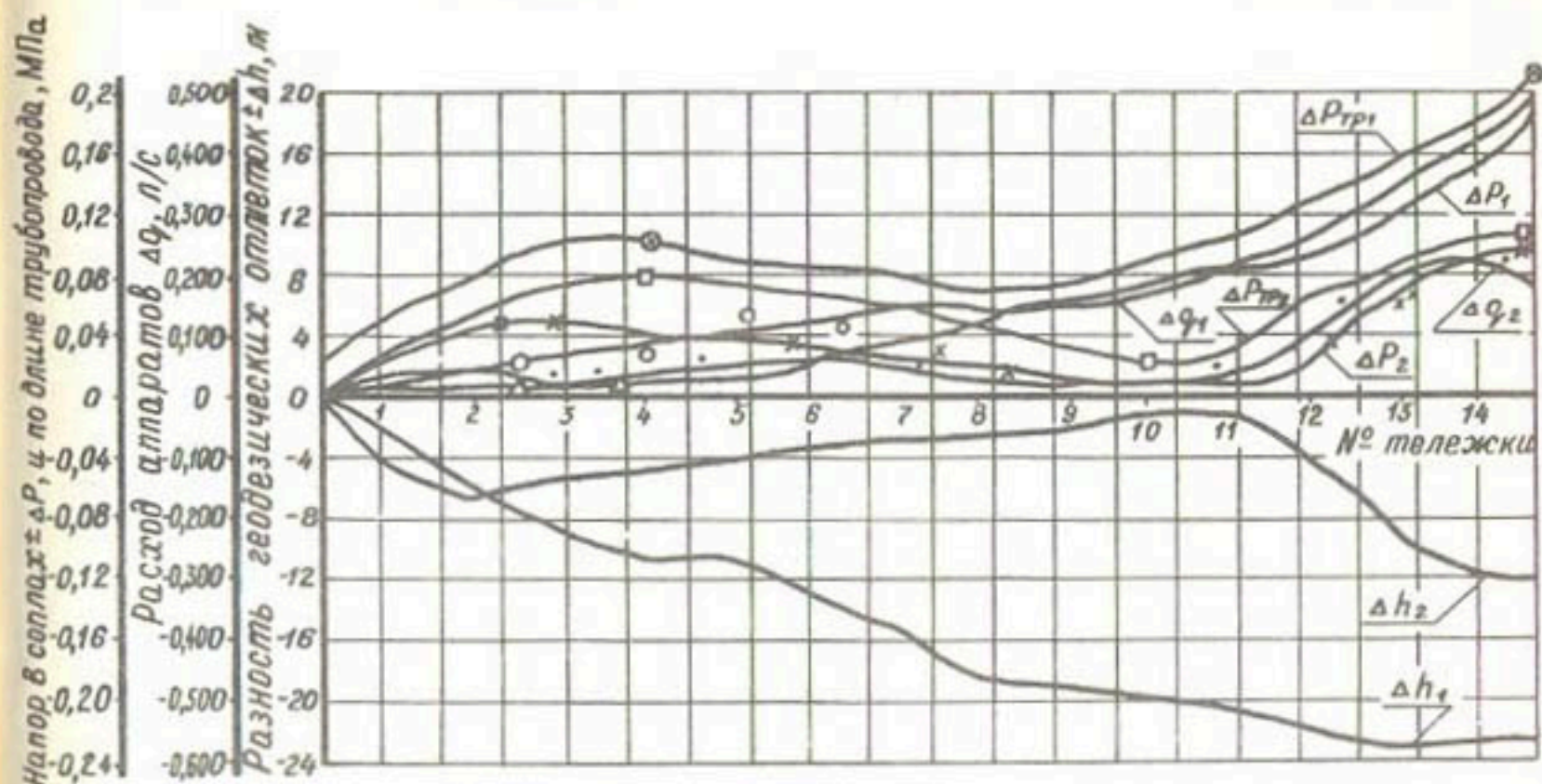


Рис. 4. Гидравлические показатели машины ДМУ-А392-50:

— — разность геодезических отметок положения тележек в контрольных сечениях I и 2; x — ΔP_2 — изменение напора в соплах дождевальных аппаратов в контрольном сечении 2; o — ΔP_1 — изменение напора в соплах дождевальных аппаратов в контрольном сечении I; □ — ΔP_{p2} — изменение напора в трубопроводе по его длине в контрольном сечении 2; ● — ΔP_{p1} — изменение напора в трубопроводе по его длине в контрольном сечении I; * — Δq_2 — изменение расхода в соплах дождевальных аппаратов в контрольном сечении 2; Δ — Δq_1 — изменение расхода в соплах дождевальных аппаратов в контрольном сечении I

Дождевальная машина ДМУ-А392-50 в направлениях "пересеченной местности" ($i = -0,37$) и "под уклон" ($i = -0,057$) имела расходы воды соответственно 56,2 и 64,3 л/с. Изменение же расхода воды при работе на "пересеченной местности" (сложный рельеф с перегибом) составило 0,6 л/с или около 1,0%, а в направлении с общим отрицательным уклоном — 8,7 л/с или 15,8% (рис. 4). Напор в указанных сечениях изменялся соответственно от 0,60 до 0,57 и от 0,60 до 0,70 МПа.

Изменение давления в соплах дождевальных аппаратов машин в характерных сечениях участка было аналогично изменению давления по длине водопроводящего трубопровода.

Естественно, что изменение давления на конце машины в зависимости от рельефа местности отразилось на изменении скорости ее движения, которая колебалась в пределах от 56,5 до 66,0 м/ч.

Площадь, орошаемая машинами с концевыми аппаратами за один оборот, по расчетным данным составила для ДМУ-А417-37 — 60,8, а ДМУ-А392-50 — 54,3 га. В процессе прохождения круга она изменялась вследствие изменения радиуса действия концевых аппаратов.

Радиусы действия концевых аппаратов у машин ДМУ-А417-37 и ДМУ-А392-50 соответственно имели значения в пределах от 9 до 46 и от 8 до 29,0 м, которые изменялись в зависимости от направления и скорости движения ветра, а также от давления воды в консольной части машин. Измерение радиусов действия аппаратов производилось по крайним каплям дождя.

Качественная характеристика дождя приведена в табл. I, из которой видно, что коэффициент эффективного полива имеет несколько меньшее значение по сравнению с установленными требованиями, что связано с перераспределением слоя дождя по длине машины в зависимости от уклонов местности (рис. 5).

Количество выпавших осадков определялось по общепринятой методике с расстановкой дождемеров и с последующей обработкой материалов на ЭВМ "НАИРИ".

Таблица I

Качественная характеристика дождя

Показатели	В е л и ч и н а			
	ДМУ-А417-37		ДМУ-А392	
	под уклон $i = 0,048$	безуклон- ный учас- ток $i = +0,0017$	пересечен- ный учас- ток $i = -0,037$	под уклон $i = -0,057$
Коэффициент эффектив- ного полива, %	0,639	0,690	0,656	0,69
Коэффициент недоста- точного полива, %	0,137	0,13	0,20	0,18
Коэффициент избыточ- ного полива, %	0,224	0,18	0,14	0,13
Средний слой осад- ков, мм	10	13,8	12,8	15,5
Средняя интенсивность дождя, мм/мин	0,32	0,27	0,25	0,30
Средний диаметр ка- пель дождя по длине машины, мм:				
начало струи	0,4	0,54	0,54	0,53
середина	1,9	1,24	1,25	1,26
конец	2,8	1,84	1,85	1,86

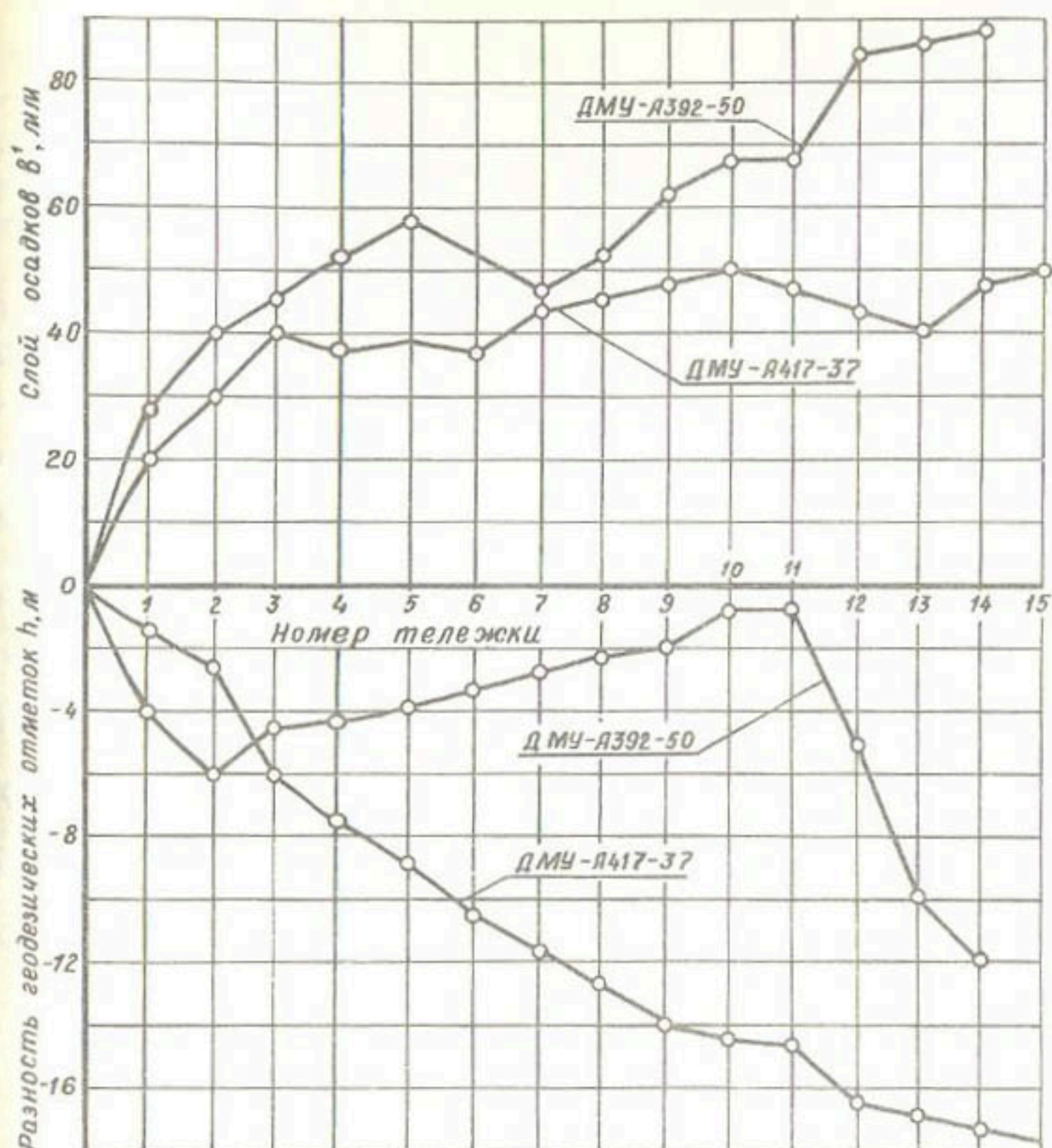


Рис.5. Распределение среднего слоя осадков по длине машин ДМУ-А417-37 и ДМУ-А392-50

Характер распределения слоя дождя по длине машин аналогичен характеру изменения давления по ее длине.

Так для машин ДМУ-А417-37 и ДМУ-А392-50 величина слоя осадков изменялась соответственно в пределах от 10 до 32 и от 9 до 25 мм/мин. Диаметр капель дождя по длине струи для ДМУ-А417-37 изменялся от 0,4 до 2,8, а для ДМУ-А392-50 – от 0,59 до 1,86 мм.

Как показали визуальные наблюдения, при поливе свежеспаханного участка нормой $500 \text{ м}^3/\text{га}$ стока не наблюдалось, но при

этой же норме, начиная от 7-ой тележки, при дождевании участка с кукурузой и подсолнечником наблюдался поверхностный сток.

При меньшей норме полива (около $150 \text{ м}^3/\text{га}$) сток имел место на агрофоне "посев с последующим прикатыванием".

Нижеприведенная эксплуатационная оценка дана по результатам государственных испытаний машины ДМУ-А392-50.

Некоторые из параметров проходимости колесного движителя машины приведены в табл.2.

Таблица 2

Параметры проходимости ДМУ-А392-50

Рельеф участков	Средняя ширина колеи, см		Средняя глубина колеи, см	Среднее удельное давление, МПа	Заминаемость растений, %
	без учета почвенных призм выпирания	с учетом почвенных призм выпирания			
Ровный $i = +0,0017$	31	40	19	0,074	1,31
Пересеченный $i = -0,037$	42	58	20	0,072	1,89
Под уклон $i = -0,057$	37	52	18	0,076	1,70
Среднее	36,5	49,5	19	0,074	1,62

Как видно из таблицы, средняя глубина колеи превышает значения, установленные агротребованиями для сельскохозяйственной техники, по которым глубина колеи не должна превышать 2,5-5,0 см. Это является следствием превышения удельного давления колес машины (0,16-0,18 МПа) над несущей способностью почвы.

Более широкая колея наблюдается на пересеченном участке, где происходит несовпадение следов, образуемых передними и задними колесами тележек, в результате чего ширина колеи достигает более 50 см. Глубокая и широкая колея является препятствием для нормальной работы пропашных и уборочных агрегатов.

Агротехнический просвет, т.е. расстояние от трубопровода машины до поверхности орошения, из-за сложности рельефа местности изменялся от 0,9 до 3,2 м.

В табл.3 приведены эксплуатационно-технические показатели машины ДМУ-А392-50.

Таблица 3

Эксплуатационно-технологическая оценка ДМУ-А392-50

Наименование показателей	Значения
Норма полива, м ³ /га	600
Чистое время работы, ч	157
Технологическое (сменное) время, ч	162,3
Эксплуатационное время, ч	176,4
Производительность за час, га:	
чистого времени	0,34
технологического (сменного)	0,33
эксплуатационного	0,30
Коэффициент технологического обслуживания	0,98
Коэффициент надежности технологического процесса	0,99
Коэффициент использования технологического (сменного) времени	0,97
Коэффициент использования эксплуатационного времени	0,89
Коэффициент готовности	0,96

Как видно из таблицы, полученные эксплуатационно-технологические показатели находятся в основном в пределах, допускаемых по техническим требованиям, кроме коэффициента готовности, значение которого получилось несколько ниже (0,96 против 0,98). Это было связано с недостаточной приспособленностью машины к плановому техническому обслуживанию (142 точки смазок и 87 точек регулировок) и повышенным числом поломок (36 случаев) в начальный период наработки.

Полученный биологический урожай зеленой массы кукурузы с подсолнечником на участке, орошаемом машиной ДМУ-А392-50, составил около 366 ц/га.

В ы в о д ы

Результаты заводских и государственных испытаний показали возможность применения дождевальнoй машины "Фрегат" уклонной модификации на участках со сложным рельефом с сохранением основных показателей работы, что позволило коллегии НТС Минводхоза СССР (протокол № 19/3/2 от 17.03.76 г.) рекомендовать машину к серийному производству.

К. с.-х. н. Пак И. В.,
с. н. с. Брюквин В. Г.,
м. н. с. Ишматова Р. А.,
и. о. с. н. с. Ким А. С.
(ВНИИМИТ)

ИМПУЛЬСНОЕ ДОЖДЕВАНИЕ ЧАЙНЫХ ПЛАНТАЦИЙ НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ

Возможность длительного направленного воздействия искусственного дождя на условия роста и развития растений и среду их обитания, а также низкая средняя интенсивность дождя системы синхронного импульсного дождевания предопределили её использование на чайной плантации со значительными уклонами местности.

Высокую положительную отзывчивость чайного растения на направленное воздействие искусственного дождя в "прерывистом" и "освежительном" режимах дождевания отмечал ряд исследователей [3, 4, 5, 6]. Однако ввиду отсутствия технических средств, позволяющих автоматизировать процесс распределения воды на поле, отмеченный эффект не нашел широкого применения в производстве. С другой стороны, чайные плантации в Краснодарском крае размещены на склоновых землях, имеющих уклоны от 10 до 35°, в связи с чем при дождевании обычными установками формируется поверхностный сток и наблюдается водная эрозия почв. Поэтому внедрение в чаеводческой зоне систем синхронного импульсного дождевания, удовлетворяющих по своим техническим и эксплуатационным показателям отмеченным выше условиям, откроет возможность повышения урожая чайных плантаций.

Зона разведения чая в Краснодарском крае занимает приморскую часть Черноморского побережья. Она представлена областью распространения отрогов Кавказского хребта и холмистых возвышенностей, расчлененных многочисленными долинами рек и речек, и занимает узкую полосу в 15-20 км, протянувшуюся вдоль берега моря. Здесь на бурых горно-лесных почвах размещены чайные плантации. Механический состав почв тяжелый. Содержание физической глины изменяется от 60 в верхних горизонтах до 85-90% в слое 50-80 см. Несмотря на это, почвы, в силу хорошей оструктуренности, обладают высокой скважностью, достигающей 50-54%, при этом объемная масса метрово-

го слоя колеблется в пределах $1,16-1,30 \text{ г/см}^3$, а наименьшая влагоёмкость (НВ) составляет 34,3% массы сухой почвы.

Средняя годовая норма осадков составляет 1534 мм, однако максимум приходится на зимние месяцы. Летом же они выпадают реже и в основном в виде ливней. Поэтому, несмотря на большую годовую норму осадков, в летний период нередко возникают засухи. Повторяемость почвенных засух продолжительностью свыше 10 дней составляет 44%. Низкая влажность почв в сочетании с высокими дневными температурами и дефицитами влажности воздуха резко тормозит рост флешей чайного растения.

Необходимо отметить, что чайные плантации, несмотря на теплолюбивость, отрицательно относятся к высокой инсоляции и высоким температурам [1]. Даже при достаточно высокой влажности почвы "прерывистое" и "освежительное" дождевание в жаркое время дня дает прибавку урожая чайного листа [3, 4, 6]. Здесь сказывается эффект прямого воздействия дождя на растение и формирование микроклимата [5]. Анализ работ Бушина П.М. [2], Филиппова Л.А. [8] и других авторов позволил нам схематически очертить область "комфортных условий" (S_k) произрастания продуктивных побегов чайного растения в летний период (рис.1). Из двух компонентов, описывающих эту область, относительная влажность воздуха, являющаяся функцией температуры и влажности, значительно "подвижней" влажности почвы. В связи с этим вероятность попадания чайного растения в неблагоприятные условия роста (S_k) возможна при любой влажности почвы, но число таких случаев увеличивается по мере снижения почвенных влагозапасов. Поэтому оперативное вмешательство в среду обитания чайного растения с помощью импульсного дождевания позволяет повысить урожайность чайных плантаций [5].

С целью установления основных технологических параметров системы синхронного импульсного дождевания для орошения чайных плантаций и проведения исследований по динамике почвенных влагозапасов, элементов водного баланса, микроклиматических показателей, агрофизиологических показателей роста чайного растения, определяющих урожай плантации, продуктивности использования оросительной воды на экспериментально-производственной системе (рис.2) в Дагомысском чаесовхозе Краснодарского края были заложены полевые опыты, которые проводились с 1973 по 1975 гг. Опыты проводились в следующей последовательности. Вариант В-1 контрольный (без полива). На варианте В-2 проводилось периодическое дождевание, когда

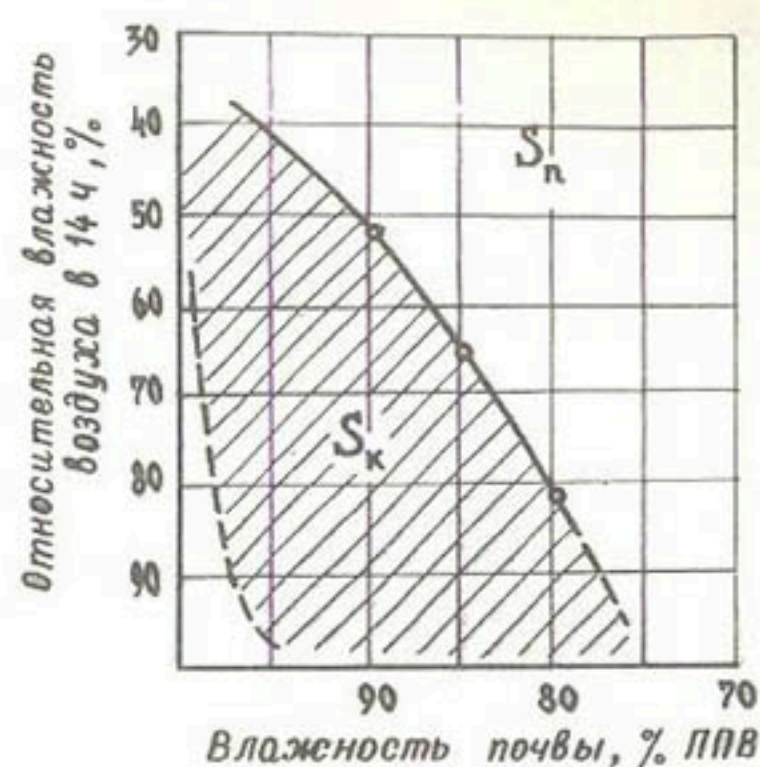


Рис. I. Область благоприятных условий (по влажности почвы и воздуха) в летний период для произрастания побегов чайного растения (по данным Бушина П.М. и Филиппова Л.А.)

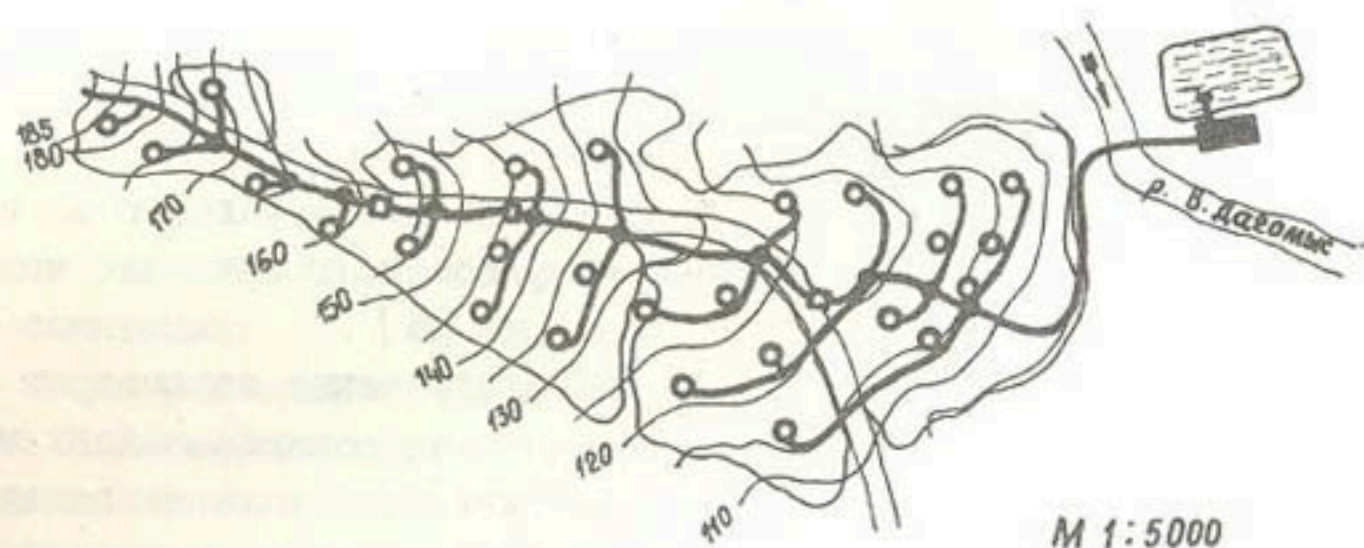


Рис. 2. Схема системы импульсного дождевания в Дагомысском чаесовхозе: ■ - головной узел - Н.С., П.У., Г.И.; — — — — — трубопроводы; □ - зонные генераторы импульсов; ⚡ - ограничители давлений; о - импульсные дождеватели

влажность полуметрового слоя опускалась до 80–85% НВ. Импульсное дождевание проводилось на варианте В-3 нормой, близкой суточному водопотреблению (рис.3), причем влажность почвы в полуметровом слое поддерживалась выше 80–85% НВ.

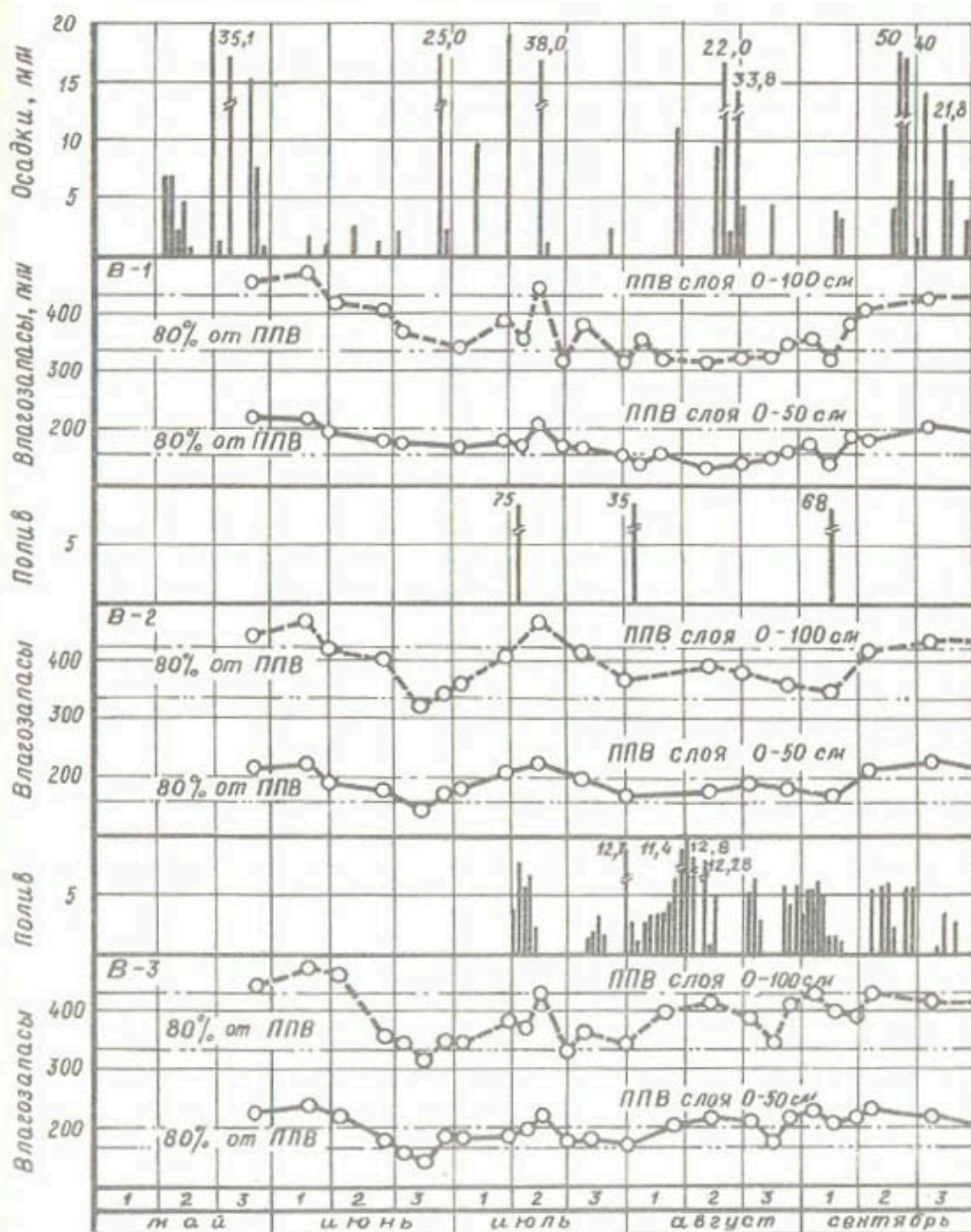


Рис.3. Распределение атмосферных и искусственных осадков и изменение влагозапасов почвы на вариантах опыта, 1974 г.

Естественное распределение осадков и почвенных влагозапасов в расчетном слое за период май-сентябрь 1974 г., а также их изменение под действием обычного и импульсного дождевания приведено на рис.3. В 1973 и 1975 гг. как и в 1974, на поливных вариантах влажность почвы в расчетном слое не опускалась ниже оптимальной.

При импульсном дождевании, несмотря на высокую влажность почвы, отсутствовали признаки формирования поверхностного стока, в то время как при обычном дождевании аппаратами "Роса-3" нормой 35-40 мм происходило заметное поверхностное перераспределение поливной воды по склону. Необходимо отметить, что при импульсном дождевании изменяется закономерность формирования микроклимата чайной плантации. Если в естественных условиях над плантацией в солнечные дни в основном устанавливается положительный вертикальный градиент температуры (рис.4) и происходит турбулентный отток тепла и водных паров от подстилающей поверхности, то на участке импульсного дождевания наблюдается отрицательный градиент температуры (рис.4) и приток дополнительного тепла из атмосферы к листовой поверхности. В связи с этим суточное испарение в отдельные дни было на 10-15% выше, чем на участке периодического дождевания. Суточный расход влаги в июле-августе при импульсном дождевании достигал 5,5-6,8 мм.

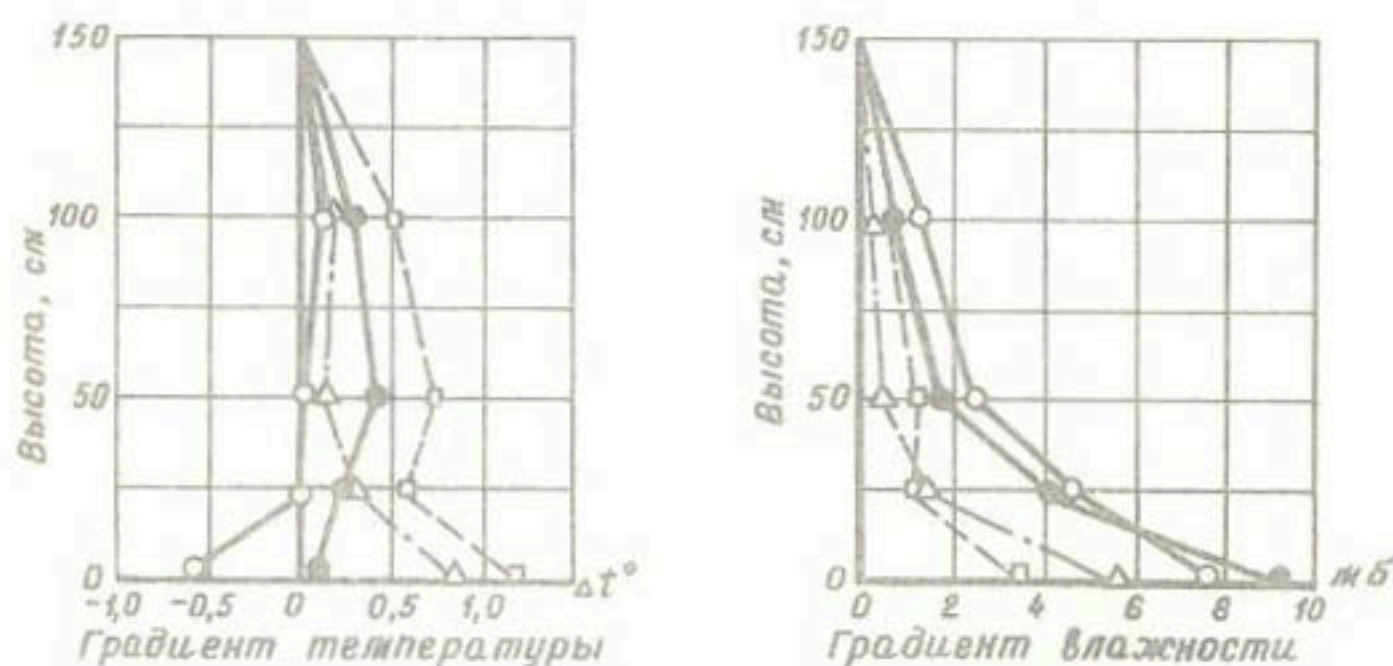


Рис.4. Вертикальное распределение градиента температуры и абсолютной влажности воздуха при импульсном дождевании (средние значения за период с 10 по 16 ч 29.VIII.1973 г.): — — — вариант импульсного дождевания; — — — вариант периодического дождевания; — — — вариант без орошения

Частое воздействие капельно-жидкой влаги на листовой аппарат чайного растения изменяет характер протекания ряда физиологических процессов и водный режим растений (табл. I).

Таблица I

Водный режим двухлистных флешей чая на 14 часов

Показатели водного режима растений	Периодическое дождевание	Импульсное дождевание
I	2	3
Содержание воды, %	72,4	76,7
Водоотдача (на г сухого вещества), г/г	0,225	0,428
Количество воды, потерянное в течение 2ч, %	9,0	13,6
Водопоглощающая способность, г/г	0,595	0,323
Относительная тургесцентность, %	82,5	91,2
Дефицит относительной тургесцентности, %	17,2	8,8
Концентрация клеточного сока, %	13,3	10,1

В условиях импульсного дождевания значительно повышается обводненность флешей, в связи с чем существенно увеличивается водоотдача и снижается их водопоглощающая способность и дефицит относительной тургесцентности. Возможно, что причина этого явления кроется в изменении водоудерживающей силы коллоидов клеток и уровня их гидрофильности (Лебедев, 1969).

Высокая тургесцентность, определяющая активность устьичного аппарата, и хорошая обводненность клеток способствуют интенсивному дыханию и оттоку ассимилянтов (табл. 2). Процессы ассимиляции идут с постоянной скоростью, поэтому общая продуктивность фотосинтеза оказалась почти в два раза выше, чем при периодическом дождевании.

Таблица 2

Фотосинтез чайного растения

Показатели	Периодическое дождевание	Импульсное дождевание
Начальный вес 100 см ² листа, г	0,987	0,837
Чистая продуктивность фотосинтеза, мг/ч	0,54	2,37
Интенсивность дыхания и оттока, мг/ч	2,16	2,95
Общая продуктивность, мг/ч	2,70	5,32

Отмеченный эффект имел место в условиях оптимального режима импульсного дождевания. При влажности почвы выше наименьшей влагоемкости и интенсивности дождя больше 0,7, а также при интенсивности ниже 0,3 мм/ч в ясный день активность фотосинтеза падала, а с ней замедлялись процессы роста.

Динамика расчета продуктивных побегов чайного растения, установленная нами с помощью ауксанографов (рис.5), согласовывается с результатами выше проведенных исследований. Повышение фотосинтетической активности приводит к интенсивному накоплению органических веществ, хорошему оттоку ассимилянтов, в связи с чем в течение всего дня при импульсном дождевании происходит равномерный рост побега. На варианте периодического дождевания (В-2) скорость роста побега значительно ниже, чем на варианте В-3, кроме того, во второй половине дня отмечается "отрицательный" рост, вызванный, вероятно, значительным ростом термической напряженности подстилающей поверхности, в связи с чем произошло резкое снижение обводненности тканей молодого листа.

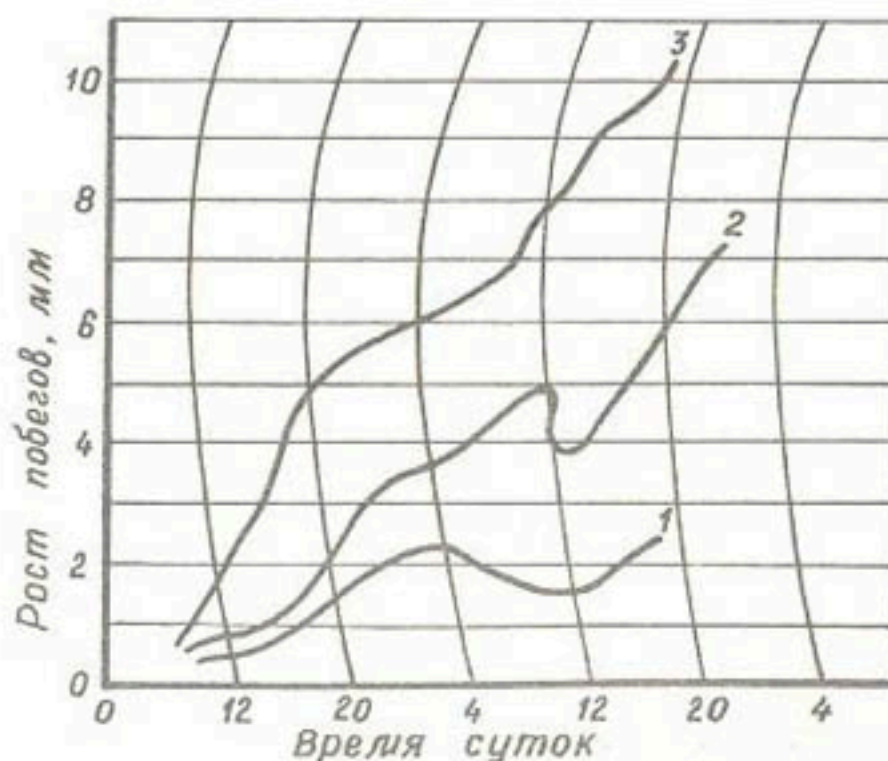


Рис.5. Динамика роста чайного побега (увеличение ауксанографом 1:7)
Варианты: 1-контроль неорошаемый; 2-контроль орошаемый; 3-импульсное орошение

Стимулирование активности физиологических процессов способствовало значительному росту урожайности чайных плантаций на варианте импульсного дождевания (табл.3).

Таблица 3

Урожай зеленого чайного листа и расход воды по вариантам опыта за июнь-сентябрь

Варианты опыта	Осад- ки, мм	Ороси- тель- ная норма, мм	Водопо- требле- ние, мм	Урожай, ц/га	Кoeffици- ент водо- потребле- ния, м ³ /ц
<u>1973 г.</u>					
В-1. Без орошения	364	-	384	26,5	145
В-2. Периодическое дожде- вание	364	78,0	448	37,7	119
В-3. Импульсное дождева- ние	364	91,6	451	50,6	89
<u>1974 г.</u>					
В-1. Без орошения	280	-	287	26,7	107
В-2. Периодическое дожде- вание	280	178	442	36,9	120
В-3. Импульсное дождева- ние	280	211	491	57,0	86

Во влажном 1973 г. импульсное дождевание повысило урожай чайного листа на 34% по сравнению с периодическим дождеванием, а в относительно сухом 1974 г. прирост урожая составил 54%. Значительно повысилась продуктивность использования влаги. Для получения 1 ц зеленого чайного листа при импульсном дождевании расходуется 86-89, в то время как при периодическом дождевании расход воды достигает 100 м³.

Средний прирост дополнительной продукции на варианте В-3 достиг 102%, в то время как на варианте периодического дождевания он был равен 40,3, прибавка урожая относительно варианта В-2 составила 44,3%.

В связи с неравномерностью воздействия оросительной воды на урожайность чайных плантаций представляется необходимым оценить продуктивность её использования. Она может быть оценена коэффициентом эффективности способа дождевания, определяемого дополнительной продукцией, полученной на один кубический метр поданной воды.

Коэффициент эффективности использования оросительной воды при импульсном дождевании оказался в 2,2 раза выше, чем при обычном периодическом (табл. 4).

Таблица 4

Эффективность импульсного дождевания чайной плантации
(осредненные данные)

Варианты опыта	Оросительная норма, м ³ /га	Урожай, ц/га	Прибавка урожая				Эффективность способа дождевания, кг/м ³
			ц/га	%	ц/га	%	
В-1. Без орошения	-	26,6	0	0	-	-	-
В-2. Периодическое дождевание	1280	37,3	10,7	40,3	0	0	0,83
В-3. Импульсное дождевание	1510	53,8	27,2	102	16,5	44,3	1,80

В ы в о д ы

1. Система синхронного импульсного дождевания, предельно расщепляющая поливной ток, обеспечивает такую интенсивность дождя, которая позволяет поливать без образования стока воды при уклонах поверхности, используемой под чайные плантации, до 35°.

2. Импульсное дождевание, воздействуя на растение и среду его обитания, стимулирует активность протекания физиологических процессов и увеличивает в два раза урожай зеленого чайного листа по сравнению с неорошаемым участком и на 44,3% — по сравнению с периодическим дождеванием.

3. Эффективность использования оросительной воды при импульсном дождевании в 2,2 раза выше, чем при обычном.

4. Суммарное водопотребление чайных плантаций за период июнь-сентябрь составляло 4500-5000 м³/га в зависимости от увлажненности года. Суточные значения испарения за этот период достигали 5,5-6,8 мм.

Л и т е р а т у р а

1. А л е к с а н д р о в А.Р. Агроэкологическая характеристика чая. Чайный куст. — Труды Сочинской опытной станции субтропических и южных плодовых культур, вып. 7. Туапсе, 1949.
2. Б у ш и н П.М., Ф и л и п п о в Л.А. Обоснование параметров поливного режима чайных плантаций с учетом влияния влажности воздуха на водный режим растений. — В сб.: Водный режим и орошение плодовых и субтропических культур в горных условиях. Сочи, 1975.
3. К у л и е в Ф.А., Д а р а с е л и я М.К. Влияние влажности почвы и освежительных поливов на рост и развитие чайного растения. — "Субтропические культуры", 1969, № 2.
4. К у л и е в Ф.А. Влияние поливов на микроклимат и урожайность чайных плантаций. — "Гидротехника и мелиорация", 1970, № II.
5. Л е б е д е в Г.В., Б р ю к в и н В.Г., Е г о р о в В.Г. Импульсное дождевание чайных плантаций. — "Субтропические культуры", 1968, № 2.
6. Л е б е д е в В.Г. Импульсное дождевание и водный режим растений. М., "Наука", 1969.
7. Н о с е н к о В.Ф. Техника импульсного дождевания., М., "Колос", 1973.
8. Ф и л и п п о в Л.А. Водный режим чайного растения в связи с почвенно-климатическими особенностями и орошением в условиях Краснодарского края. — В сб.: Водный режим чайного растения и орошение плодовых и субтропических культур в горных условиях. Сочи, 1975.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ СТАЦИОНАРНОЙ
УСТАНОВКИ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО ДОЖДЕВАНИЯ

В настоящее время разрабатываются новые способы орошения, направленные на экономное и рациональное использование имеющихся запасов воды и повышение продуктивности сельскохозяйственных культур. В этом отношении весьма перспективным представляется мелкодисперсное дождевание, или, как его еще называют, аэрозольное увлажнение.

Изучение мелкодисперсного увлажнения в настоящее время как за рубежом, так и в нашей стране (ТСХА, ВНИИГИМ, МГМИ, ВНИИМИП) ведется в направлении улучшения конструкций установок с целью увеличения их производительности и использования этого способа полива для устранения депрессии фотосинтеза, снижения расхода воды на эвапотранспирацию, для защиты растений от заморозков, морозов, вымерзания озимых культур, борьбы с суховеями, вредителями, сорняками, а также для внекорневого питания растений и др.

Современная наука рассматривает орошение как прием глубокого воздействия на внешнюю среду растений. В определенных условиях орошение может применяться не только для повышения влажности почвы, но и как средство снижения расхода воды на эвапотранспирацию, защиты растений от заморозков и морозов, борьбы с суховеями, вредителями, сорняками и др. На IX конгрессе МКЦД была принята классификация способов орошения с.-х. культур по степени воздействия на окружающую среду. Мелкодисперсное дождевание выделено как новый прогрессивный и самостоятельный способ полива.

Мелкодисперсное дождевание имеет существенные преимущества перед другими способами полива:

- значительная экономия оросительной воды;
- возможность увлажнения при любом рельефе местности, отсутствие планировки поверхности;
- отсутствие поверхностного стока, смыва и эрозии почвы;
- возможность строгого нормирования поливной воды в соответствии с потребностью растений;
- возможность регулирования интенсивности дождя и размера капель;

- полностью исключается разрушение структуры почвы, даже идет упрочнение структурных агрегатов;
- исключается подъём грунтовых вод и ухудшение мелиоративного состояния земель (вторичное заболачивание и засоление);
- возможность полной автоматизации полива.

Мелкодисперсное дождевание (МДД) направлено на создание наиболее благоприятного для растений микро- и фитолимата путем регулирования влажности и температуры приземного слоя воздуха малыми расходами воды на фоне достаточных запасов влаги в почве. Сущность этого способа заключается в периодическом покрытии листовой поверхности растений каплями дождя диаметром 20-600 мкм, которые остаются на ней до полного испарения. МДД проводится только в жаркие сухие периоды, когда температура воздуха превышает физиологически оптимальную для данной культуры. Норма полива колеблется в пределах 100-500 л/га в час.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом имеется несколько типов установок, способных производить мелкодисперсное дождевание. К ним можно отнести различные виды распылителей минеральных удобрений, опрыскивателей, переоборудованные дождевальные машины (тракторные прицепные и навесные орудия типа ОВТ-1, ОВ-4, ОП-450, дождевальный агрегат ДДА-100М), туманообразующие установки, ТОУ различных модификаций, созданные во ВНИИГМ. В Италии, США, ГДР построены опытные стационарные системы мелкодисперсного дождевания. Они состоят из трубчатых мачт высотой 10-25 м, в верхней части которых находятся распылители. Положение их на мачте регулируется при помощи ручной лебедки, расположенной у основания мачты. Стоимость таких систем соответствует стоимости полустационарных дождевальных систем с длиной крыла 100-200 м.

Стационарные системы МДД по сравнению с мобильными установками обладают такими преимуществами, как полная автоматизация полива, возможность применения сразу на больших площадях. Поэтому в качестве технического средства для создания МДД и дальнейших исследований была принята стационарная установка, конструкция которой показана на рис.1. Такая конструкция позволит быстро и без больших затрат производить монтаж и демонтаж установок и всей системы в целом для технического обслуживания и зимнего хранения, если это необходимо.

Установка представляет собой стойку (1), которая состоит из алюминиевых труб переменного сечения, штанги (3) с форсунками (5) и

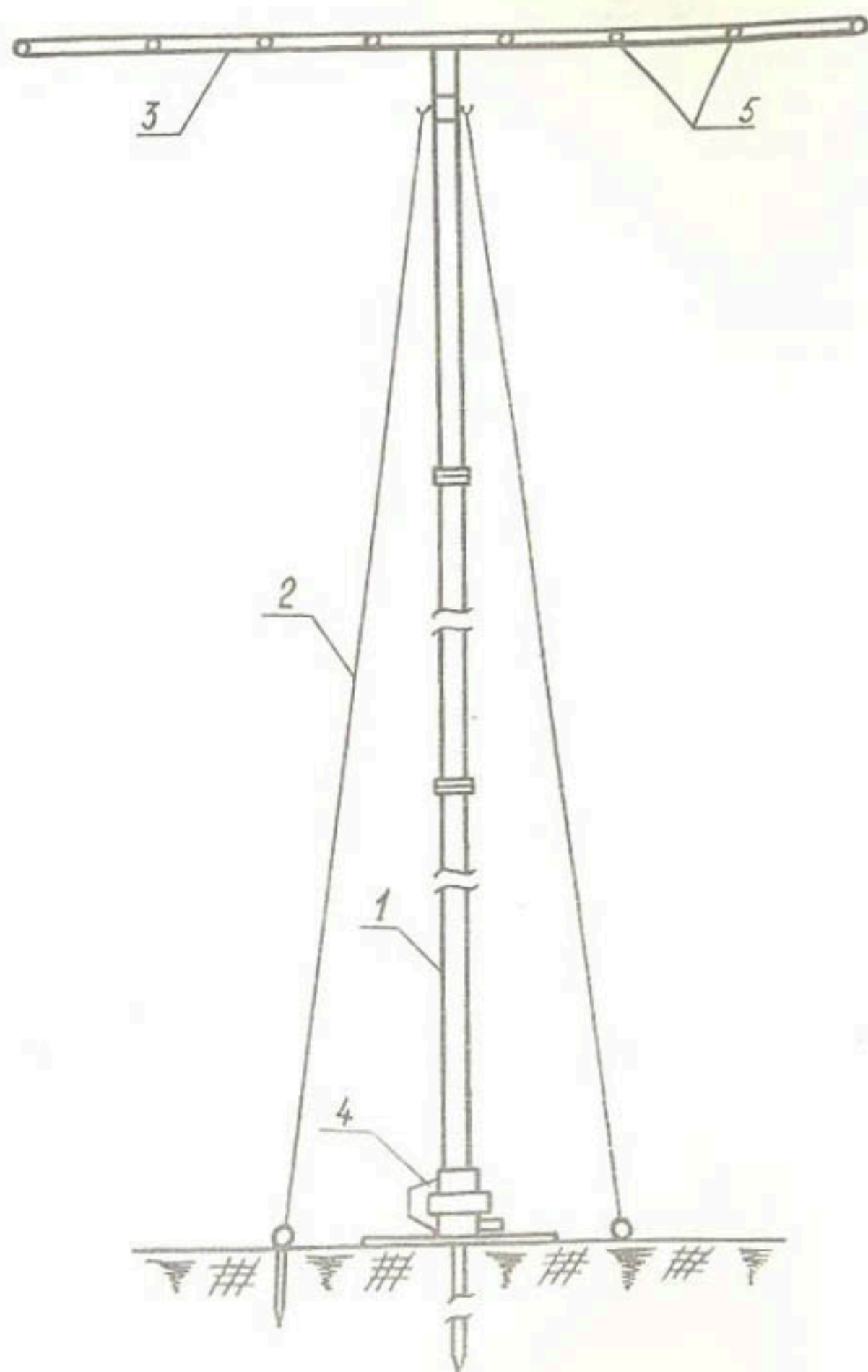


Рис. 1. Общий вид мелкодисперсной стационарной установки:
1-стойка; 2-растяжка; 3-штанга; 4-основание стой-
ки; 5-форсунки

растяжек (2). Поворот штанги относительно стойки обеспечивает флюгер с противовесом.

Мелкодисперсная установка работает следующим образом. Вода от насосной станции через водопроводную сеть подается к установке, где по стояку поступает в форсунки, распыливается ими и с помощью ветра распространяется по орошаемой площади. Для поддержания оптимального микроклимата увлажнение необходимо производить с интервалом по времени, равным времени испарения основной массы капель.

Ниже приводится техническая характеристика стационарной установки мелкодисперсного дождевания, работающей в непрерывном режиме.

Техническая характеристика

Высота установки, м	10
Расход установки, л/с	0,264
Рабочий напор, м	30-80
Количество распылителей, шт.	12
Диаметр капель, мкм	20-600

Для дробления жидкости применяют различные методы. В практике получили распространение следующие: термический, пневматический, вращающимся диском, электростатический, ультразвуковой и гидродинамический.

Исследования показали, что наиболее перспективным и рациональным методом распыливания жидкости в стационарных системах является гидродинамический.

Распыливание жидкости гидродинамическим методом осуществляется центробежными форсунками и форсунками прямого действия. На рис. 2 показана расходная характеристика центробежной форсунки с вихревой камерой и форсунки прямого действия с неподвижным дефлектором.

Лучшей в работе оказалась центробежная форсунка с вихревой камерой, больший диаметр сопла которой позволяет использовать для полива более мутную воду по сравнению с форсункой прямого действия, несмотря на то, что в них имеют место значительные потери напора.

В лабораторно-полевых условиях изучался процесс осаждения капель на листья растений при мелкодисперсном дождевании. В опытах брались два вида растений: с гладкой поверхностью листа (капуста

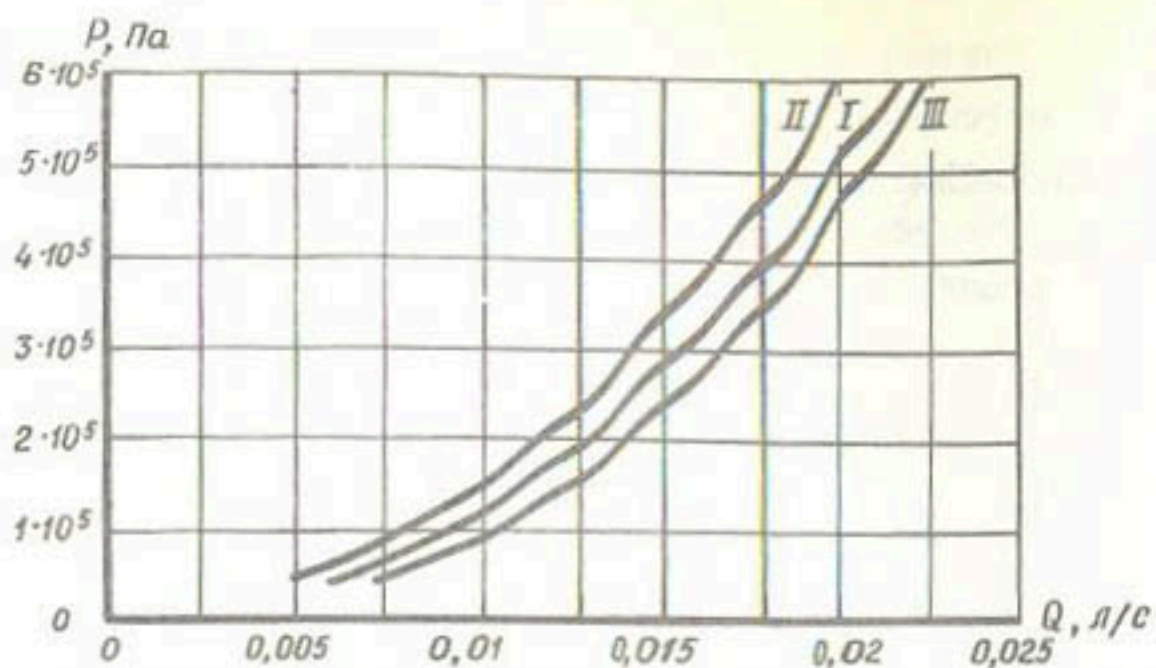


Рис. 2. Расходная характеристика форсунок: I - дефлекторная форсунка $\Phi 1,0$; II - вихревая форсунка $\Phi 1,25$; III - вихревая форсунка $\Phi 1,5$

белокачанная) и листьями, опушенными короткими волосками (лапчатка гусиная). Наблюдения показали, что в процессе осаждения дождевых капель (20–200 мкм) на поверхности листа лапчатки гусиной образовалась как бы тонкая водяная пленка, состоящая из множества отдельных мельчайших капель (рис. 3б). В то же время на листе капусты происходило соединение мелких капель в более крупные, а затем скатывание их с поверхности листа (рис. 3а) при диаметре капель 200 мкм и более. В результате на листьях остается меньше воды, что вызывает в свою очередь уменьшение межувлажнительного периода и увеличение оросительной нормы.

Кроме того, в лабораторно-полевых условиях исследовалась величина зоны увлажнения, создаваемая экспериментальной установкой, и диаметр капель.

Для определения диаметра капель использовались предметные стекла и микроскоп из комплекта скоростной кинокамеры "Пентацет-16". Результаты наблюдений представлены в табл. I.

Таблица I

Спектр распределения капель

Высота стойки, м	Скорость ветра на высоте 2 м, м/с	Диаметр капель распыленной жидкости (мкм) на расстоянии от стойки (м)								
		5	10	15	20	30	40	50	60	жж
10	5–8	400 ^ж	400–500	300	200–150	100–80	50	20–5	–	

*) Под стойкой наблюдались капли диаметром 1,5–3,0 мм.

жж) На расстоянии 60 м от стойки наблюдались мельчайшие частицы, но они не улавливались на предметное стекло из-за малого их количества, а если и попадали, то быстро испарялись

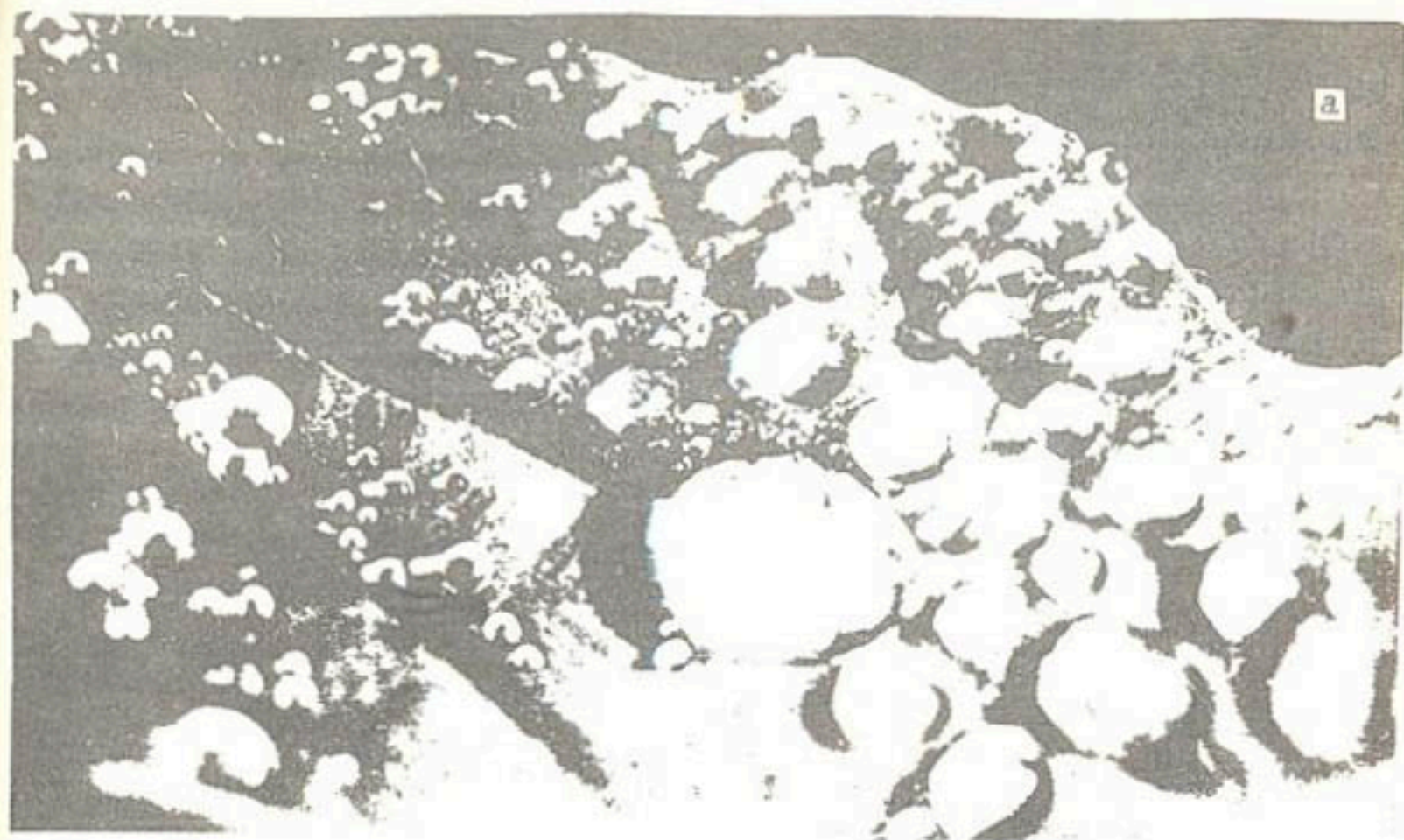


Рис.3. Осаждение капель на листья: а) капусты белокачанной,
б) лапчатки гусиной

Таким образом, дождевое облако распространялось на расстояние более 50 м от центра распыла, при этом диаметр капель диспергированной жидкости изменялся от 400 до 5 мкм.

Разработанная во ВНИИМИП стационарная установка для мелкодисперсного дождевания позволила провести первые исследования нового способа полива и дать направления по его дальнейшему изучению, в частности по разработке новых конструкций, влиянию мелкодисперсного дождевания на микроклимат окружающей среды и на само растение, по использованию МДД для защиты с.-х. культур от заморозков и суховеев на больших площадях.

К. т. н. Данильченко Н. В.,
к. т. н. Шарко А. М.,
с. н. с. Быков В. Г.,
ст. инж. Быкова Т. Ю.
(ВНИИМИТ)

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИКИ КАПЕЛЬНО-ИМПУЛЬСНОГО ОРОШЕНИЯ ЯБЛОНЕВОГО САДА

В СССР, начиная с 1970 г., проводятся научно-исследовательские работы по капельному орошению, построены отдельные опытные и опытно-производственные участки в разных природно-хозяйственных зонах страны, общая площадь которых достигла к 1977 г. 110 га. В соответствии с перспективными планами к 1980 г. капельное орошение должно быть внедрено на площади более 18 тыс. га.

Несмотря на большие капитальные затраты (до 3-х тыс. руб/га), капельное орошение характеризуется следующими достоинствами:

- обеспечивается подача воды в зону корнеобитания сельскохозяйственных культур в соответствии с их потребностью;
- достигается значительная экономия оросительной воды на каждом гектаре и на единицу полученной продукции;
- отпадает необходимость после поливной обработки почвы и уменьшается засоренность посевов в связи с очаговым увлажнением почвы только в зоне корнеобитания возделываемых культур;
- увеличивается урожайность сельскохозяйственных культур.

Однако на современном этапе капельное орошение нуждается в создании капельниц с высокими эксплуатационными показателями и централизованным регулированием их производительности, не требующих тщательной очистки оросительной воды от механических примесей и минеральных солей.

Конструирование такой оптимальной капельницы потребует комплексного решения вопроса о рациональных схемах и конструкциях оросительной сети и головного узла.

Во ВНИИМИТ разработаны технологические основы капельно-импульсного орошения и изготовлены экспериментальные образцы технических средств для его осуществления. Конструкция такой системы орошения в значительной мере позволяет решить вышеназванные проблемы. В основу этого решения положены следующие принципы:

- максимальное рассредоточение поливного тока во времени и по площади;
- использование переменных расходов и давлений воды в напорных трубопроводах для создания командных сигналов понижения давления и одновременного срабатывания всех капельниц;
- порционная равномерная раздача воды в зоны корнеобитания растений.

Новая технологическая схема капельно-импульсного орошения имеет следующие основные отличительные особенности:

- непрерывное снабжение сельскохозяйственных культур оросительной водой с доведением нормы суточной водоподачи каждому растению до суточной величины водопотребления;
- высокую надежность работы, которая обеспечивается изготовлением капельниц с проходными сечениями до нескольких миллиметров, что позволяет использовать оросительную воду обычного качества;
- высокую равномерность распределения оросительной воды по времени и площади, обеспечиваемую дискретной порционной раздачей воды и выравниванием давления на всей оросительной сети к моменту срабатывания капельниц;
- низкую стоимость систем капельно-импульсного орошения по сравнению с капельным в связи с тем, что отпадает необходимость устройства фильтров для тонкой очистки воды;
- простоту регулирования расхода воды путем изменения частоты командных сигналов в голове системы, обеспечивающих заданный режим сработки гидроимпульсных капельниц.

Технический комплект оборудования для капельно-импульсного орошения конструкции ВНИИМИТП состоит из:

- автоматического головного узла с генератором командных сигналов понижения давления в трубопроводной сети (рис.1);
- сети полимерных трубопроводов диаметром 10-40 мм;
- полимерных капельниц импульсного действия (рис.2), осуществляющих равномерное водораспределение по площади посредством порционных выплесков воды.

Главным функциональным элементом комплекта является капельница импульсного действия. Принцип и порядок работы её следующий. В исходном состоянии капельница заполнена воздухом. При создании в оросительной сети напора вода поступает внутрь капельницы и сжимает находящийся в ней воздух.

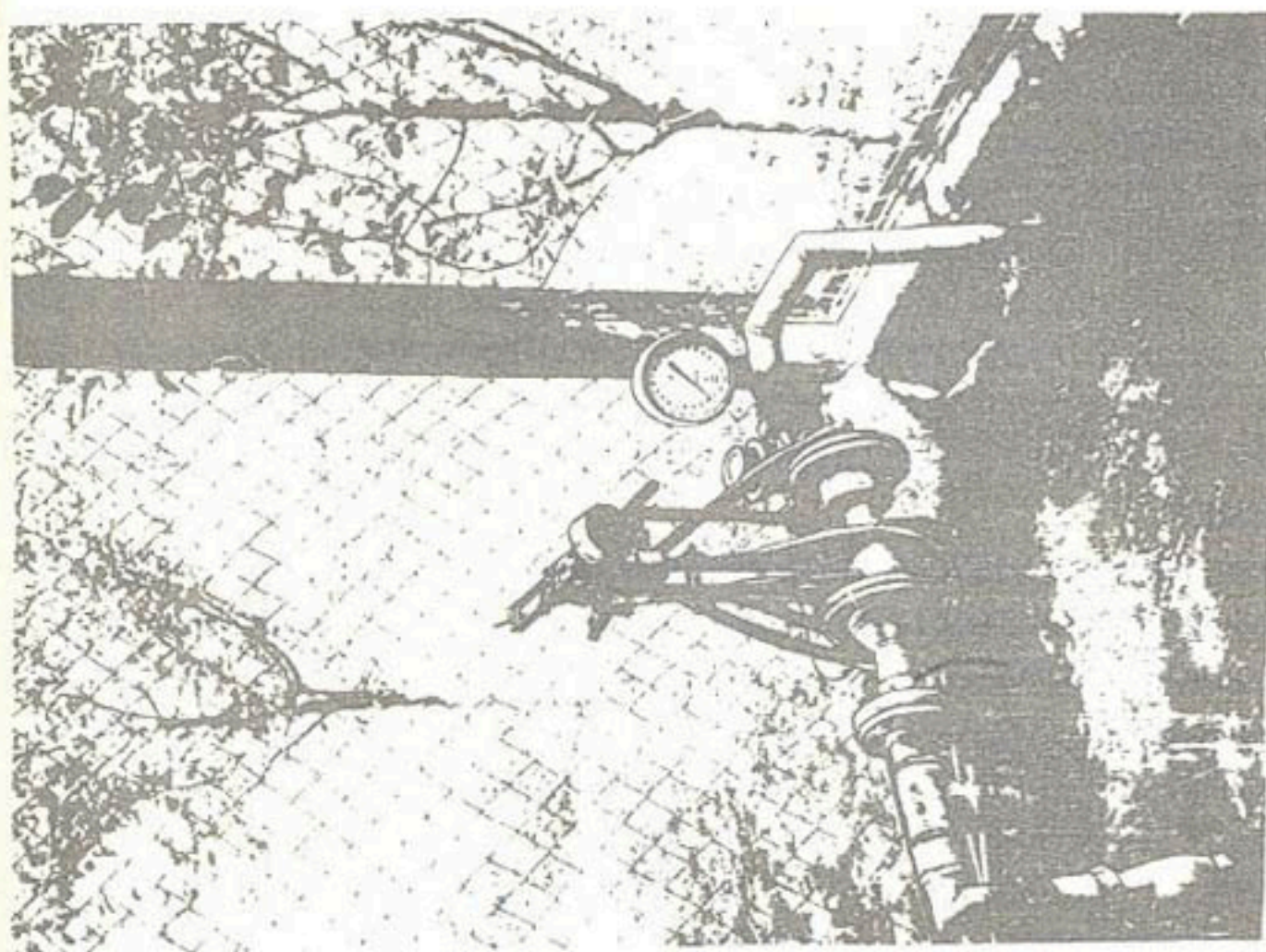


Рис. 1. Генератор командных сигналов системы
капельно-импульсного орошения



Рис. 2. Капельно-импульсное орошение
яблоневого сада

При достижении равновесия между рабочим давлением воды и противодействием сжатого воздуха капельница заполняется водой до расчетного объема. В этих условиях все капельницы оказываются заполненными одинаковыми порциями воды, так как при нулевом расходе гидравлическое сопротивление оросительной сети равно нулю, и во всех точках сети устанавливается одинаковый статический напор (если не принимать во внимание геодезические уклоны местности). Создание кратковременного (2-5 с) командного импульса понижения давления в сети (генератором командных сигналов) вызывает одновременное срабатывание всех капельниц, так как при понижении давления в сети клапан в капельнице перемещается вниз и открывает расходную трубку. При этом основной объем воды давлением сжатого воздуха вытесняется из капельницы (происходит локальный "выплеск"). После "выплеска" капельница приходит в исходное положение для нового рабочего цикла.

Хозяйственные испытания и проверка способа капельно-импульсного орошения проводились в 1975-1976 гг. на опытно-производственном участке ВНИИМИП в с-зе "Прут" Унгенского АПО "Молдплодоовощ-пром".

Орошаемый массив, где расположен опытный участок, занимает третью и частично четвертую надпойменные террасы р. Прут, являющейся источником орошения.

К головному узлу комплекта вода подается самотеком по асбестоцементным трубопроводам из напорного бассейна насосной станции первого подъема оросительной системы совхоза.

Уклон поверхности опытно-производственного участка $i = 0,05$. Почвенный покров представлен черноземом обыкновенным, мощным на среднем и тяжелом суглинке. Объемная масса в метровом слое почвы составляет $1,29 \text{ г/см}^3$, предельно-полевая влагоемкость - 25% от массы почвы.

Вегетационный период 1975 г. был обеспечен атмосферными осадками на уровне среднегодовой нормы, за тот же период в 1976 г. осадков выпало на 36% больше нормы. Они распределялись за вегетацию неравномерно, часто имели ливневый характер с высокой интенсивностью дождя. Поэтому за вегетационные периоды 1975-1976 гг. наблюдались значительные дефициты влаги в почве.

В 1975 г. на опытно-производственном участке был смонтирован комплект оборудования для капельно-импульсного орошения 480 яблонь.

Это оборудование было установлено стационарно с укладкой поливных трубопроводов в землю на глубину 70 см.

Забор воды осуществлялся из гидранта самонапорной закрытой оросительной сети. Давление воды на гидранте - 0,35 МПа, запорным органом служил 2-х дюймовый вентиль.

Схема расстановки капельниц определялась схемой посадки яблоневого сада. В опытном саду деревья были посажены 4x2,5 м (4 между рядами и 2,5 м между деревьями в ряду). Капельницы устанавливались по одной на каждое дерево в 20 см от штамба яблони.

Были приняты две технологические схемы расположения капельниц по отношению к яблоням: с размещением в прикорневой зоне на глубине 10-15 см от поверхности почвы и в подкроновой части на высоте 40 см над поверхностью почвы.

Поливами обеспечивалась средняя влажность почвы в зоне корнеобитания яблонь на уровне 85% ППВ.

В 1975 г. продолжительность непрерывного полива яблонь в капельно-импульсном режиме доходила до 10-15 суток. Вегетационный период 1976 г. отличался малыми дефицитами влаги в почве, поэтому отдельные периоды непрерывной работы системы не превышали 1-5 суток. В 1976 г. в течение сезона общая продолжительность полива (работы системы) составляла 35 суток.

Подача воды производилась локально к каждой яблоне. Измерениями было установлено, что объёмы "выплеска" составляли: капельницами типа "ИМ-100" - 0,100 ; капельницами типа "ПГА-140" - 0,115 л. Минимальная частота импульсов водоподачи составляла 1,0-1,5 мин.

В результате опытно-производственных испытаний комплекта оборудования для капельно-импульсного орошения яблоневого сада были получены следующие основные технологические параметры (табл. I).

Таблица I

Технологические параметры комплекта оборудования для капельно-импульсного орошения яблоневого сада в с-зе "Прут" Унгенского АПО "Молдплодоовощпром"

Наименование показателей	Пределы изменения показателей
1	2
Размеры орошаемого участка, м	48x100
Геодезический уклон поверхности участка	0,05

I	2
Схема расстановки капельниц импульсного действия	по прямоугольнику
Количество капельниц, шт.	
всего	480
в пересчете на 1 га	1000
Коэффициент земельного использования, КЗМ	0,999
Режим работы комплекта	автоматический, круглосуточный или почасовой
Напорообразующий узел	гидрант напорного трубопровода на оросительной системе
Система очистки оросительной воды	без очистки
Способ регулирования водоподачи	централизованно на головном узле
Рабочее давление, МПа	0,01-0,27
Удельный расход воды, л/с на га	0,05-1,2
Суточный объем водоподачи, м ³ /га в сут.:	
минимальный	8,6
максимальный	100,0
Средний объем "выплеска" капельницами "ИМ-100", л	0,1
Объем слива генератором импульсов при командном сигнале понижения давления:	
в объемном выражении, л	9,3
в процентах к водоподаче	4,0
Продолжительность рабочего цикла (накопление + выплеск), мин	1,5-15,0
Продолжительность команды на сработку всех капельниц, с	2-5

На основании разработанной технологической схемы и технологии полива сада в капельно-импульсном режиме и поддержания заданного порога влажности почвы в 1976 г. был обеспечен следующий режим орошения яблоневого сада (табл. 2).

Таблица 2

Режим подачи оросительной воды при капельно-импульсном орошении яблоневого сада (1976 г)

Периоды водоподачи	Продолжи- тельность полива, сут.	Суточная во- доподача		Декадные ординаты гидромо- дуля, л/с на га	Ороситель- ная норма, м ³ /га
		м ³ /га	л/сут. на дер.		
18.VI	1	15,0	15,0	-	
25.VI-30.VI	5	28,8	28,8	0,20	
01.VII-8.VII	4	18,8	18,8	0,18	
12.VII-20.VII	4	13,1	13,1	0,14	
21.VII-28.VII	7	15,0	15,0	0,14	
30.VII-1.VIII	3	26,6	26,6	0,09	
11.VIII-14.VIII	2	23,4	23,4	0,11	
25.VIII-31.VIII	3	13,4	13,4	0,11	
01.IX-3.IX	2	9,4	9,4	0,03	
13.IX-16.IX	4	10,0	10,0	0,05	
Всего	35				605

Суточная норма водоподачи комплектом капельно-импульсного орошения назначалась на основе расчета согласно метеорологическим факторам, фазам развития и имеющимся влагозапасам в расчетной зоне корнеобитания. Систематически проводилась корректировка нормы водоподачи в зависимости от уровня влажности почвы в очаге увлажнения. В результате принятого режима орошения суточная водоподача под яблони за вегетационный период 1976 г. составляла в среднем 15-20 л/сут. на дер., величина оросительной нормы - 605 м³/га. На контрольном варианте опытного участка был проведен один полив дождеванием нормой 850 м³/га. Против образования стока дождевание проводилось прерывисто с прекращением на 30-40 мин. каждые 1-1,5 ч работы дождевальной установки. На производственном массиве с-зе "Прут" в 1976 г. сад орошался один раз поливными нормами 750-900 м³/га.

В заключение необходимо отметить, что, исходя из величин фактических опытных и производственных норм полива яблоневого сада, очевидна тенденция к существенной экономии оросительной воды при капельно-импульсном способе орошения. Следовательно, применяемые

новые технические средства и прогрессивная технология капельно-импульсного орошения позволяет эффективно использовать оросительную воду, что наиболее ценно для природно-хозяйственных условий Молдавии с малыми водными ресурсами.

Учитывая, что молодые яблони сорта "Голден делишес" в 1975 г. не плодоносили, а в 1976 г. только стали входить в плодоношение, анализ урожайности в настоящей работе не приводится. Только многолетнее воздействие орошения на развитие молодых яблонь, в том числе и на формирование их корневой системы, позволит дать объективный анализ эффективности капельно-импульсного орошения и его влияния на урожайность, основные физиологические и фенологические показатели.

В ы в о д ы

1. Использование капельниц импульсного действия с локальным водораспределением является перспективным направлением в технике и технологии капельного орошения многолетних насаждений.

2. Комплект оборудования для капельно-импульсного орошения обеспечивает в течение вегетационного периода яблонь подачу необходимого количества оросительной воды в соответствии с потребностью и поддерживает необходимую влажность почвы в очаге увлажнения.

3. С применением капельниц импульсного действия появляется возможность использования оросительной воды обычного качества (с грубой очисткой воды от механических фракций).

4. Капельно-импульсное орошение обеспечивает предельно возможное рассредоточение поливного тока воды во времени с использованием труб минимальных диаметров.

Полученные положительные результаты исследований доказывают эффективность принципа непрерывного орошения плодовых садов в капельно-импульсном режиме в природно-хозяйственных условиях Молдавии.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕНЗИОМЕТРОВ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА ПОЧВ

Для регулирования влагообеспеченности растений необходима оперативная информация о наличии влаги и её использовании растительным покровом. На основании такого рода информации составляются краткосрочные прогнозы, которые могут использоваться в комплексах автоматического управления поливом. При наличии автоматизированной системы управления поливом и внедрении обоснованных норм полива можно избежать снижения урожая за счет дефицита влаги или угнетения растений при избыточном увлажнении, а также высвободить часть воды для орошения дополнительных площадей [1].

Наша задача заключалась в том, чтобы провести исследования по регулированию водного режима почвы в условиях вегетационного опыта с помощью тензиометров, работа которых основана на измерении "потенциала" (давления) почвенной влаги [2].

В теплице были поставлены опыты по контролю и регулированию водного режима почвы в вегетационных сосудах в определенном диапазоне с помощью тензиометров влажности. Были выбраны четыре вида семян растений (ячмень, овес, тимофеевка, овсяница), которые высевались в восемь вегетационных сосудов с дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвой. В 4-х вегетационных сосудах автоматически поддерживалось отрицательное давление почвенной влаги в пределах 0-20 кПа (I вариант), а в 4-х контрольных вегетационных сосудах циклически - 0-50 кПа (II вариант). 20 кПа соответствует 66% ППВ, 50 кПа - 45% ППВ. Влажность определялась средняя для слоя 0-40 см.

Таким образом, исследовалось влияние двух режимов увлажнения на рост и развитие различных культурных растений. При этом велась регистрация колебаний температуры и относительной влажности воздуха в теплице в течение дня. За вегетационный период средняя температура воздуха была $19,8^{\circ}\text{C}$ и суточная относительная влажность воздуха - 74,5%.

На рис. I представлена схема установки автоматического регулирования водного режима почвы. Установка состоит из напорной сети,

цепи контроля влажности и управления электронасосом. Напорная сеть включает в себя: водоисточник, вихревой насос, генератор импульсов и орган раздачи воды (в нашем случае использовался микроувлажнитель). В цепь управления входят: командный орган - тензиометрический датчик влажности, гидравлически связанный с электроконтактным вакуумметром, пульт управления с автоматикой, позволяющей включать и выключать электронасос. Работа установки носит циклический характер. Электровакуумметром задается интервал, при котором происходит включение и выключение электронасоса.

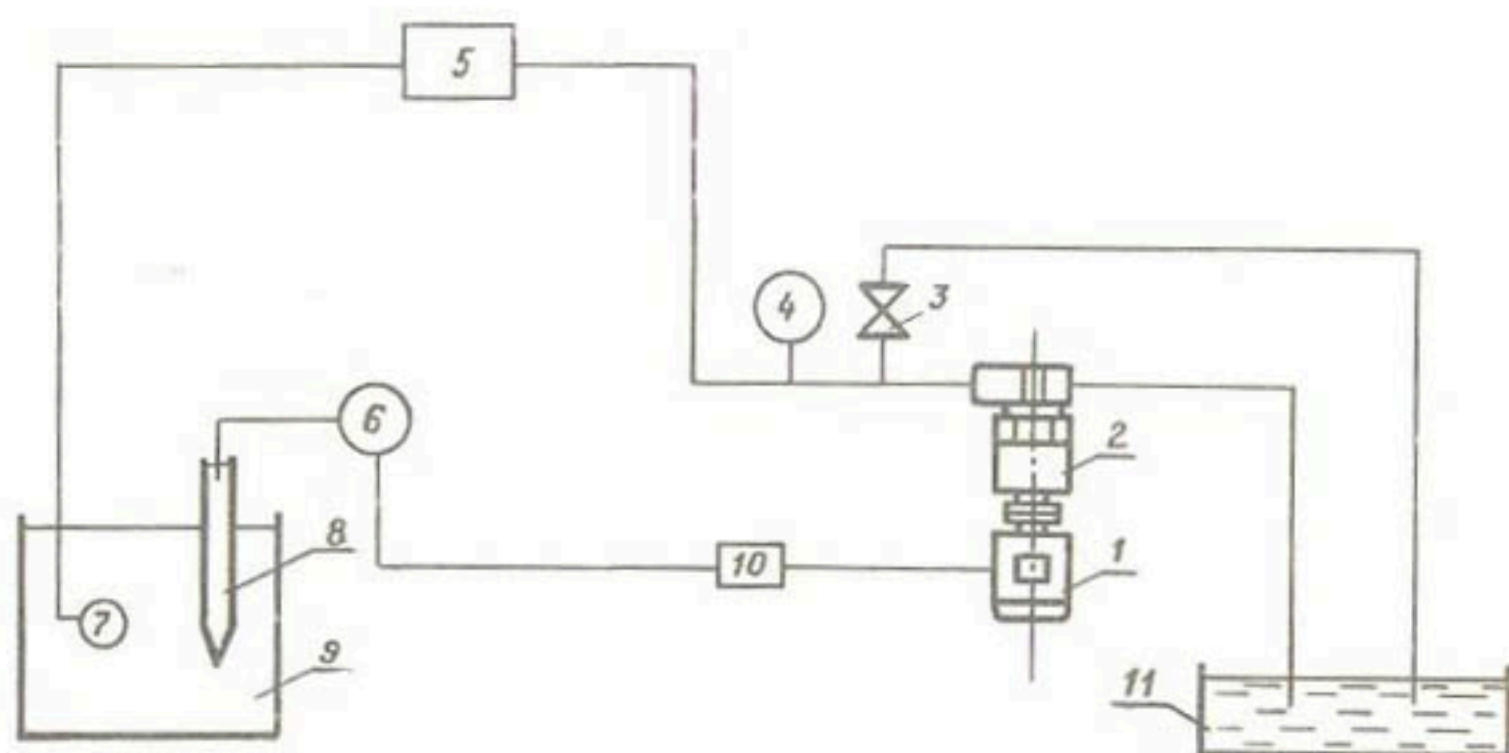


Рис. I. Схема автоматического регулирования водного режима почвы: I - электродвигатель; 2 - насос; 3 - вентиль; 4 - манометр; 5 - генератор импульсов; 6 - электровакуумметр; 7 - микроувлажнитель импульсный; 8 - датчик влажности почв; 9 - вегетационный сосуд; 10 - щит управления; 11 - водоисточник

Известно, что для получения максимального урожая влажность почв необходимо поддерживать в оптимальном диапазоне, который может меняться в течение вегетации растений. При отклонении его от нормы, резко падает продуктивность растений.

Описанная ниже установка может поддерживать оптимальный режим увлажнения для любого вида растения в период его роста и развития. В опытах полив проводился при давлении почвенной влаги, равном - 20 кПа, что соответствовало влажности почвы 66% от предельно-полевой влагоемкости (ППВ). Принципиальная схема тензиометра совместно с электровакуумметром приведена на рис. 2. Основной рабочий элемент тензиометра - это пористый керамический наконечник,

который помещается в почву. Гидравлическая система, заполненная дистиллированной водой, соединяет пористый элемент с электровакуумметром. После установки и заполнения датчика водой не насыщен-ная влагой почва отсасывает воду через пористый элемент до тех пор, пока отрицательное давление в трубке не уравнивает сосущую силу поч-вы. Отсчет давления в гидравлической системе тензиометра произво-дится по вакуумметру или непосредственно по предварительно прота-рированной шкале, нанесенной на внутренней трубке тензиометра. Эта трубочка диаметром 2-3 мм запаивается с одной стороны, а за-тем не полностью заполняется водой (оставляется воздушный пузырек).

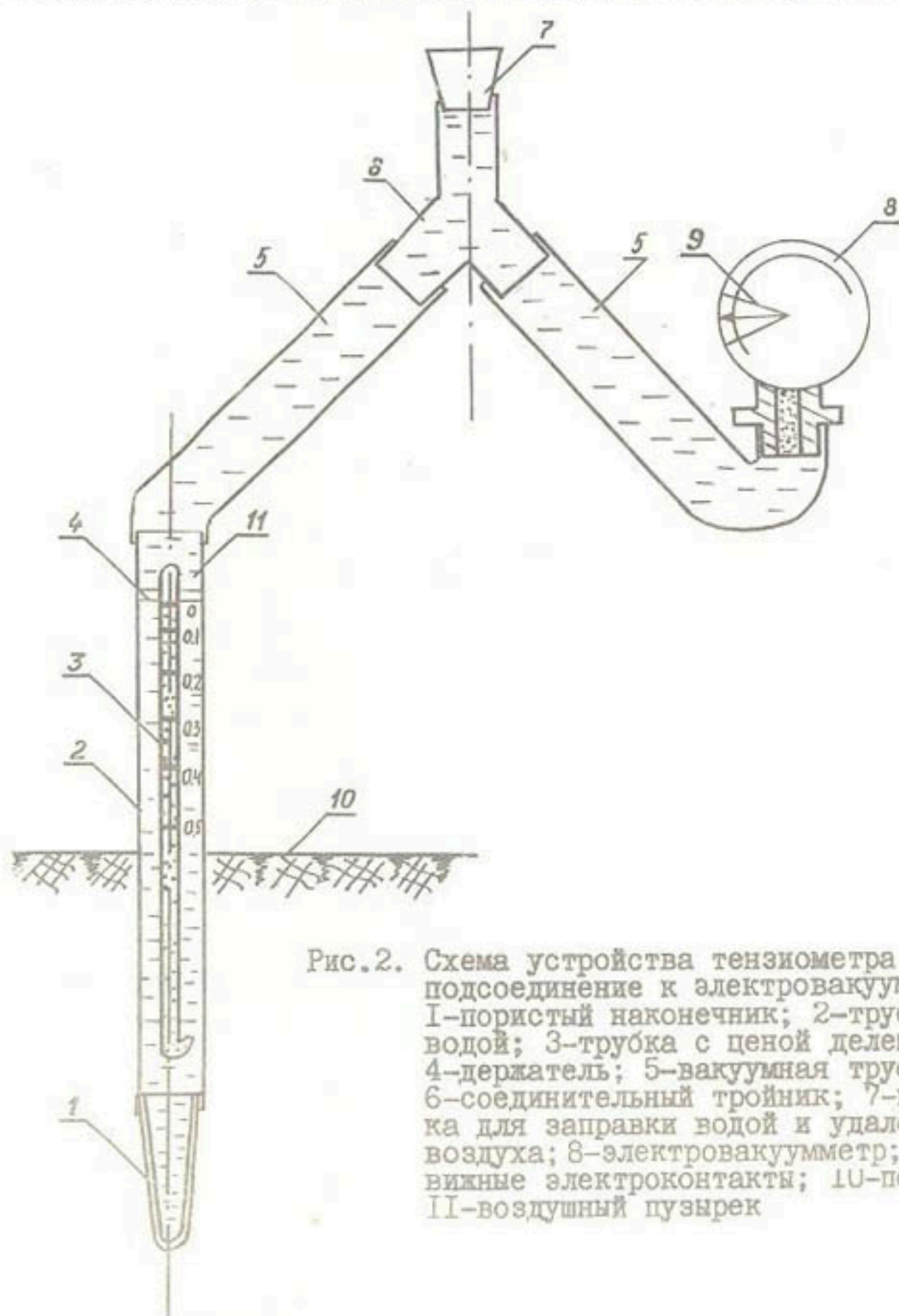


Рис. 2. Схема устройства тензиометра и его подсоединение к электровакуумметру: 1-пористый наконечник; 2-трубка с водой; 3-трубка с ценой делений; 4-держатель; 5-вакуумная трубка; 6-соединительный тройник; 7-пробка для заправки водой и удаления воздуха; 8-электровакуумметр; 9-подвижные электроконтакты; 10-почва; 11-воздушный пузырек

При разряжении тензиометра мениск начинает перемещаться по внутренней трубочке и остановится, когда сосущая сила почвы и вакуум в приборе будут равны. При длительном измерении, когда сосущая сила почвы достигает 70 кПа и более, происходит подсос воздуха через пористый наконечник.

Электрическая схема установки с одним датчиком представлена на рис.3. Схема включает в себя электродвигатель с насосом D , реле тепловой защиты $РТ$, магнитный пускатель $МП$, цепи ручного и автоматического управления $РУ$ и $АУ$, кнопки "пуск" и "стоп", понижающий трансформатор $ТР$, электроконтактный вакуумметр ЭКВ и два реле P_1 и P_2 . При достижении в почве верхнего предела влажности замыкаются контакты электровакуумметра "max", срабатывает реле P_1 и самоблокируется, одновременно отключая цепь питания пусковой аппаратуры электронасоса. При замыкании контактов "min", что соответствует нижнему пределу влажности, срабатывает реле P_2 и самоблокируется, размыкается цепь питания реле P_1 , подается питание на пусковую аппаратуру электронасоса, происходит полив.

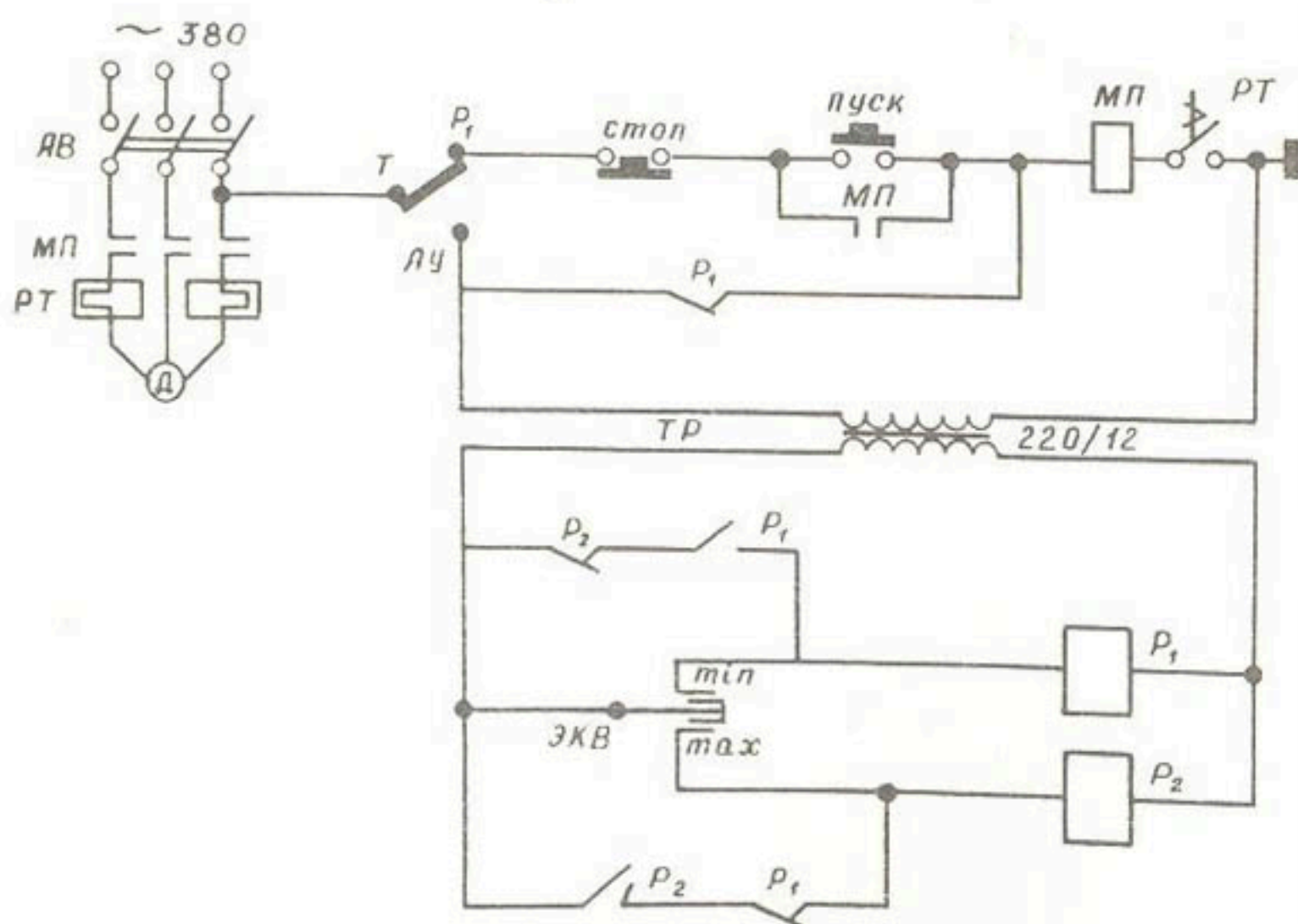


Рис.3. Принципиальная электрическая схема установки

Силовая часть установки питается переменным током напряжением в 220 В, а выносные командные органы и промежуточные реле — переменным током напряжением 12 В. Установка компактна и надежна в работе.

На основании работы одного тензиометра в автоматической системе полива предлагается и ниже описывается принципиальная электрическая схема с групповой работой датчиков. При групповой работе тензиометрических датчиков важно правильно выбрать критерии оценки средней влажности почвы на участке. В зависимости от величины участка количество датчиков, установленных на нем, может быть самым различным. При срабатывании определенного количества датчиков, обеспечивающих достоверные данные о средней влажности на рабочем участке (при условии, что все датчики имеют одинаковую установку срабатывания по влажности). Тогда, установив все датчики на желаемый верхний предел влажности, получаем следящую систему по регулированию влажности орошаемого участка (рис.4). Технически она может быть реализована на полупроводниковых элементах: ступенчатой схеме суммирования напряжений или токов и логической — на промежуточных реле.

Рассмотрим работу следящей системы при срабатывании 3-х тензиометрических датчиков из 5-ти. Пять датчиков ТД1+ТД5 установлены на орошаемом участке и управляют пятью промежуточными реле Р1+Р5. При срабатывании любых трех датчиков срабатывают три промежуточных реле; логическая комбинация контактов этих реле управляет промежуточным реле Р6. Нормально замкнутые контакты этого реле отключают цепь питания напоробразующего узла. При снижении на участке влажности почвы ниже предельной, когда хотя бы один датчик из трех разомкнул свой контакт, обесточивается соответствующее реле, в определенной логической цепочке размыкается контакт, цепь питания напоробразующего узла восстанавливается.

Вегетационный опыт с автоматическим регулированием водного режима почвы продолжался в течение трех месяцев, с 28 июля по 27 октября, считая с момента всходов растений до уборки урожая. Влияние различных режимов полива на культурные растения оценивалось по зеленой массе. Результаты опыта показаны в табл. I.

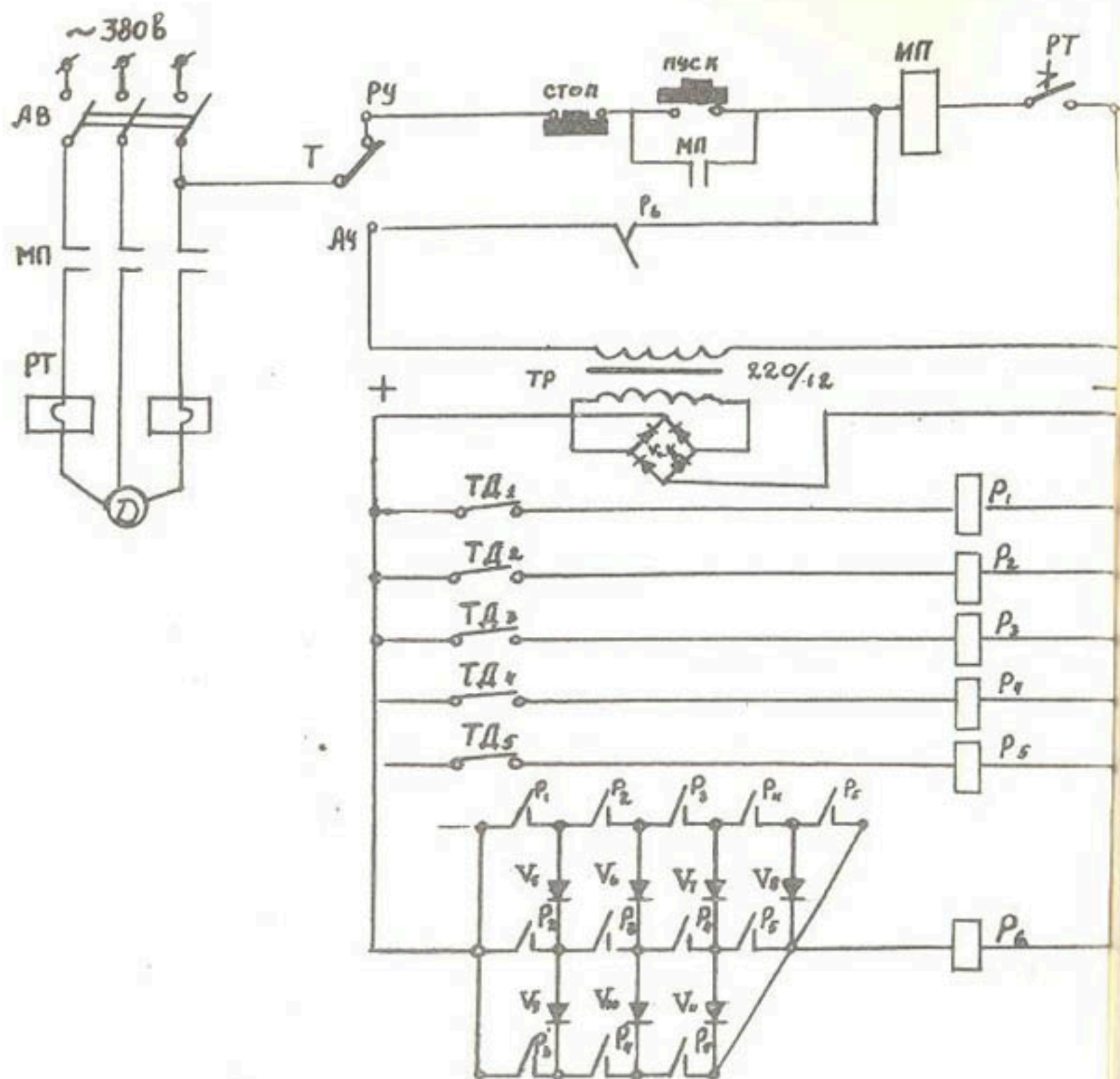


Рис.4. Принципиальная электрическая схема установки с пятью тензиометрическими датчиками

Таблица I

Урожайность сельскохозяйственных культур
(зеленая масса, г)

Культура	Потенциал почвенной влаги		Прирост, %
	50 кПа	20 кПа	
Ячмень	72	130	81
Овес	56	269	378
Тимофеевка	29,3	91,4	311
Овсяница	31,4	167	531

Таким образом, в процессе исследования была выявлена возможность использования тензиометрических датчиков влажности почвы как командного органа для регулирования водного режима почвы в заданных пределах.

Результаты учета урожая показали, что автоматическое поддержание оптимального водного режима почвы в вегетационных сосудах обеспечило прибавку урожая различных сельскохозяйственных культур на 81-531% по сравнению с урожаем тех же сельскохозяйственных культур, где производилась циклическая подача воды, которая обычно проводится в производственных условиях.

Л и т е р а т у р а

1. М у ш к и н И.Г. Влагообеспеченность сельскохозяйственных полей. Л., Гидрометеиздат, 1971.

2. С у д н и ц ы н И.И., М у р о м ц е в Н.В., Г и н з - б у р г М.Е., Ш е и н Е.В. Использование измерителей потенциала почвенной влаги для контроля за поливом сельскохозяйственных культур. - В сб.: Прогрессивные способы орошения. IX Международный конгресс по ирригации и дренажу, (вопрос 32). М., ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975.

НАХОЖДЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИ НАИВЫГОДНЕЙШИХ ДИАМЕТРОВ ВОДОВОДОВ

Для нахождения экономически наивыгоднейших диаметров разделим водоводы на две группы: быстроразборные трубопроводы и тонкостенные трубопроводы дождевальных машин, стационарные оросительные напорные трубопроводы.

Нахождение экономически наивыгоднейших диаметров разборного трубопровода

Рассмотрим случай подачи воды от насосной станции к дождевальной машине по разборному трубопроводу. При этом трубопровод в нескольких точках по пути отдает воду в виде сосредоточенных расходов. Величины расходов известны.

Изменение стоимости тонкостенных стальных труб выражается линейной зависимостью

$$C = K D + \delta ,$$

где D — диаметр труб;

K, δ — коэффициенты, зависящие от материала труб и толщины стенки.

Полная стоимость разборного трубопровода может быть выражена

$$C_{тр} = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta (K D_i + \delta) l_i ,$$

где n — число участков;

$D_i; l_i$ — диаметры и длины отдельных участков трубопроводов;

Δ — коэффициент, учитывающий стоимость арматуры труб.

Стоимость насосной станции можно выразить формулой вида

$$C_H = f \cdot N ,$$

где f — стоимость насосной станции, приходящаяся на 735 Вт мощности, руб;

N — расчетная мощность, Вт.

Полная строительная стоимость трубопровода и насосной станции будет

$$C = C_{тр} + C_H = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta (K D_i + \delta) l_i + f N .$$

Ежесезонные затраты на энергию, зависящие от диаметра трубопровода, составляют

$$C_3 = T \phi N ,$$

где T — сезонная нагрузка, ч;
 ϕ — стоимость 735 Вт·ч, руб.

Ежегодные приведенные затраты составят

$$W = (E + P) \Delta (K D_i + \phi) t_i + (E + P') f \cdot N + T \phi N ,$$

где E — коэффициент эффективности капиталовложений;
 P и P' — ремонтные отчисления по трубопроводу и насосной станции.

Приняв Q в л/с, массу 1 л воды равным 1 кг и H в м, получим

$$N = \frac{Q H}{75 \eta} ,$$

где η — кпд насосной установки.

Величина H складывается из геометрической высоты подъема и потерь напора в трубопроводе $\sum_{i=1}^{i=n} h_i$ (где h_i — потери напора на участках трубопровода).

Подставляя значения N в выражение для W , получим

$$W = [(E + P) \Delta (K D_i + \phi) t_i + \frac{(E + P') f + T \phi}{75 \eta} (H_0 + \sum_{i=1}^{i=n} h_i) Q] .$$

В полученной формуле величина W выражается в функции диаметров D_i и потерь напора h_i . Однако при заданных расходах и длинах эти величины связаны определенным соотношением и могут быть выражены одна через другую.

Гидравлический расчет водоводов широкозахватных дождевальных машин фронтального и кругового действия рассмотрен нами в работе [1].

В общем виде можно записать

$$h_w = \rho \frac{Q_i^{\beta}}{D_i^m} l .$$

Заменим во второй части полученного выражения для W величины h_i через D_i и обозначим для упрощения величину

$$\frac{(E + P') f + T \phi}{75 \eta}$$

через R ,

тогда

$$W = (E + P) \Delta (K D_i + \phi) t_i + R \rho (H_0 + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{Q_i^{\beta} \cdot t_i}{D_i^m}) \cdot Q .$$

Задача технико-экономического расчета состоит в том, чтобы найти значения D_i отдельных участков, при которых величина W будет наименьшей.

Для отыскания значений D_i , соответствующих минимальному значению W , составим уравнение вида $\frac{\partial W}{\partial D_i} = 0$ и определим D_i . Очевидно, что число этих уравнений равно числу участков

$$\frac{\partial W}{\partial D_i} = (E + P) \Delta K t_i - m \frac{R \cdot Q \cdot \rho \cdot Q_i^\beta \cdot t_i}{D_i^{m+1}} = 0.$$

Так как вторая производная этого выражения по D_i всегда будет положительная, полученные отсюда значения D_i будут соответствовать минимальному значению величины W .

Обозначив $\frac{m R \rho}{(E + P) \Delta K}$ через $\mathcal{E}$, получаем

$$D_i^{m+1} = \mathcal{E} Q Q_i^\beta \quad \text{или} \quad D_i = \mathcal{E}^{\frac{1}{m+1}} Q^{\frac{1}{m+1}} Q_i^{\frac{\beta}{m+1}}.$$

Для трубопровода с одним сосредоточенным расходом в конечной точке, т.е. при $Q = Q_i$, расчетная формула для определения экономически наиболее выгодного диаметра примет вид

$$D_i = \mathcal{E}^{\frac{1}{m+1}} Q^{\frac{1+\beta}{m+1}}.$$

Подставляя значения $\beta = 2$ и $m = 5,3$ в формулу для D_i , получим

$$D_i = \mathcal{E}^{0,16} Q^{0,16} Q_i^{0,32},$$

а при транзитном расходе, сосредоточенном в конце, получим

$$D = \mathcal{E}^{0,16} Q^{0,48}.$$

Величина экономического фактора $\mathcal{E}$ зависит главным образом от стоимости энергии ϵ , а также стоимости труб (характеризуемой коэффициентом K).

Величина $\mathcal{E}$, а следовательно, и величина экономически наиболее выгодного диаметра при данном расходе будет расти с увеличением ϵ и уменьшаться с увеличением K .

Значения $\mathcal{E}$ вычислены для пропуска транзитом всего расхода ($\rho = 0,00174$), для равномерной раздачи расхода ($\rho = 0,00058$) и для равномерного распределения по орошаемой площади вращающимися машинами ($\rho = 0,00093$) в зависимости от годовой загрузки и показаны на рис. I.

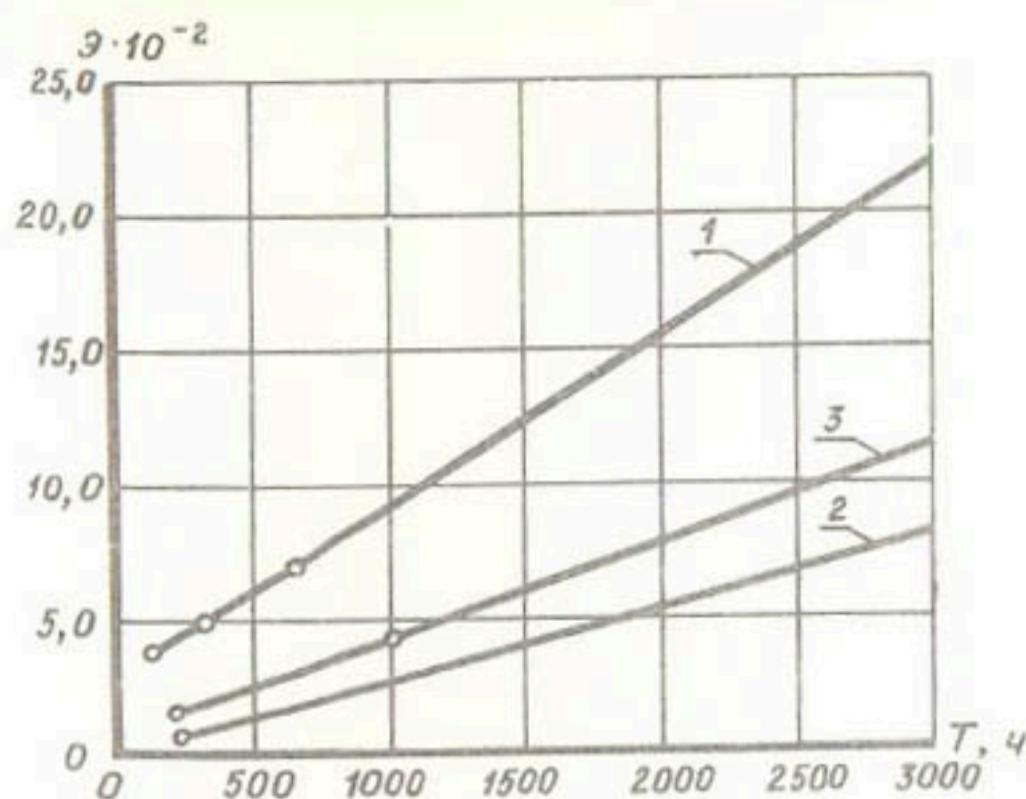


Рис. I. Графики определения экономического фактора Э в зависимости от годовой загрузки: 1-транзитный расход; 2-равномерная раздача расхода по пути; 3-неравномерная раздача расхода по пути

Для тонкостенных стальных труб по ГОСТу 10704-63 стоимость I м трубопровода в зависимости от диаметра выражена графиком на рис. 2 и может быть определена по формуле

$$C = 20 D - 1,1 \quad ,$$

где D - диаметр трубопровода, м.

Расчет коэффициента Δ приведен в табл. I.

Таблица I

Расчет коэффициента Δ для стальных и алюминиевых тонкостенных разборных труб

Марка труб	Условный проход, м	Длина труб, м	Стоимость труб по прейскуранту, руб	Стоимость I м труб C факт., руб	Стоимость I м труб по формуле C расч., руб	$\Delta = \frac{\text{факт.}}{\text{расч.}}$
РТУ-180	0,18	6,0	14,0	2,8	2,5	1,12
РТУ-250	0,25	5,0	30,0	6,0	3,9	1,54
РТУ-350	0,35	4,0	35,0	8,8	5,9	1,5
РТУ-105A	0,105	6,0	12,0	2,0	0,9	2,2
РТУ-125	0,125	6,0	14,0	2,3	1,4	1,64
РТУ-150A	0,15	6,0	18,0	3,0	1,9	1,58
						$\Delta_{\text{ср.}} = 1,50$

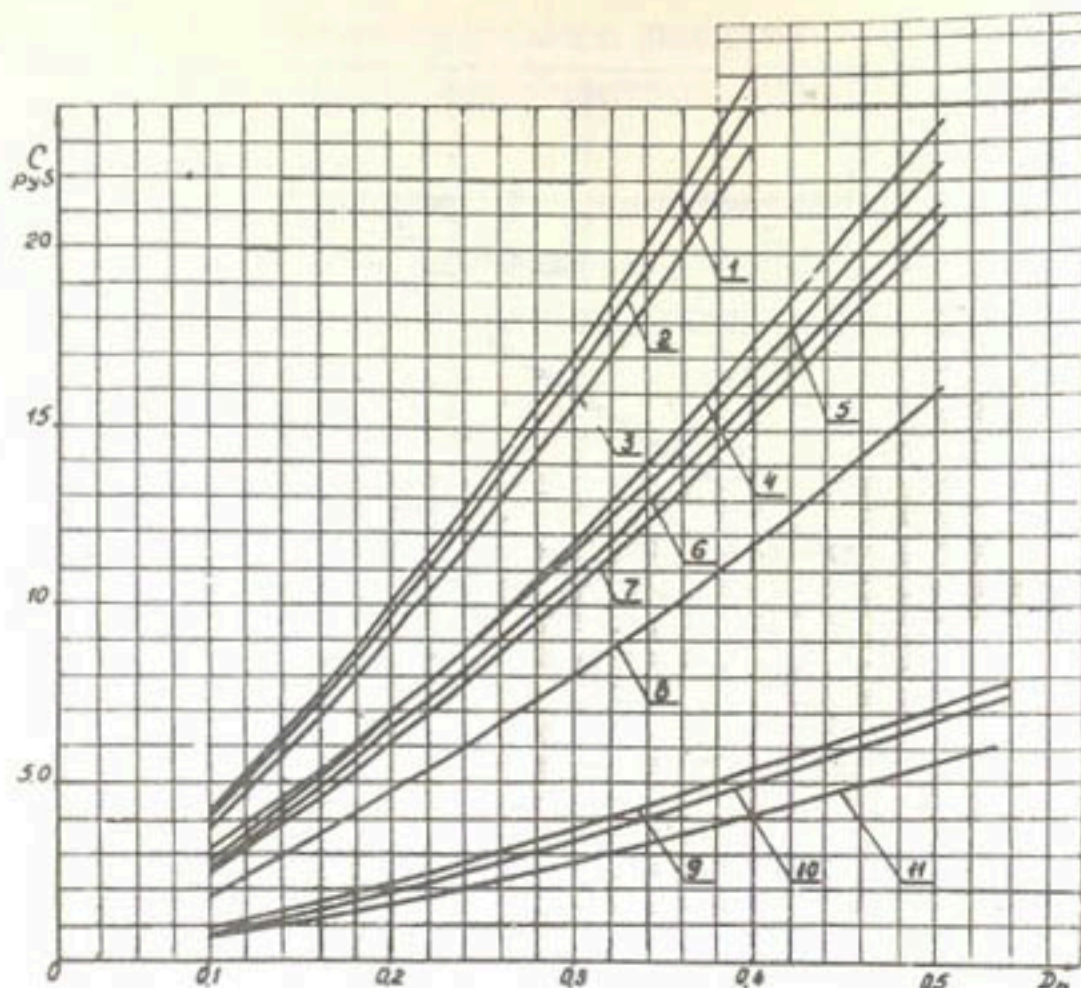


Рис. 2. График для определения стоимости I м закрытой оросительной сети: 1-Чуг-I; 2-Чуг-II; 3-Чуг-III; 4-СТ-III; 5-ВТ-I2-I; 6-СТ-II; 7-СТ-I; 8-ВТ-9-I; 9-ВТ-6-II; 10-ВТ-6-I; 11-ВТ-3-I. Римские цифры указывают группу строек

Стоимость энергии 735 Вт·ч можно рассчитать по формуле

$$C = N g \zeta_{гсм},$$

где N — мощность, Вт;

g — удельный расход энергии на 735 Вт·ч = 0,2;

$\zeta_{гсм}$ — стоимость I кг ГСМ = 0,081 руб.

$$C = I \cdot 0,2 \cdot 0,081 = 0,0162 \text{ руб.}$$

Стоимость насосной станции, отнесенной к мощности 735 Вт, показана на рис. 3 и принята равной 34,3 руб.

Подставляя значения $\mathcal{E}$ и Q , можно рассчитать экономически наивыгоднейший диаметр.

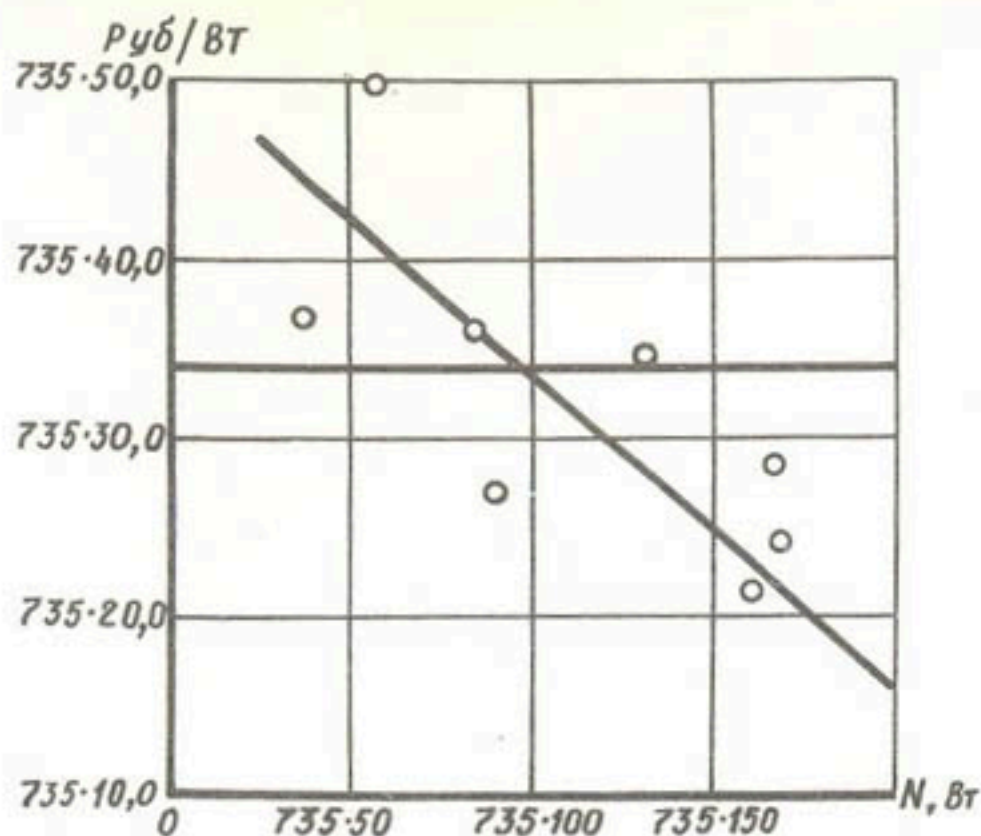


Рис.3. График для определения стоимости насосных станций в зависимости от мощности

Нахождение экономически наиболее выгодных диаметров напорных трубопроводов стационарных оросительных систем

Строительную стоимость одного метра водовода можно выразить различными эмпирическими формулами в зависимости от диаметра, материала труб и условий их прокладки (глубины заложения, характера грунтов, зоны орошения и т.д.).

В технико-экономических расчетах наиболее удобно пользоваться степенной двучленной формулой вида

$$C_s = a + b D^\alpha,$$

дающей значения стоимости, достаточно близкие к сметным данным. Здесь a и b – коэффициенты, зависящие от материала труб и указанных местных условий. Значения коэффициентов a , b , α для труб из различных материалов и групп строек по данным ВНИИГиМа приведены в табл.2. График для определения стоимости одного метра закрытой оросительной сети показан на рис.2.

Таблица 2

Материал труб	Коэффициенты по группам строек											
	I			II			III			IV		
	α	β	α	α	β	α	α	β	α	α	β	α
Асбоцемент	BT-3	0,12	41,0	1,82	0,12	44,4	1,76	0,012	47,9	1,82	0,014	61,6
	BT-6	0,01	51,0	1,82	0,01	54,2	1,80	0,014	59,3	1,83	0,014	73,6
	BT-9	0,05	65,4	1,55	0,30	53,6	1,29	0,050	74,6	1,58	0,090	86,5
	BT-12	0,7	66,0	1,43	0,35	69,1	1,44	0,120	70,5	1,41	0,10	104,0
Чугун		0,16	102,0	1,45	0,16	104,0	1,44	0,20	122,0	1,49	-	-
Сталь		0,14	52,1	1,34	0,14	52,6	1,33	0,16	63,8	1,38	-	-
Железобетон (до 0,9 МПа)		5,0	53,5	1,87	-	-	-	-	-	-	-	-

Проведя аналогичные действия, как было проведено для тонкостенных труб, получим

$$(E + P) \beta \cdot \alpha \cdot D_i^{\alpha-1} - \frac{m R \rho Q \cdot Q_i^{\beta} \cdot l_i}{D_i^{m+1}} = 0.$$

Определяя отсюда D_i и обозначая $\frac{m R \rho}{\alpha \beta (E + P)}$ через $\mathcal{Z}$, получаем

$$D_i = \mathcal{Z}^{\frac{1}{\alpha+m}} Q^{\frac{1}{\alpha+m}} Q_i^{\frac{1}{\alpha+m}}.$$

Из формулы видно, что величина экономически наивыгоднейшего диаметра зависит от экономического фактора $\mathcal{Z}$, полного расхода Q , подаваемого в водовод, и расчетного расхода Q_i данного участка.

Для водовода с одним сосредоточенным расходом в конечной точке, т.е. при $Q_i = Q$, расчетная формула принимает вид

$$D_i = \mathcal{Z}^{\frac{1}{\alpha+m}} \cdot Q^{\frac{1+\beta}{\alpha+m}}.$$

При использовании квадратичных формул потерь напора ($\beta = 2$) $m = 5,3$

$$D_i = \mathcal{Z}^{\frac{1}{5,3+\alpha}} Q^{\frac{3}{5,3+\alpha}}.$$

Этими формулами рекомендуется пользоваться при расчетах.

Л и т е р а т у р а

І. Гидравлический расчет водовода широкозахватных дождеваль-
ных машин. - В сб.: "Новое в технике и технологии полива", вып. 9,
1976.

К.т.н. Фомин Г.Е.,
инж. Першин А.Н.,
инж. Алдошкин А.А.
(ВНИИМИП)

ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ АРМАТУРЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ТРУБОПРОВОДОВ ОТ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА

В настоящее время защита трубопроводов закрытых оросительных сетей от гидравлического удара является одной из актуальнейших проблем. Гидравлический удар служит основной причиной частых порывов трубопроводов, а это ведет к значительному снижению эффективности применения дождевальных машин для полива сельскохозяйственных угодий. Кроме этого технические и технологические остановки дождевальных машин вызывают в трубопроводах нестабильные процессы, оказывающие отрицательное влияние на работу остальных дождевальных машин при их групповой работе.

В статье приводятся исследования арматуры для защиты трубопроводов от гидравлического удара и стабилизации напорного режима трубопроводов, разработанные во ВНИИМИП, (гидравлического защитного клапана КЗГ-120 и предохранительно-сбросного устройства ПСУ-100).

Хозяйственные испытания этих новых защитных средств были проведены летом 1976 г. в к-зе им. Ленина Энгельского района Саратовской области (Энгельская оросительная система им. Ю.А. Гагарина) на 2-м севооборотном участке.

2-й севооборотный участок имеет площадь 415 га и обслуживается 4-мя дождевальными машинами "Фрегат". Участок привязан к насосной станции № 4, полный напор которой составляет 143 м. Для проведения испытаний на этом участке было установлено 4 гидравлических защитных клапана КЗГ-120-1 и 2 предохранительно-сбросных устройства ПСУ-100. Клапаны и устройства были предназначены для защиты чугунных магистральных и распределительных трубопроводов $D_y = 300$, общая протяженность которых составляет 3346 м. Испытываемые натурные образцы КЗГ-120-1 и ПСУ-100 устанавливались на сети безколондежным способом на отводах (металлических стояках) в местах разветвления оросительных трубопроводов и у неподвижных опор дождевальных машин "Фрегат". План 2-го севооборотного участка и схема

расстановки предохранительной арматуры показаны на рис.1.

Испытания включали: техническую экспертизу, определение эффективности гашения динамического и статического повышения давлений, агротехническую оценку, оценку надежности.

Техническая экспертиза установила:

1. Гидравлический защитный клапан КЗГ-120-1 предназначен для установки на трубопроводах оросительных систем с целью защиты их от гидравлического удара.

Клапан, техническая характеристика которого приводится ниже, состоит (рис.2) из корпуса (1), вентуза (2), запорного органа (3), эластичной оболочки (4), резинового мяча (5), регулировочных шпилек (6), отражательной тарелки (7), разделительной мембраны (8), соединительной трубки (9) и клапана-регулятора (10).

Техническая характеристика гидравлического
защитного клапана КЗГ-120-1

Тип	стационарный
Типоразмер	II
Рабочее давление в трубопроводе, на котором устанавливается клапан, МПа	0,1-1,2
Пределы регулирования давления при работе в режиме предохранительного клапана, МПа	0,6-1,2
Настройка клапана на необходимое давление	автоматическая
Расход воды в трубопроводе, л/с	60-120
Диаметр отверстия седла клапана, мм	105
Масса клапана, кг	31
Габаритные размеры, мм	600x560x520

2. Предохранительно-сбросное устройство ПСУ-100 предназначено для защиты трубопроводов закрытой оросительной сети от повышений давлений сверх расчетных, вызванных техническими или технологическими остановками отдельных дождевальных машин при их групповой работе.

Предохранительно-сбросное устройство должно устанавливаться на напорном трубопроводе насосной станции, в начале сбросных трубопроводов и в узлах ответвлений на магистральных, распределительных и поливных трубопроводах с диаметром условного прохода

$D_y = 150-400$ мм при условном давлении до 1,2 МПа.

ПСУ-100 (рис.3) состоит из: присоединительного патрубка, запорного органа мембранного типа, дождевального аппарата и датчика давления.

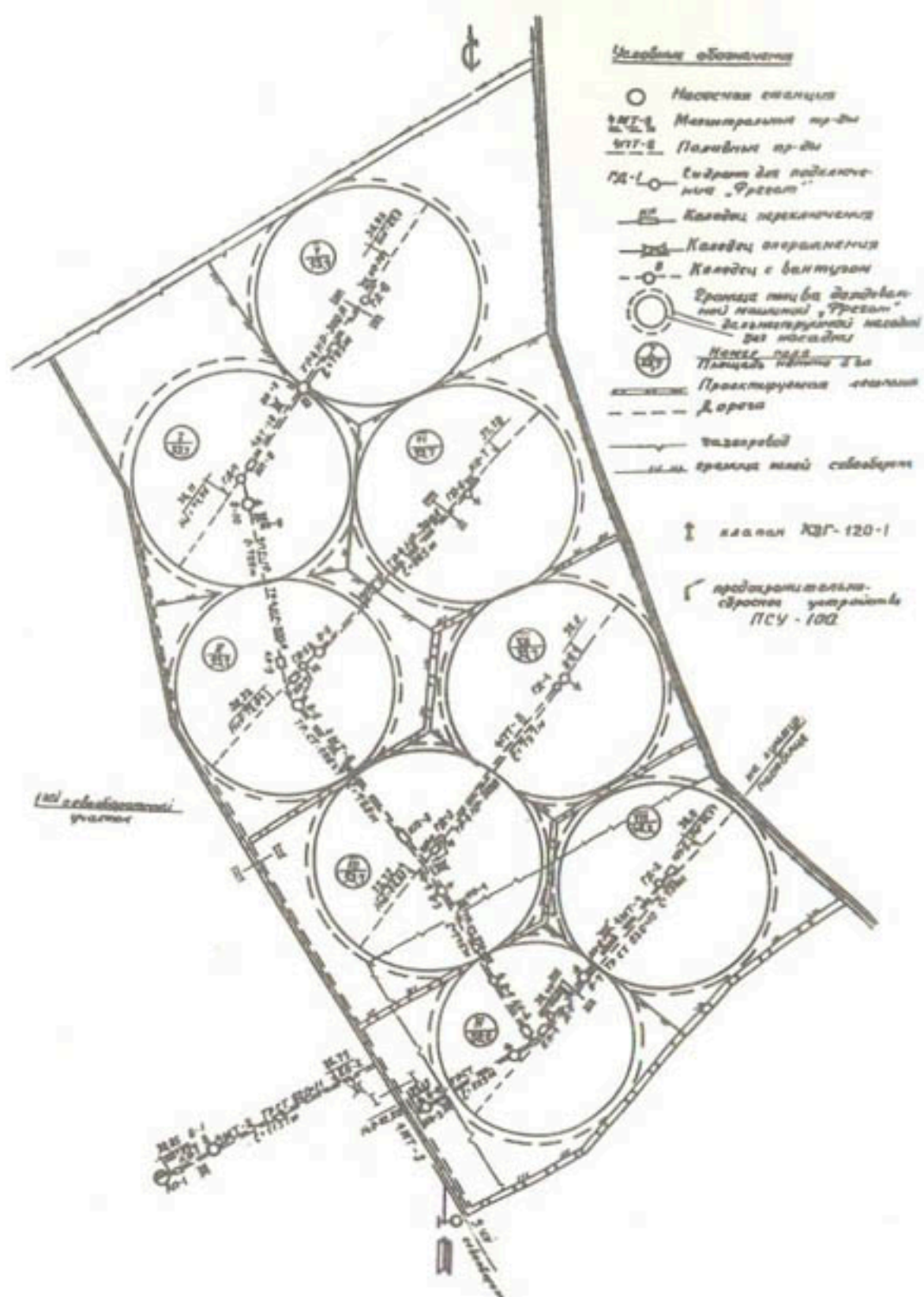


Рис. I. Схема расстановки предохранительной арматуры

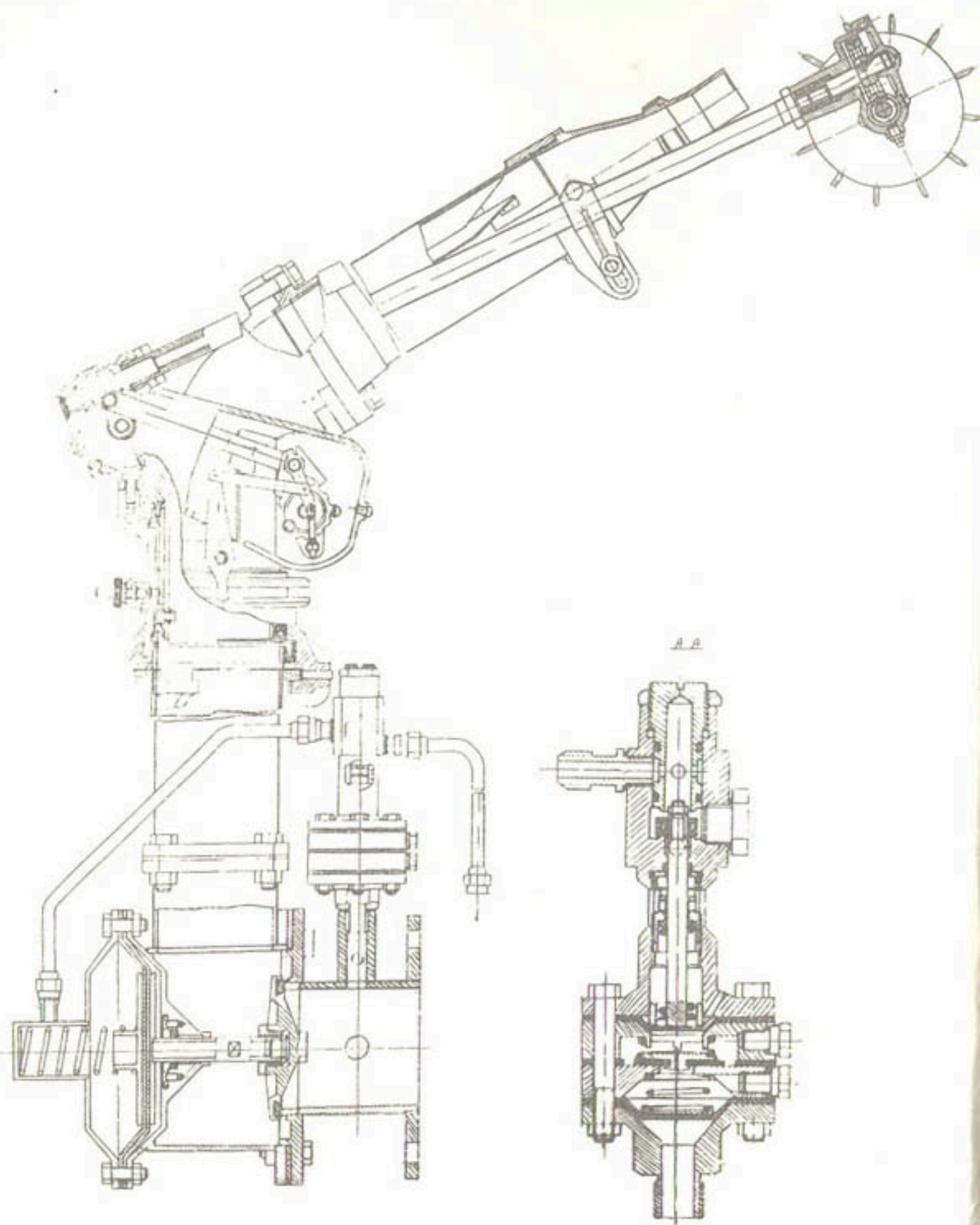


Рис. 3. Предохранительно-сбросное устройство ПСУ-100

Присоединительный патрубок (1) выполнен в виде стояка с фланцем.

Запорный орган мембранного типа состоит из корпуса (4) в сборе, мембраны (22), штока (3), тарелки (18), рабочей камеры (21), седла (15), подводящего (6) и дренажного (5) отверстий.

Техническая характеристика предохранительно-сбросного устройства ПСУ-100

Тип	стационарный
Настройка регулирующего клапана	ручная
Пределы регулирования, МПа	0,6-0,9
Объём сброса в единицу времени, л/с	35
Масса, кг	37
Габаритные размеры, мм	55x300x300

В ходе испытаний была определена эффективность гашения динамического и статического повышения давлений предохранительными устройствами.

Запись всех динамических процессов при отключении дождевальных машин производилась с помощью осциллографа Н-700 с использованием потенциометрических датчиков от комплекта ЭДМУ - на гидранте ГД-5. Эти датчики устанавливались до задвижки и после нее.

Результаты проведенных испытаний гидравлического защитного клапана КЗГ-120-1 приведены в табл.1.

На рис.4 и 5 приведены характерные осциллограммы переходных процессов в трубопроводе при отключении машины "Фрегат".

Испытания предохранительно-сбросного устройства ПСУ-100 проводились с целью оценки возможности использования устройства для защиты трубопроводов оросительной сети от статического повышения давления, вызванного техническими или технологическими остановками отдельных дождевальных машин при их групповой работе.

Результаты испытаний ПСУ-100 приведены в табл.2.

На рис.6 показана осциллограмма переходных процессов в трубопроводе при отключении машины "Фрегат" с включенным на сети ПСУ-100.

Полученные результаты показывают высокую эффективность гашения динамических и статических повышений давлений в трубопроводах предохранительными устройствами, что практически исключает возможность порывов трубопроводов из-за гидравлического удара и опасных перегрузочных давлений.

Таблица I

Показатели переходных процессов в трубопроводе при отключении дождевальной машины

Отключены предохранительные устройства									
Включен КЗГ-І20-І									
№ опыта	Время закрытия гидрозатворки, с	Начальное давление у шенге "Фрегат", МПа	Динамическое повышение давления у шенге, МПа	Установившееся давление, МПа	№ опыта	Время закрытия гидрозатворки, с	Начальное давление у шенге "Фрегат", МПа	Динамическое повышение давления у шенге, МПа	Установившееся давление, МПа
3 (30,8)	44	0,74	1,32	колеб.	8 (30,8)	40	0,67	1,08	0,87
6 (30,8)	52	0,65	1,23	"	9 (30,8)	40	0,69	1,08	0,87
7 (30,8)	35	0,69	1,36	"	10 (30,8)	35	0,69	1,02	0,87
15 (30,8)	40	0,75	1,39	"	13 (30,8)	53	0,76	0,98	0,87
17 (30,8)	45	0,72	1,37	"	18 (30,8)	45	0,70	1,01	0,88

Примечание. При испытаниях клапан КЗГ-І20-І был настроен на срабатывание при 0,9 МПа.

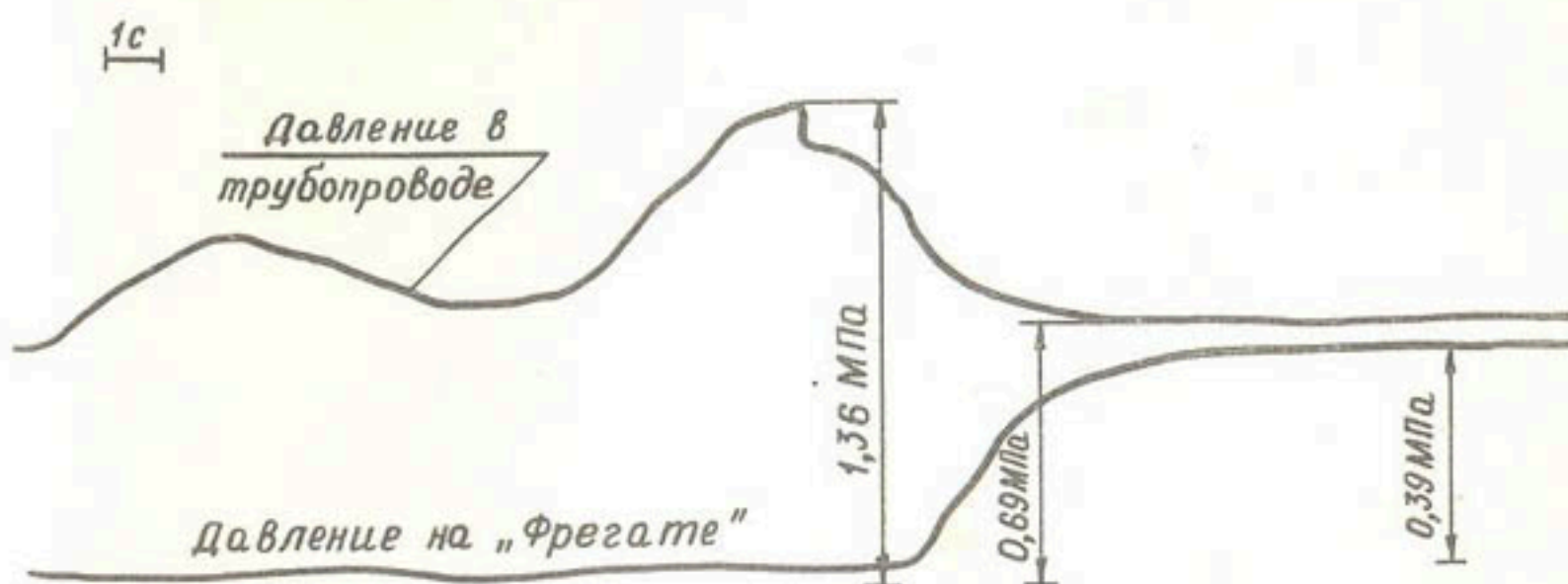


Рис. 4. Осциллограмма переходных процессов в трубопроводе при отключении дождевальной машины "Фрегат" с выключенными предохранительными устройствами на сети



Рис. 5. Осциллограмма переходных процессов в трубопроводе при отключении дождевальной машины "Фрегат" с включенным на сети КЗГ-120

Показатели переходных процессов в трубопроводе при отключении дождевальной машины

Включено ПСУ-100									
Отключены предохранительные устройства									
№ опыта	Время закрытия гидрозаводжки, с	Начальное давление у "фре-гата", МПа	Динамическое повышение давления, МПа	Установившееся давление, МПа	№ опыта	Время закрытия гидрозаводжки, с	Начальное давление у "фре-гата", МПа	Динамическое повышение давления, МПа	Установившееся давление, МПа
3 (30,8)	44	0,74	1,32	колеб.	4 (30,8)	37	0,705	1,07	0,91
6 (30,8)	52	0,65	1,23	"	5 (30,8)	50	0,70	0,96	0,76
7 (30,8)	35	0,69	1,36	"	12 (30,8)	48	0,69	0,95	0,87
15 (30,8)	40	0,75	1,39	"	19 (30,8)	45	0,69	0,98	0,87
17 (30,8)	45	0,72	1,37	"	20 (30,8)	40	0,72	1,08	0,89

Примечание. При испытании ПСУ-100 было настроено на срабатывание при 0,9 МПа.



Рис. 6. Осциллограмма переходных процессов в трубопроводе при отключении дождевальной машины "Фрегат" с включенным на сети ПСУ-100

Технические параметры гидравлического защитного клапана КЗГ-120-1 и предохранительно-сбросного устройства полностью удовлетворяют агротехническим требованиям.

Агротехническая оценка КЗГ-120-1 и ПСУ-100 заключалась в определении интенсивности и площади захвата дождя при срабатывании клапана.

На рис. 7 изображена карта распределения дождя при гашении удара гидравлическим защитным клапаном. Видно, что максимальная интенсивность дождя составляет 4 мм/мин; средняя интенсивность дождя — 2 мм/мин; площадь захвата — 740 м²; время, в течение которого клапан может сбрасывать воду без образования стока — 10 мин.

При испытании ПСУ-100 было установлено, что количество сбрасываемой воды соответствует расходу дождевального аппарата. Средняя интенсивность дождя составляет 0,12–0,26 мм/мин, что обеспечивает работу устройства в течение часа без образования стока.

Для определения надежности предохранительных устройств была проведена наработка на отказ в количестве 50 циклов отключений машин. При этом износов обнаружено не было.

Проведенные заводские испытания, при которых наработка составляла 500 циклов, в общей сложности соответствуют 2-летней работе устройств на оросительной системе. Отказов в работе при этом также не наблюдалось.

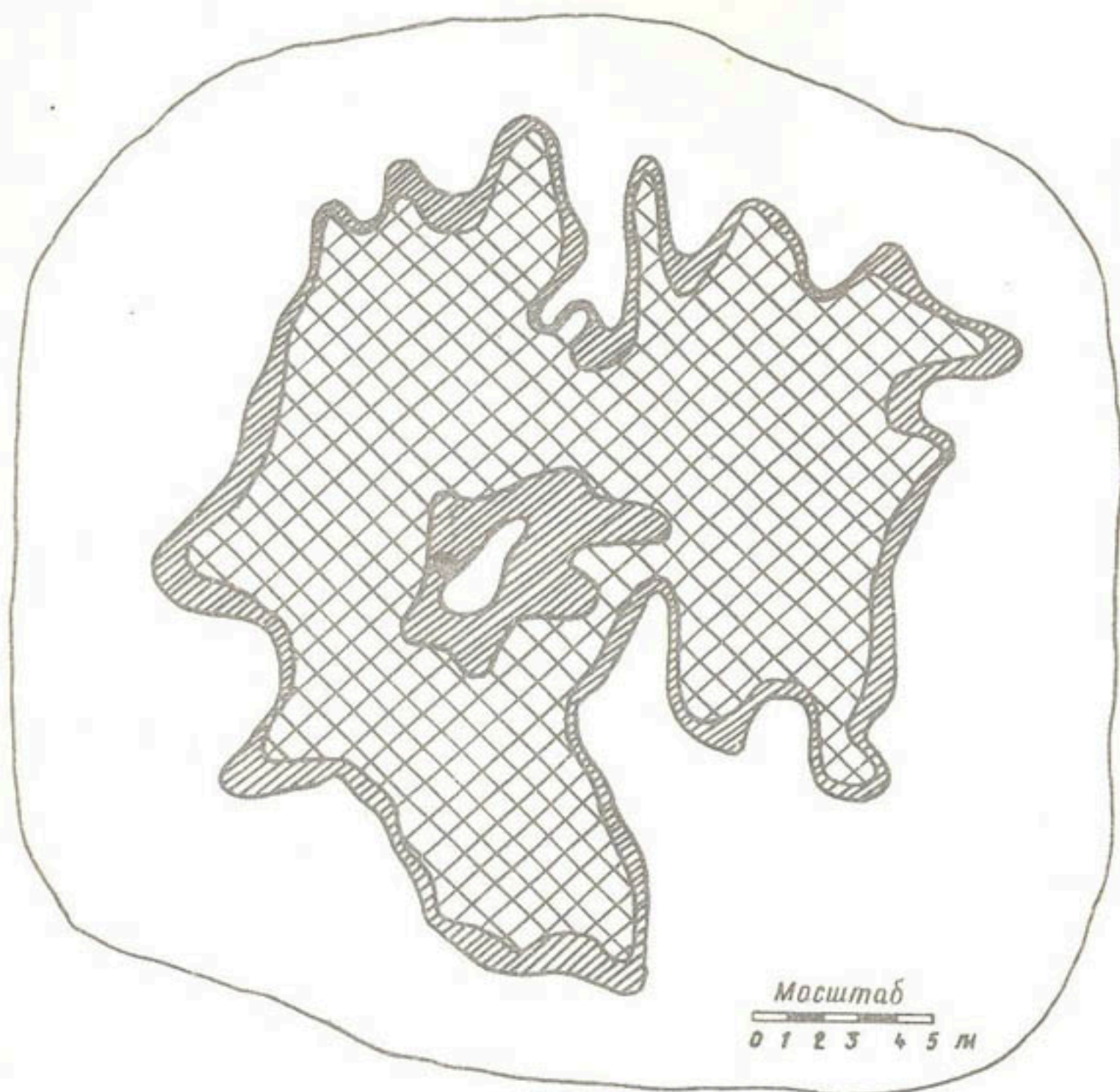


Рис.7. Карта распределения слоя осадков по площади:  — эффективно политая площадь;  — избыточно политая площадь;  — недостаточно политая площадь; ● — местоположение клапана КЗГ-120-

Скорость ветра — 0–1,5 м/с

$Q = 15 \text{ л/с}$
 $S_{\text{ср}} = 1,137 \text{ мм/мин}$

Коэффициенты полива:

$K_{\text{эфф.}} = 0,059$

$K_{\text{нед.}} = 0,654$

$K_{\text{изб.}} = 0,287$

В ы в о д ы

1. Гидравлический защитный клапан КЗГ-120-1 и предохранительно-сбросное устройство ПСУ-100, представленные на хозяйственные испытания, отвечают своему назначению - защите оросительной сети, дождевальных машин, насосных станций и оборудования от гидравлических ударов и опасных перегрузочных давлений, вызванных техническими и технологическими остановками дождевальных машин при их групповой работе.

2. КЗГ-120-1 и ПСУ-100 обеспечивают работу в заданных технологических параметрах, надежны и удобны в эксплуатации и рекомендуются для комплексного использования на оросительных системах.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВСАСЫВАЮЩЕЙ ЛИНИИ ДОЖДЕВАТЕЛЯ
КОРОТКОСТРУЙНОГО ДНК-22

Двухконсольная короткоструйная дождевальная машина ДНК-22 предназначена для орошения овощных, кормовых и технических культур, ягодных насаждений, плодовых саженцев на участках площадью до 25-30 га, а также сельскохозяйственных культур, выращиваемых на селекционных, семеноводческих, рассадных участках, на опытных делянках и парниках закрытого грунта. Дождевальной машиной, кроме вегетационных, можно производить удобрительные, освежительные, приживочные и предзаморозковые поливы.

Основными узлами, навесными на трактор, являются: трехпоясная пространственная ферма с дождевальными насадками, гидросистема и гидроподкормщик, кроме того имеется сменное оборудование.

Разработка машины осуществлялась для использования ее по трем технологическим схемам. Первая предполагает позиционный полив с забором воды от гидрантов закрытой напорной сети с расходом 20 л/с. Вторая - полив позиционный и в движении (при малых поливных нормах) с забором воды из открытой оросительной сети с расходом до 22 л/с. Дополнительно навешивается сменное оборудование: редуктор, насос, всасывающая линия с плавучим клапаном. Третья обеспечивает полив сельскохозяйственных культур, размещаемых на небольших делянках и в парниках, позиционно и в движении; забор воды от гидрантов напорной закрытой оросительной сети осуществляется через гибкие наматываемые рукава. К основным узлам навешивается дополнительное оборудование: барабан, два рукава и два дождевальных крыла.

Одним из основных узлов дождевателя ДНК-22 (работает по второй технологической схеме), оказывающего существенное влияние на параметры машины в целом, является всасывающая линия. В задачу исследований входило: определение потерь напора по характерным участкам всасывающей линии, выявление работоспособности отдельных узлов и деталей всасывающей линии, установление оптимального расстояния между дном лотка и сеткой поплавка в зависимости от забирае-

мого расхода, выявление влияния засоряемости сетки на забираемый расход воды.

Для решения поставленных задач была подготовлена специальная установка, схема которой показана на рис.1. Она включает трактор Т-16м (1), на который смонтированы насос 4к-12а (2), напорная линия (3) и всасывающая линия (10). Забор воды осуществлялся из трапецеидального лотка (8) с помощью всасывающего поплавка (11). Регулировка глубины погружения поплавка под горизонт воды осуществлялась с помощью противовеса (12). Сброс воды производился в лоток (4) прямоугольной формы, на котором установлены гасители (5), шпигельмасштаб (6) и треугольный водослив Томсона (7). Замер давлений по характерным участкам осуществлялся с помощью пьезометров (9). В водозаборном лотке (8) в заданном режиме всасывающей линии поддерживался постоянный уровень воды с помощью специального сбросного устройства. Расход насоса 4к-12а регулировался с помощью задвижки "Лудло", установленной на напорной линии (3). Горизонт воды в прямоугольном лотке, где был установлен треугольный водослив (7), измерялся с помощью мерной иглы (шпигельмасштаб) с точностью до 0,1 мм. Вакуумметрическая высота всасывания насоса 4к-12а определялась с помощью пружинного вакуумметра и пьезометра (9). Горизонт воды в трапецеидальном лотке измерялся металлической линейкой, укрепленной непосредственно на внутренней торцовой стенке лотка. Отметка нуля линейки (13) увязана с положением оси насоса.

Всасывающая линия ДНК-22 включает сетку, обратный клапан, четыре закругления, два шарнирных соединения и два прямых участка трубы. Для практических целей в процессе использования и конструирования отдельных узлов всасывающей линии важно знать потери напора, создаваемые на каждом участке. Суммарные потери напора будут складываться из потерь в сетке, обратном клапане, четырех закруглениях, двух шарнирных соединениях и потерь по длине (рис.2).

Для определения потерь напора на каждом участке были вмонтированы штуцера для отбора давлений. Напор в точке определялся с помощью пьезометров. Результаты опытных данных приведены на рис.3. Кривая 0-1 показывает потери напора, создаваемые сеткой и обратным клапаном. Кривые 1-2, 3-4, 4-5 и 6-7 показывают потери напора в закруглениях и шарнирном соединении. Потери напора на прямых участках иллюстрированы кривыми 2-3, 5-6 и 7-8. Суммарные потери напора на всех участках приведены на том же рисунке в виде кривой $\sum h$.

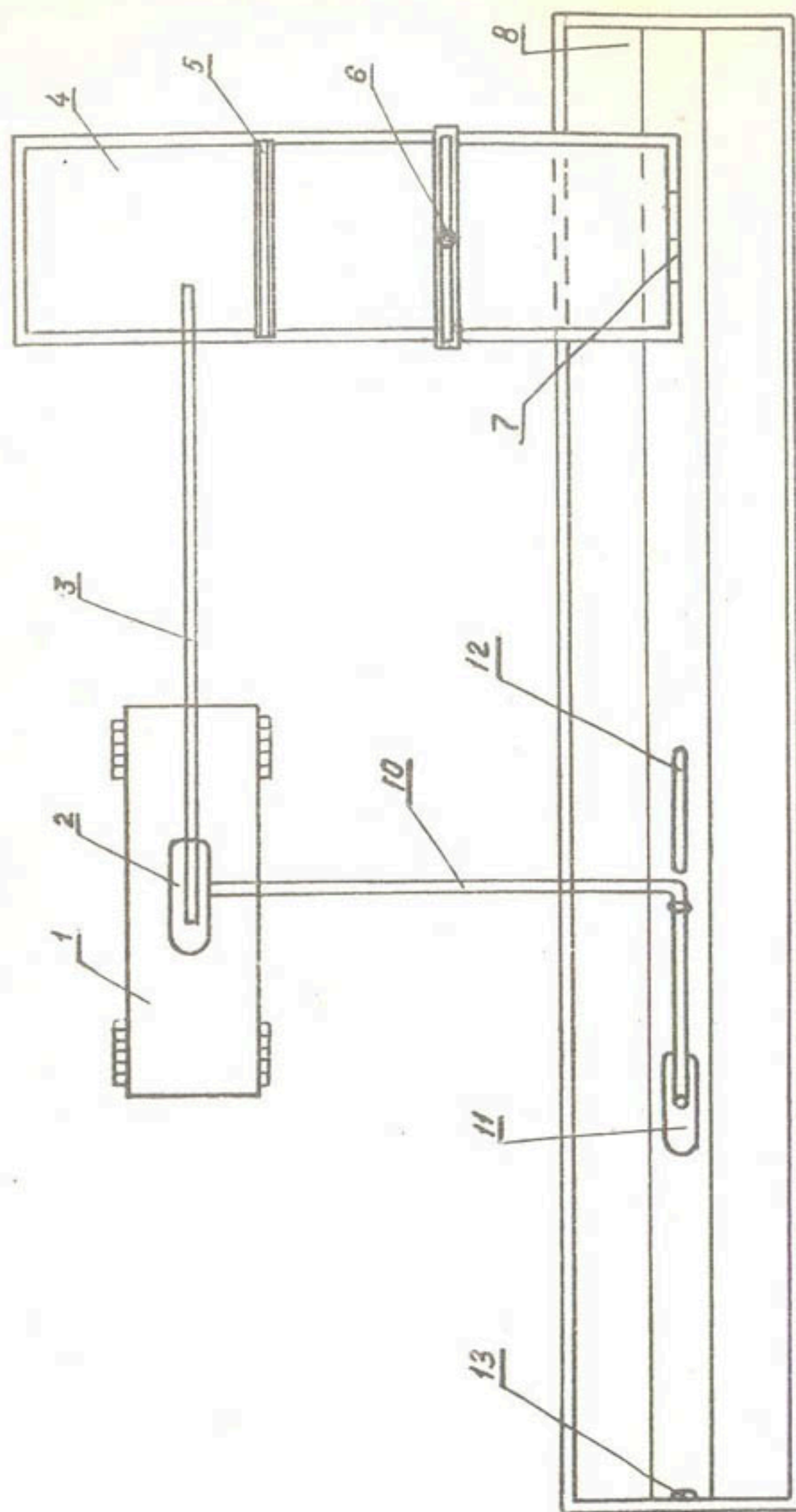


Рис. 1. Схема лабораторной установки: 1-трактор Т-16; 2-насос 4к-12а; 3-напорная линия; 4,8-лоток; 5-газитель; 6-шпиценмаштаб; 7-треугольный водослив; 9-пьезометр; 10-всасывающая линия; 11-всасывающий клапан; 12-противовес

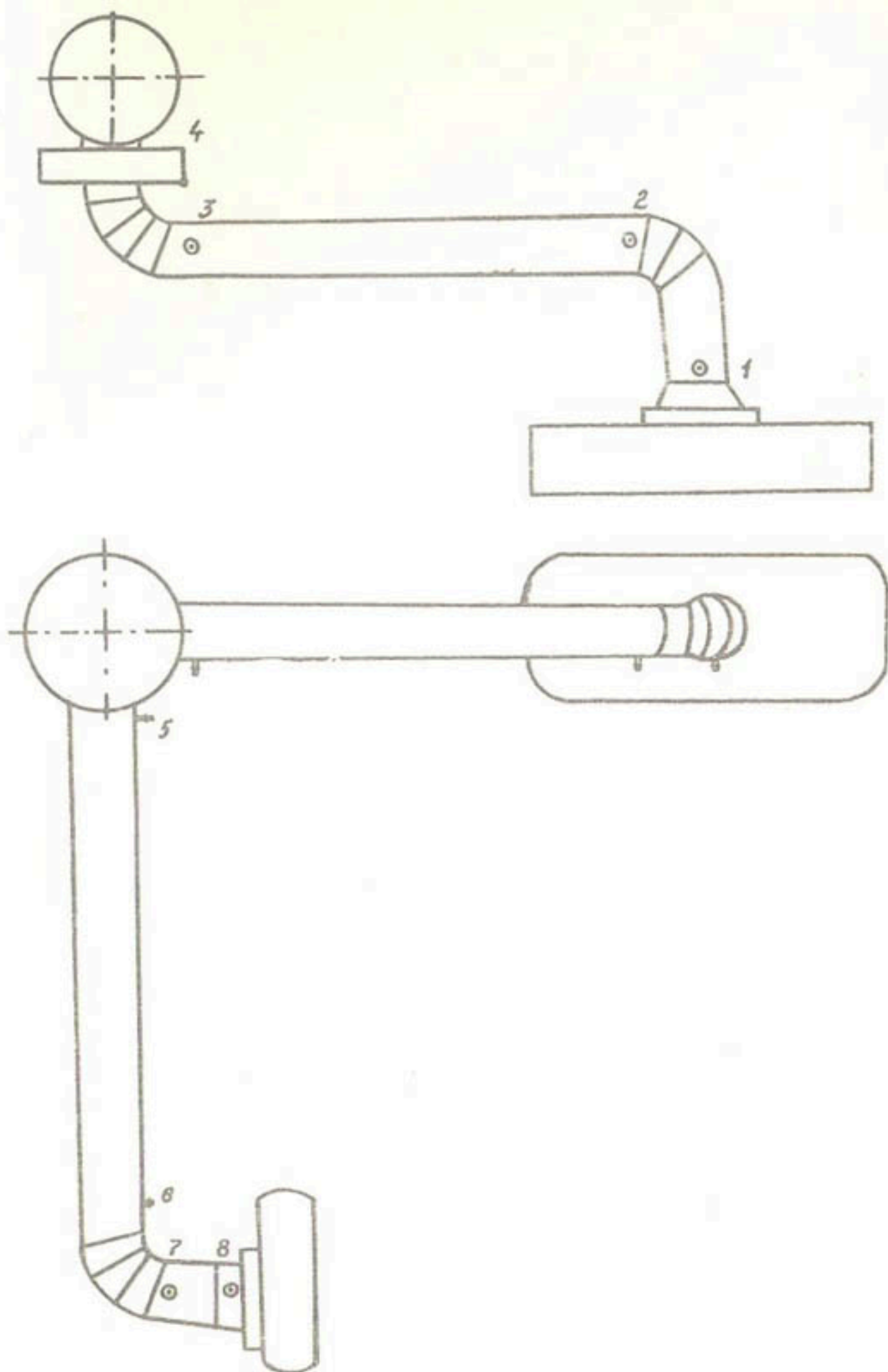


Рис.2. Схема всасывающей линии и расположения штуцеров

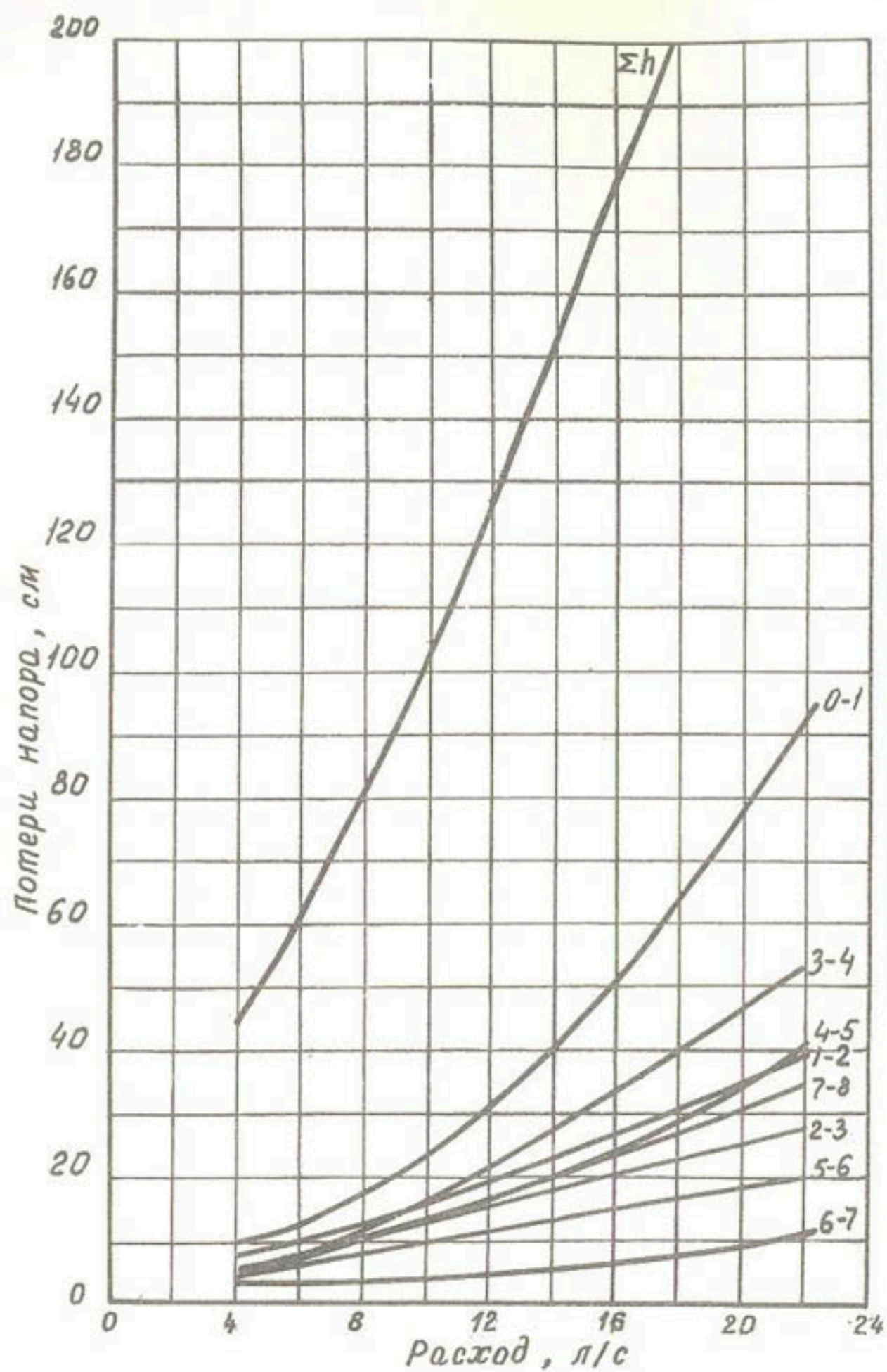


Рис.3. Потери напора во всасывающей линии ДНК-22

Анализ графиков потерь напора по участкам всасывающей линии ДНК-22 показывает, что суммарные потери напора при расходе 22 л/с достигают 2,7 м. При этом максимальные местные потери напора возникают в сетке, обратном клапане и на участке 3-4 (шарнирное соединение и закругление) соответственно равные 0,93 и 0,53 м. Минимальные потери напора в закруглении 6-7 равны 0,1 м. Коэффициент сопротивления сетки всасывающего поплавка при расходе 22 л/с равен 2,65.

Забираемый расход воды в значительной степени зависит от величины расстояния между дном лотка и сеткой клапана. Чем больше это расстояние, тем больше забираемый расход. Однако, с увеличением a (рис.4) наступает критерий, когда расход не зависит от расстояния между дном лотка и сеткой клапана. Величина этого критерия по данным лабораторных испытаний для всасывающего клапана ЦНК-22 составляет 9 мм.

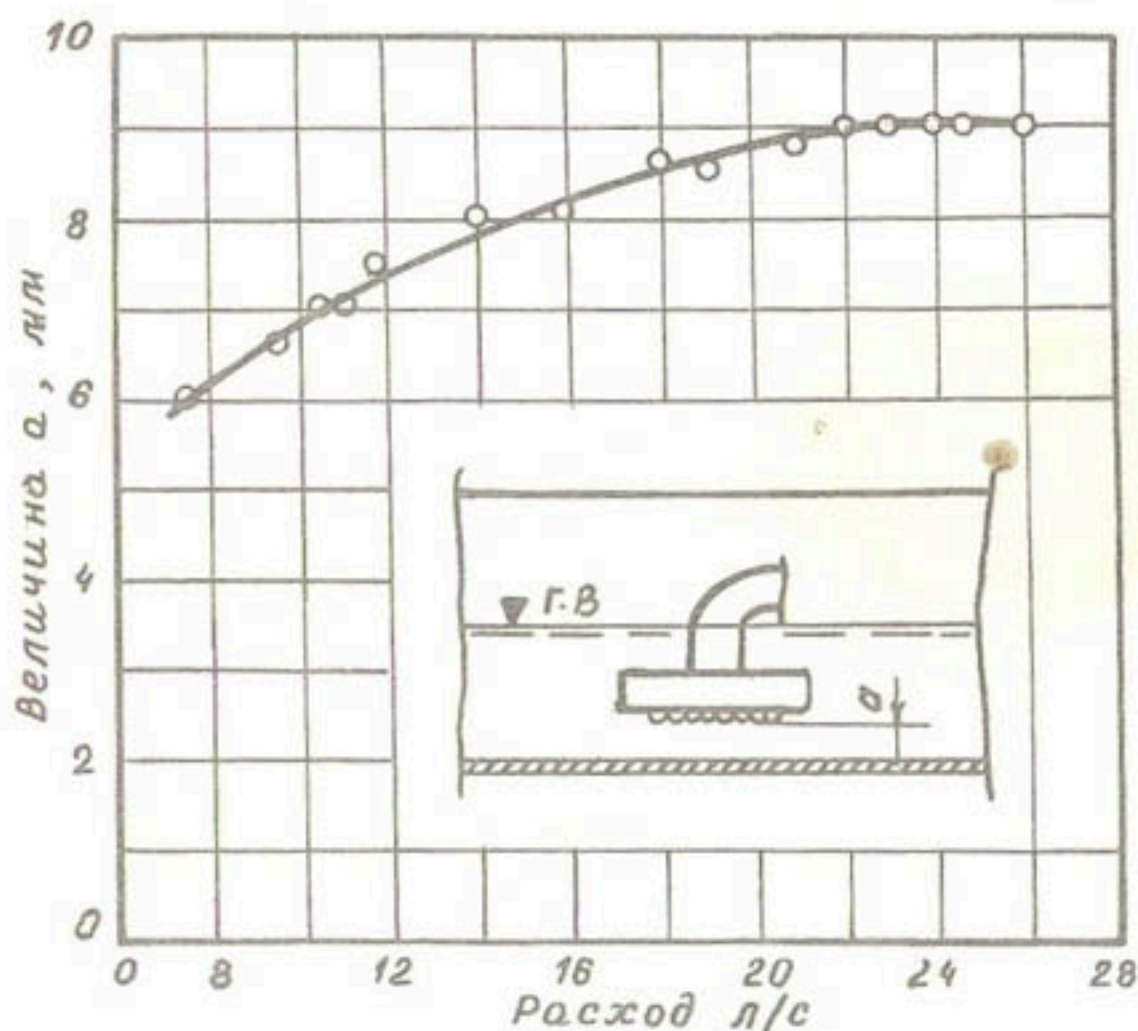


Рис.4. Влияние расстояния между дном сетки и лотка на подаваемый расход

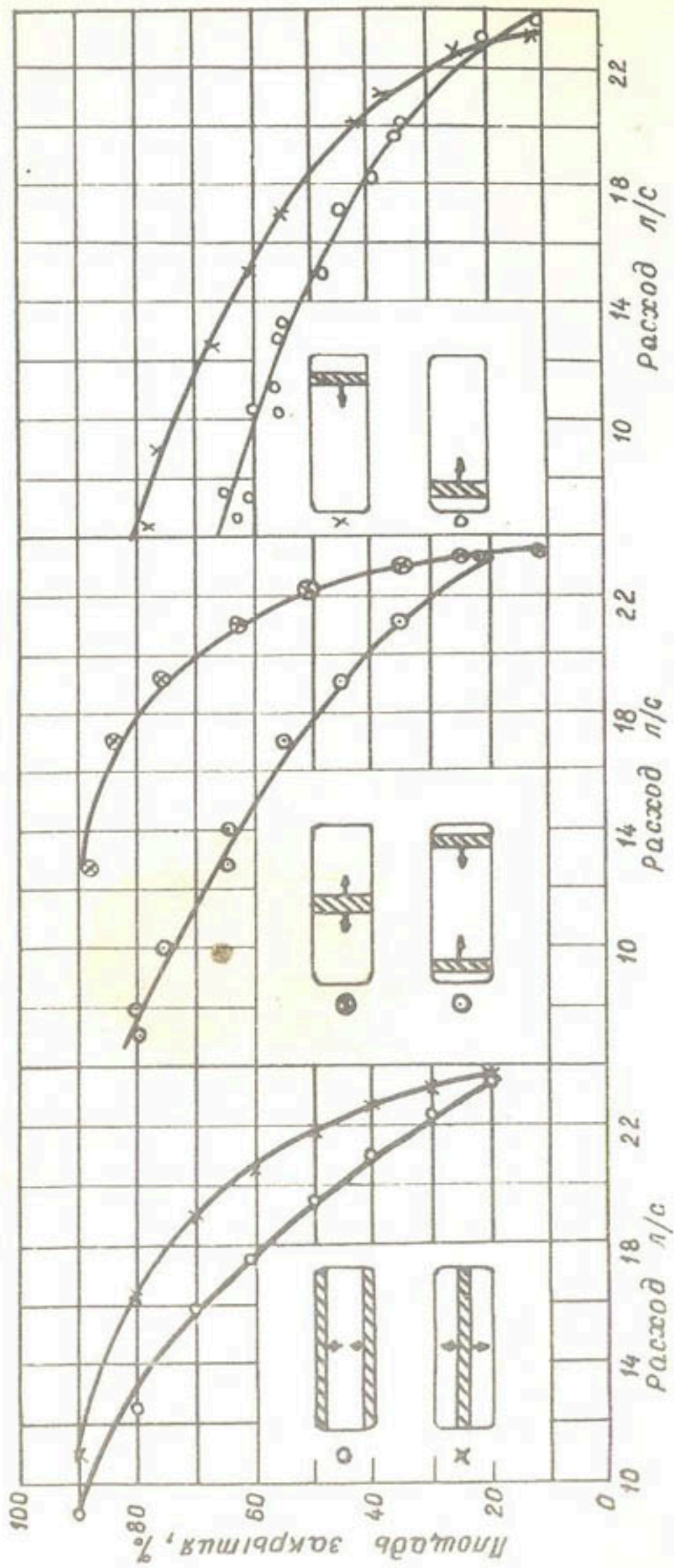


Рис. 5. Изменение расхода воды в зависимости от степени засоряемости сетки

Рис.4 показывает, что при расходе воды более 21 л/с расстояние между дном лотка и сеткой клапана должно быть более 9 мм. При меньшем значении величины резко уменьшается расход воды и быстро увеличивается вакуумметрическая высота всасывания насоса 4к-12а. Скорость подхода воды к всасывающему клапану при $a = 9$ мм и расходе 22 л/с составляет 0,487 м/с. С целью предотвращения размыва грунта в открытом канале скорость подхода воды к сетке всасывающего клапана не должна превышать 0,2 м/с.

Забираемый расход воды насосом 4к-12а в значительной мере зависит от пропускной способности отверстий сетки поплавка. Площадь отверстий сетки $\Phi 9$ мм в количестве 650 шт. составляет 410 см^2 . Площадь входного отверстия обратного клапана поплавка равна 224 см^2 . При уменьшении площади отверстий сетки забираемый насосом расход воды будет уменьшаться. Для искусственной имитации засорения отверстий сетки была использована полиэтиленовая пленка. Постепенное перекрытие сетки поплавка осуществлялось в шести различных вариантах, схемы которых приведены на рис.5.

В первом и втором вариантах перекрытие отверстий сетки производилось соответственно от краев и центра по ее длине. В третьем и четвертом - от центра и краев по ширине сетки. В пятом и шестом - справа и слева по ширине сетки. Результаты опытных данных, приведенных на рис.5, показывают, что уменьшение расхода воды (менее 22 л/с) наблюдается при "засорении" более 25% площади сетки поплавка в первом, четвертом, пятом и шестом вариантах. Во втором и третьем уменьшение расхода отмечается при "засорении" площади сетки свыше 50%. На забираемый расход существенное влияние оказывает направление потока воды в канале и "засоряемой" части сетки поплавка.

В ы в о д ы

1. Отдельные узлы и всасывающая линия в целом работоспособны. Утечки воды в шарнирных соединениях отсутствуют.

2. На забираемый расход воды существенное влияние оказывает направление потока воды в канале по отношению к засоряемой части сетки поплавка. При расходе воды до 22 л/с допускается засорение отверстий сетки до 25% без снижения производительности насоса.

3. Потери напора во всасывающей линии при расходе 22 л/с составляют 2,7 м. Коэффициент сопротивления сетки поплавка равен 2,65.

К.т.н. Ильин С.П.,
с.н.с. Хроль С.Б.,
с.н.с. Бобров И.А.,
(ВНИИМИП)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПО ДЛИНЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ ТРУБ С НОВЫМИ ВИДАМИ ПОКРЫТИЙ

Интенсивное развитие орошения и строительство новых совершенных оросительных систем связано с применением различных трубопроводов.

Освоение высокопроизводительных широкозахватных дождевальных машин "Фрегат", "Волжанка" и др., а также строительство закрытых стационарных автоматизированных оросительных систем резко увеличило потребность в металлических трубах для мелиоративного строительства. Вместе с тем, решением Президиума Совета Министров СССР от 3.XI.75 г. было предусмотрено сокращение расхода металлических труб на мелиоративное строительство.

Поэтому остро встал вопрос о замене стальных дефицитных труб трубами другого вида или менее металлоёмкими и, в частности, тонкостенными спиральношовными с различными видами антикоррозионных покрытий.

Организация опытно-промышленного производства и внедрение тонкостенных стальных труб для мелиоративного строительства поставили ряд вопросов, связанных с проведением всесторонних испытаний и исследований этих труб. Одним из этапов исследования труб для установления возможности их применения при строительстве оросительных систем является проведение гидравлических исследований.

Гидравлический расчет труб является важнейшим фактором, предопределяющим правильную работу и надежность эксплуатации систем трубопроводов. Обычно при гидравлическом расчете трубопроводов закрытых оросительных сетей определению подлежит одна из величин:

- расход при заданных l, d, H и материале трубопровода (характеристике шероховатости внутренней поверхности трубопровода);
- напор для пропуска заданного расхода Q при известных l, d и шероховатости;
- диаметр трубопровода для пропуска заданного расхода при известных l, d и шероховатости.

Эти задачи решаются на основе формулы гидравлических потерь напора по длине трубопровода

$$\Delta h = \lambda \frac{l \cdot V^2}{2g d}, \quad (1)$$

где λ — коэффициент гидравлического сопротивления;

l — длина трубопровода, м;

V — средняя скорость движения воды, м/с;

d — внутренний диаметр трубопровода, м;

g — ускорение силы тяжести, м/с²;

Потери напора на единицу длины трубопровода или гидравлический уклон равен

$$i = \frac{\Delta h}{l}. \quad (2)$$

Исходя из вышеприведенных формул, для гидравлического расчета трубопроводов необходимо знать величину коэффициента λ , от которого зависит гидравлическая характеристика труб и степень надежности их работы. Правильное определение значения коэффициента гидравлических сопротивлений λ важно как для расчета, так и для эксплуатации трубопроводов.

Обычно все напорные трубопроводы, в том числе оросительные, работают в области турбулентного режима, который для труб круглого сечения характеризуется величиной числа $Re_{кр} > 2000$. Число Рейнольдса определяется по формуле

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

где ν — кинематический коэффициент вязкости воды.

Закономерность изменения коэффициента гидравлического сопротивления λ при турбулентном режиме зависит от областей сопротивления: гидравлически гладких труб, переходной и квадратичной.

В области гидравлически гладких труб λ зависит от числа Re , в переходной — от относительной шероховатости стенок труб и Re ; в квадратичной — лишь от шероховатости стенок и не зависит от Re .

Из вышесказанного следует, что одной из важных задач гидравлических исследований является определение области сопротивления, в которой работают испытываемые трубы и от которой зависит величина коэффициента гидравлического сопротивления λ .

В лаборатории были проведены гидравлические исследования тонкостенных спиральношовных труб диаметром 250 мм с цинковым и цементно-песчаным покрытиями с целью определения коэффициента гид-

равлических сопротивлений.

Средний диаметр труб с цинковым наружным и внутренним покрытием марки ТСЦ-250 (ТУ I4-3-477-76) равен 250 мм, труб с внутренним песчано-цементным покрытием (наружное битумное) марки ТСЦБ (ТУ-33 РСФСР 3I-7-75) - 237,68 мм.

Трубы с цинковым покрытием выпускаются Ворошиловградским трубным заводом им. Якубовского Минчермета УССР, с песчано-цементным покрытием - Воронежским заводом Минводхоза СССР.

Исследования проводились на специальном стенде, схема которого представлена на рис. I. Он состоит из бака постоянного уровня (2), напорных и сливных линий (3), (4), насосно-силового оборудования (I), испытываемого участка трубопровода (6) и подземного резервуара для воды (IO). Стенд работает на оборотной воде. Для замера расхода использовались треугольный и трапецеидальный водосливы (7), установленные в успокоительном резервуаре.

Отбор давления производился в двух точках. Для определения перепада давления с точностью до 0,1 мм применялся микроманометр (8), выпускаемый учебно-производственным комбинатом ТСХА.

В опытах производился замер расхода и температуры воды, перепада давлений на исследуемом участке труб. Полученные опытные данные представлены в виде зависимости потерь напора от расхода (рис. 2).

Коэффициент гидравлических сопротивлений определялся по формуле

$$\lambda = \frac{2 g d \Delta h}{l V^2} \quad (4)$$

Число Рейнольдса определялось относительно среднего диаметра труб по формуле (3).

В табл. I, 2 приводятся опытные данные коэффициента гидравлического сопротивления λ для труб с цинковым и цементно-песчаным покрытиями.

В результате обработки опытных данных получены зависимости коэффициента сопротивления λ от числа Рейнольдса (рис. 3, 4), анализируя которые можно сделать вывод, что исследованные трубы в диапазоне чисел Рейнольдса от $2 \cdot 10^4$ до $75 \cdot 10^4$ работают в переходной и квадратичной областях.

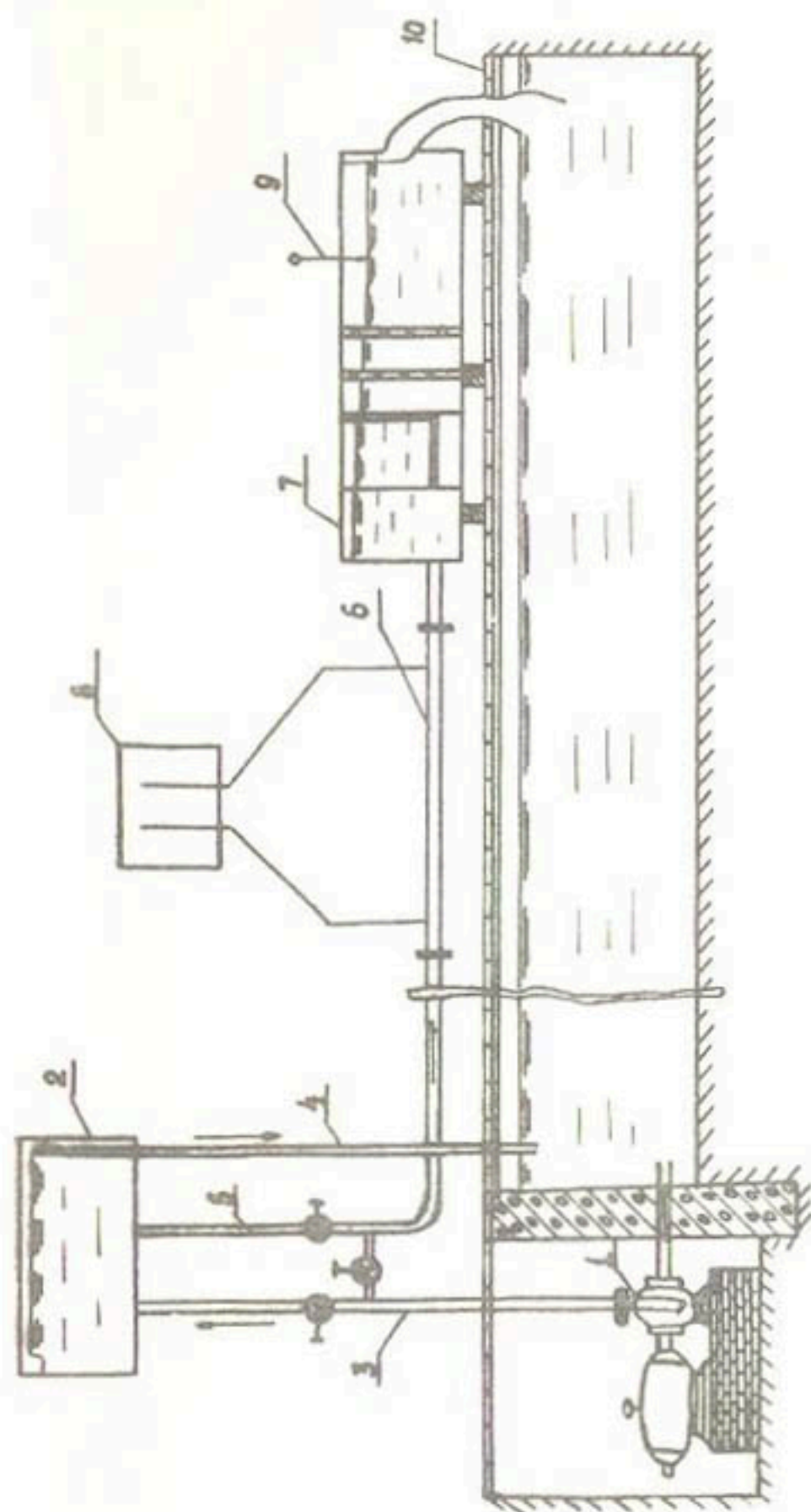


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1-насос; 2-бак постоянного уровня; 3-напорная труба насоса; 4-сливная труба; 5-подводящая труба; 6-исследуемые трубы; 7-мерный бак с водосливом; 8-микроманометр; 9-шпиценмаштаб; 10-подземный резервуар

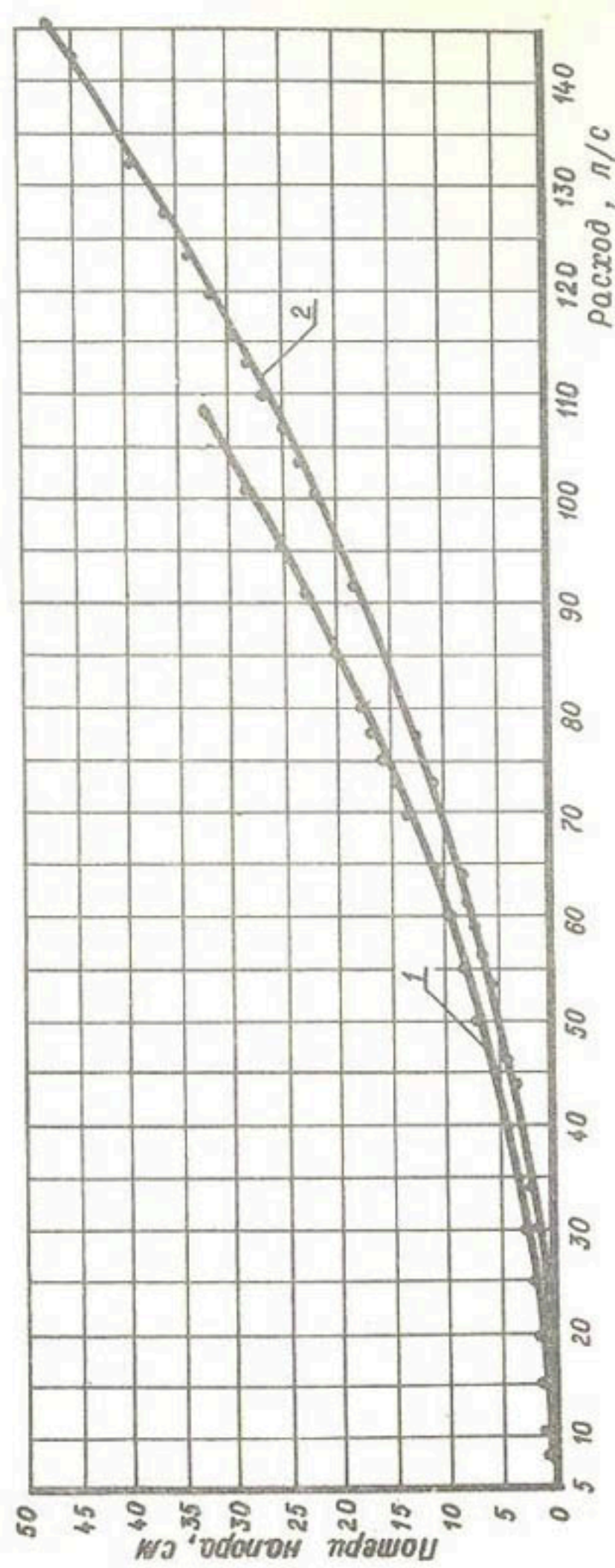


Рис. 2. Зависимость потерь напора от расхода: 1-трубы с цементно-песчаным покрытием $d_{\theta H} = 237,68$ мм, $l = 11,94$ м; 2-трубы с цинковым покрытием $d_{\theta H} = 250$ мм, $l = 13$ м

Таблица I

Гидравлическое сопротивление по длине труб с цинковым покрытием
 $d_{\text{н.}} = 250 \text{ мм.}$ $l = 13 \text{ м.}$

№ п/п	Q л/с	V м/с	Δh см	$100i$	Re	λ
1	15,78	0,322	0,58	0,0446	72586	0,0212
2	20,6	0,420	1,07	0,0823	95173	0,0229
3	26,29	0,536	1,69	0,1300	121459	0,0222
4	30,35	0,619	2,20	0,1692	140636	0,0217
5	36,37	0,741	3,09	0,2376	169243	0,0212
6	41,93	0,855	3,90	0,300	195280	0,0202
7	45,49	0,927	4,63	0,3561	212286	0,0203
8	49,87	1,016	5,52	0,4246	233284	0,0201
9	56,28	1,147	7,00	0,5384	264020	0,0201
10	61,35	1,250	8,19	0,6300	286253	0,0198
11	77,07	1,377	9,71	0,7469	316239	0,0196
12	74,34	1,575	11,95	0,9192	355831	0,0196
13	79,63	1,623	13,69	1,0530	383112	0,0196
14	86,76	1,768	16,18	1,2446	424665	0,0195
15	95,81	1,953	20,00	1,5384	478423	0,0198
16	103,43	2,108	23,60	1,8153	522072	0,0200
17	115,85	2,361	29,60	2,2769	589064	0,0200
18	123,72	2,522	33,90	2,6076	633293	0,0201
19	131,66	2,684	38,60	2,9692	678326	0,0202
20	145,33	2,962	47,30	3,6384	756686	0,0203

Таблица 2

Гидравлическое сопротивление по длине труб с цементно-
-песчаным покрытием $d_{\text{вн}} = 237,68$ $l = 11,94$ м

№ п/п	Q л/с	V м/с	Δh см	$100 l$	Re	λ
1	15,22	0,344	0,84	0,0646	68637	0,0278
2	21,00	0,474	1,33	0,1114	95832	0,0230
3	25,00	0,564	1,87	0,1566	112242	0,0230
4	30,16	0,681	2,59	0,2170	140126	0,0218
5	34,22	0,772	3,24	0,2714	152843	0,0212
6	40,22	0,908	4,20	0,3519	182136	0,0199
7	44,02	0,994	5,19	0,4348	199909	0,0205
8	50,41	1,138	6,91	0,5789	232971	0,0208
9	55,17	1,245	8,18	0,6853	259434	0,0206
10	60,02	1,355	9,44	0,7909	293445	0,0201
11	65,44	1,477	11,40	0,9951	298616	0,0198
12	70,47	1,591	13,99	1,1721	349030	0,0215
13	75,18	1,697	16,19	1,3565	386385	0,0219
14	80,10	1,808	17,90	1,4997	427435	0,0214
15	85,33	1,926	20,30	1,5615	434535	0,0214
16	90,88	2,051	22,60	1,8935	471442	0,0210
17	95,41	2,154	25,00	2,0946	502947	0,0210
18	101,20	2,284	28,00	2,3460	539761	0,0209

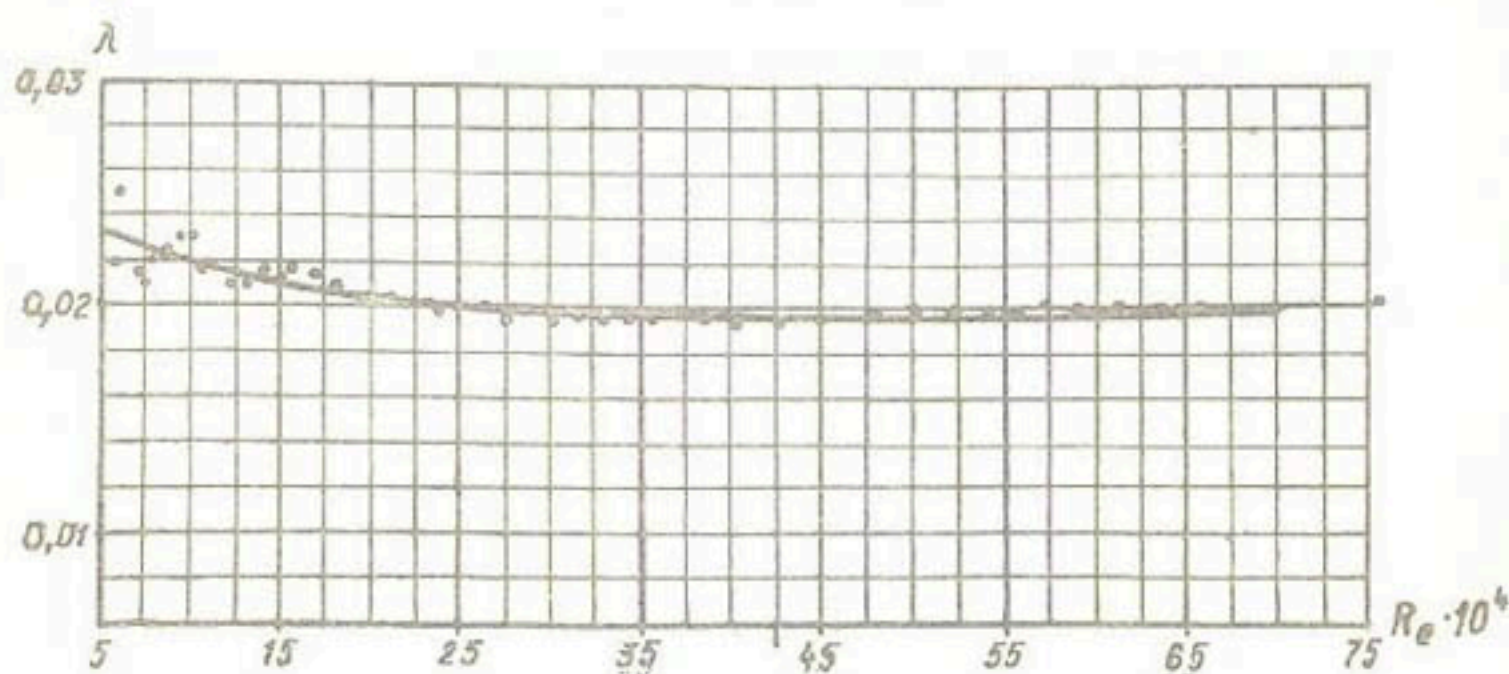


Рис. 3. Зависимость коэффициента сопротивления λ от числа Рейнольдса для оцинкованных труб диаметром 250 мм

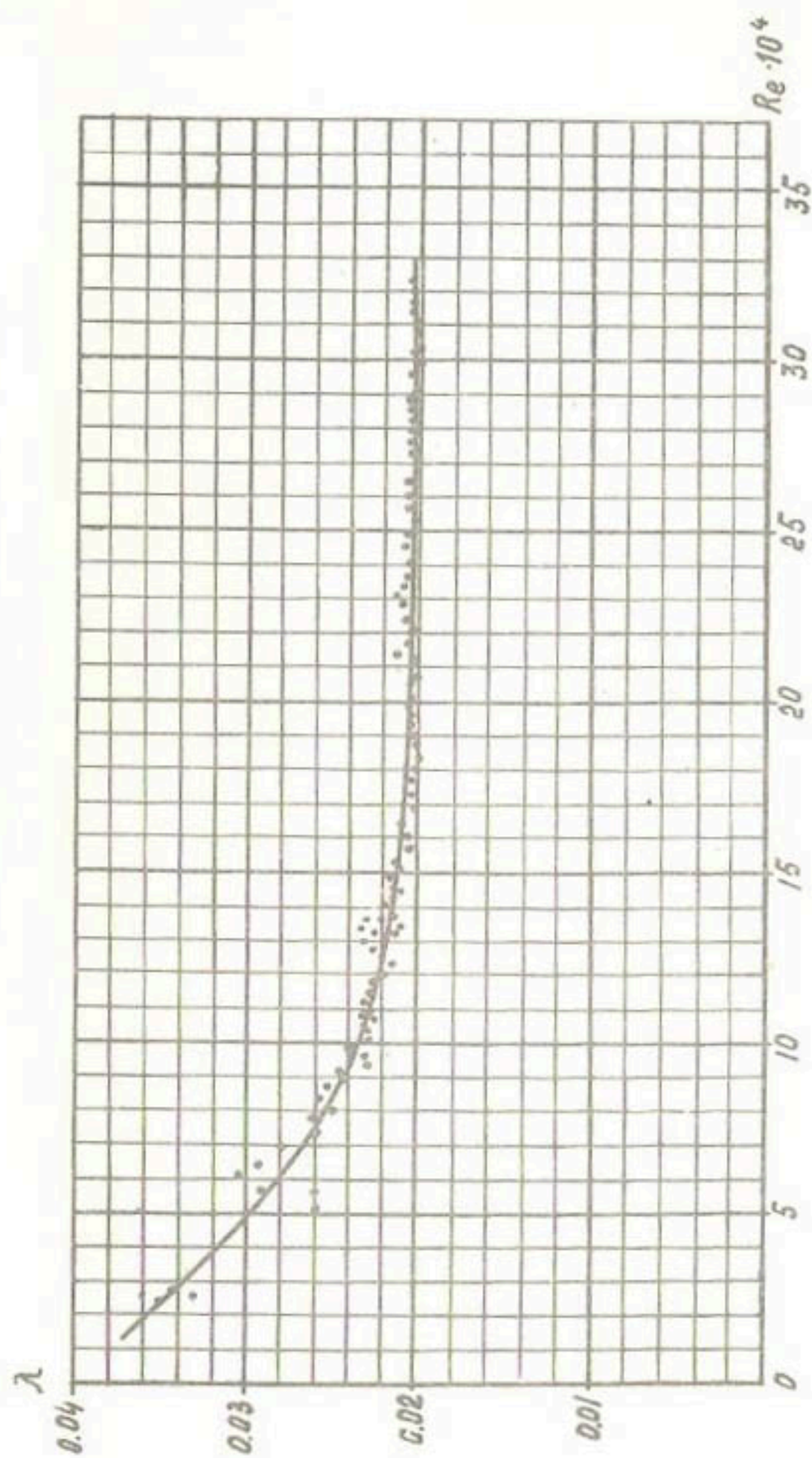


Рис. 4. Зависимость коэффициента сопротивления λ от числа Рейнольдса для труб с цементно-песчаным покрытием диаметром 237,68 мм

Среднее значение коэффициента гидравлического сопротивления $\lambda_{\kappa\theta}^{cp}$ для труб с цинковым покрытием диаметром 250 мм равно 0,01985, а с цементно-песчаным покрытием, внутренний диаметр которых равен 237,68 мм - $\lambda_{\kappa\theta}^{cp} = 0,0202$.

Полученные значения $\lambda_{\kappa\theta}^{cp}$ можно использовать при проведении гидравлических расчетов оросительных систем с применением вышеуказанных труб.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УНИФИЦИРОВАННОГО
ЗАПОРНО-РЕГУЛИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Увеличение площадей машинного орошения и активное внедрение в практику полива многоопорных дождевальных агрегатов требуют создания надежных средств автоматического поддержания эксплуатационных гидравлических режимов. В этой связи возникает необходимость разработки унифицированного устройства, обеспечивающего стабильность работы оросительной системы.

В соответствии с условиями эксплуатации дождевальных агрегатов типа "Волжанка" и "Фрегат" в В/О "Союзводпроект" разработана система специальной арматуры блочно-модульного типа для закрытых оросительных сетей (САЗОС), предусматривающая:

- изменение положения рабочего органа запорно-регулирующего устройства (ЗРУ) по сигналу "извне" (управление);
- изменение положения рабочего органа ЗРУ при изменениях гидравлического режима, регистрируемых специальными устройствами (автономная автоматическая работа);
- подачу сигналов о положении рабочего органа ЗРУ (степени открытия) для обработки их устройствами, не входящими в комплект (сигнализация).

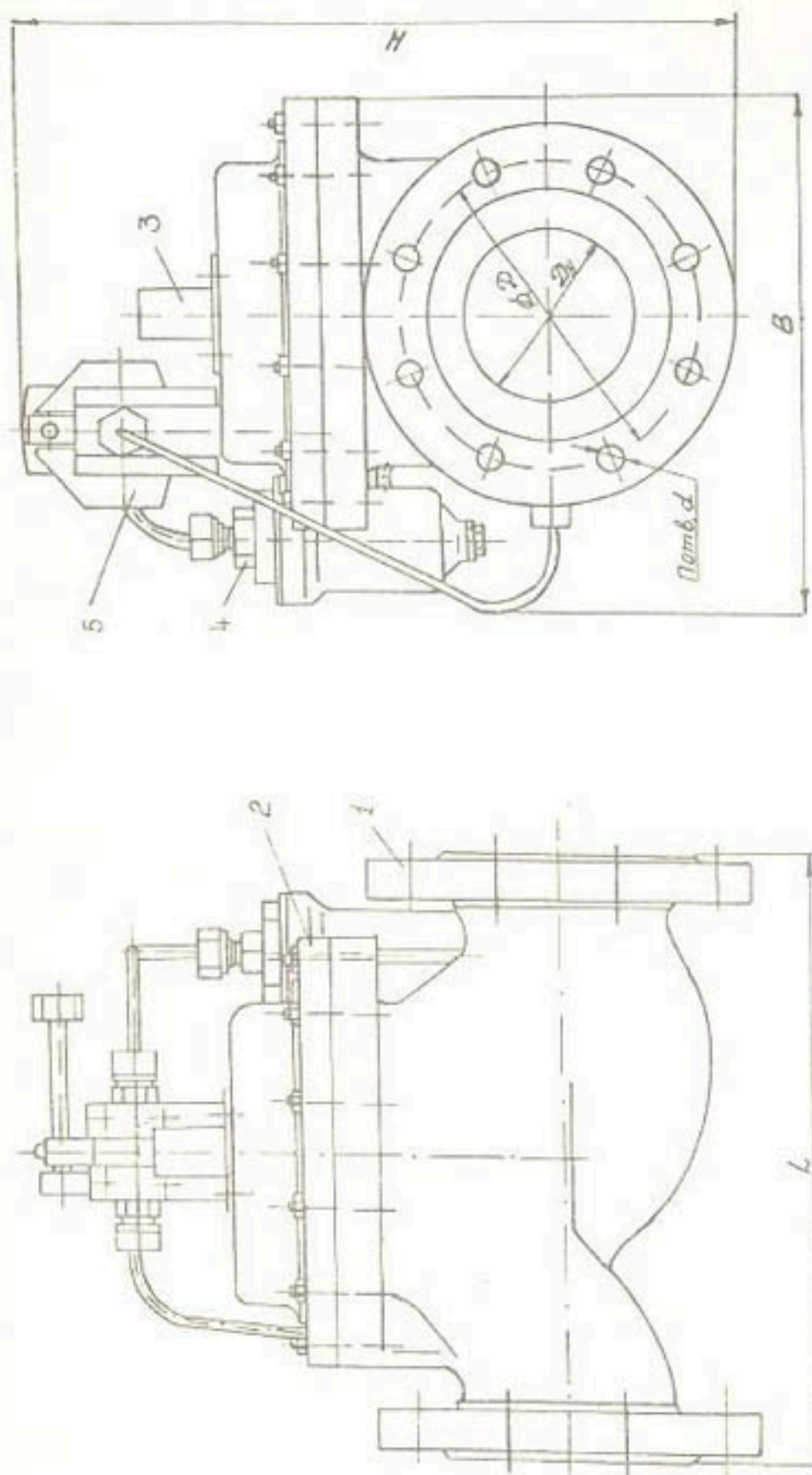
Управление ЗРУ "извне" производится при помощи трехпозиционного ручного переключателя или автоматически посредством подачи сигналов на электрогидравлический преобразователь (ЗГРП) (двухпозиционно с самовозвратом, двухпозиционно с фиксацией, многопозиционно).

ЗРУ могут являться исполнительными механизмами систем поддержания давлений ("до себя" и "после себя"), уровней в открытых емкостях ("после себя"), расхода, перепада давлений ("на себя" - дроссель).

ЗРУ комплектуются устройствами, предотвращающими обратный ток и недопустимое ударное повышение давления.

Принципиальная схема базовой конструкции ЗРУ представлена на рис. 1.

Опытный образец ЗРУ с задатчиком поддержания давления "после себя" был исследован нами в полунатурных условиях на испытатель-



Обозначение	Размеры, мм					
	Ди	D	d	n	L	H
Ца 4.465.094	100	180	18	8	350	420
Ца 4.465.091	150	240	23	8	480	520
Ца 4.465.092	200	295	23	12	600	560
Ца 4.465.095	300	410	27	12	900	730

Рис. 1. Внешний вид исполнительного запорно-регулирующего устройства:
 1-корпус; 2-крышка с отверстиями для крепления функциональ-
 ных блоков (приставок); 3-шток; 4-трехпозиционный переключа-
 тель рода работ; 5-фильтр

ном стенде, смонтированном на базе специального проектно-конструкторского бюро "Промавтоматика" в г. Краснодаре ¹⁾.

Цель исследований состояла в выявлении работоспособности ЗРУ и получении гидравлических характеристик этого устройства при различных режимах.

Схема испытательного стенда показана на рис.2. Забор воды осуществлялся из бассейна (1) тремя насосными установками (2), производительность которых составляет в сумме 120 л/с. Непосредственно за насосными агрегатами, после задвижки (3) были установлены два воздушных бака-рессивера (4), позволяющие избежать значительных волн повышенного давления. По напорному трубопроводу (6) расход подавался на ЗРУ (8). Маневрирование задвижкой (9), установленной за ЗРУ, позволяло создавать в системе ситуации, аналогичные режимам работы дождевальных агрегатов. Сброс расхода производился в бассейн (1).

Расход воды измерялся с помощью индукционного расходомера (10). Путем подсоединения расходомера к миллиампервольтметру Н-390 расход фиксировался не только визуально по шкале расходомера, но и на осциллограмме.

• Давление в испытуемой системе определялось по манометру (7) с верхним пределом измерений 1,6 МПа. Для определения действующих в системе напоров и возможных гидродинамических колебаний давления до и после ЗРУ были установлены датчики давления ЛХ-15 (5). Запись была выведена на осциллограф Н-785.

Фиксация степени открытия ЗРУ производилась по изменениям ЭДС катушки индуктивности в зависимости от степени введения ее в поле проводника (в данном случае штока ЗРУ, работающего синхронно с мембраной клапана). Подсоединенный в схему измерительного устройства самописец давал непрерывную запись степени открытия ЗРУ.

Исследовалось управление работой ЗРУ: 1) вручную, посредством трехпозиционного переключателя рода работы в двух его положениях — „открытие" и „закрытие" и 2) при положении переключателя рода работ — "автомат".

На рис.3 представлены результаты опытов при ручном управлении ЗРУ. Здесь $h = f(t)$ — ходовая характеристика клапана; h , t — ход и время хода штока; $\Delta P = f(h)$ — изменение перепада дав

1) Изготовление и ресурсные испытания ЗРУ проведены СПКБ "Промавтоматика".

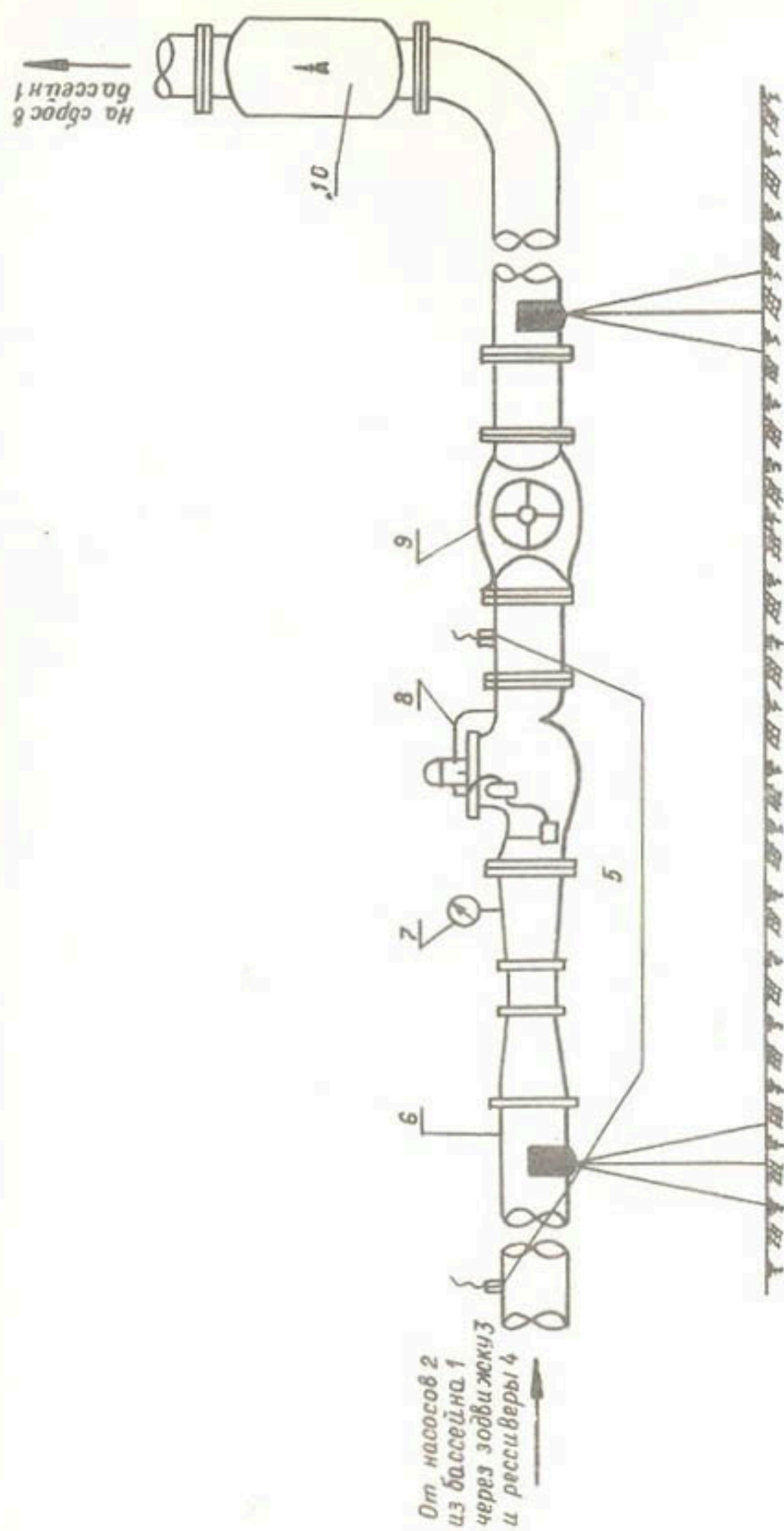


Рис.2. Схема стенда для исследований в районе расположения опытного образца ЗРУ

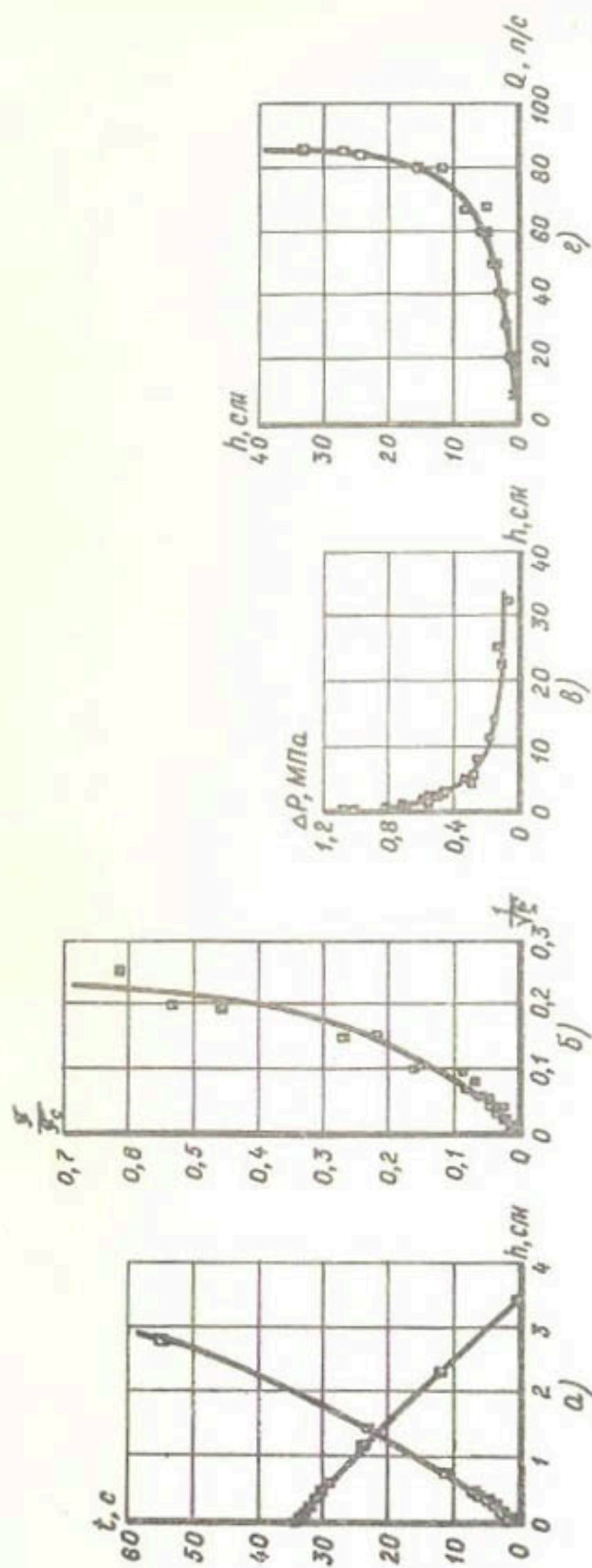


Рис. 3. Рабочие характеристики ЗРУ соответственно при положениях трехпозиционного переключателя рода работ: а) — "открытие" и б) — "заккрытие"; в) $h = f(t)$; г) $h = f(Q)$; д) $h = f(\Delta P)$;

лений на ЗРУ при различных открытиях клапана; $\Delta P = P_1 - P_2$, P_1 и P_2 соответственно давление до и после ЗРУ; $\sqrt{\frac{1}{\xi}} = f\left(\frac{F}{F_0}\right)$ - изменение коэффициента сопротивления ЗРУ в зависимости от относительного открытия клапана; F - площадь проходного сечения при заданном открытии ЗРУ; F_0 - площадь сечения трубопровода; $Q = f(h)$ - расходная характеристика ЗРУ.

Аналогичные характеристики были получены и при работе ЗРУ в автоматическом режиме. На рис.4 приводятся результаты опытов в этом режиме для случая, когда задатчик поддержания давления "после себя" был установлен на 0,2 МПа.

Ни в одном из опытов при различных положениях задатчика давления не было зафиксировано давление после ЗРУ, соответствующее установленному. Во всех случаях устанавливалось относительно постоянное давление, которое было ниже заданного.

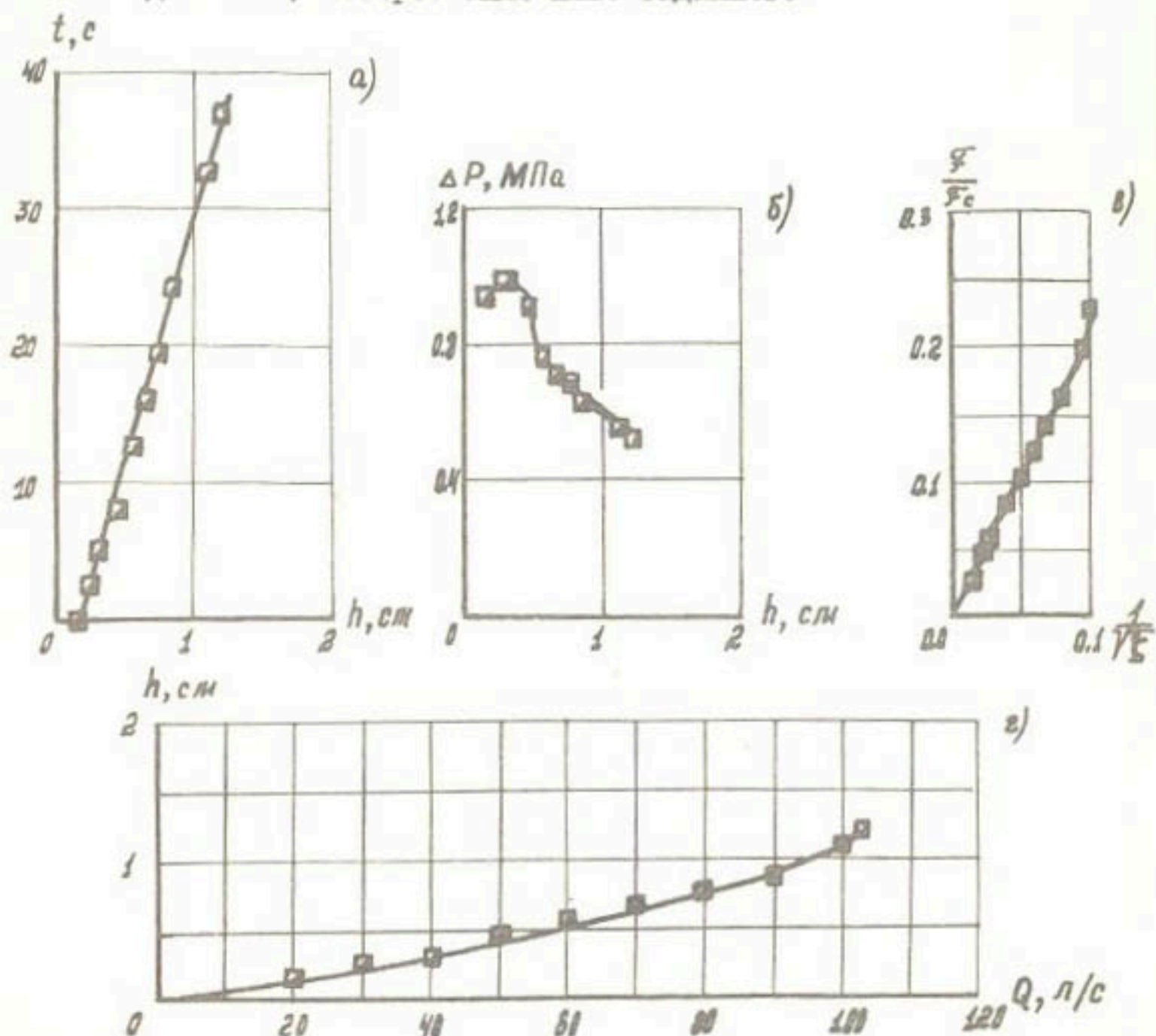


Рис.4. Графики зависимостей при работе ЗРУ в автоматическом режиме: а) $h = f(t)$; б) $\Delta P = f(h)$; в) $\frac{1}{\sqrt{\xi}} = f\left(\frac{F}{F_0}\right)$; г) $Q = f(h)$;

Кроме того были проведены опыты с кратковременным отключением и включением одного или двух насосов, а также с имитацией резкого сокращения расхода дождевальной машины. Получены диаграммы изменения во времени расхода, давления до и после ЗРУ, степени открытия тарелки клапана (хода штока) ЗРУ в этих режимах. В частности, реакция ЗРУ на резкое сокращение расхода дождевальной машины показана на рис.5.

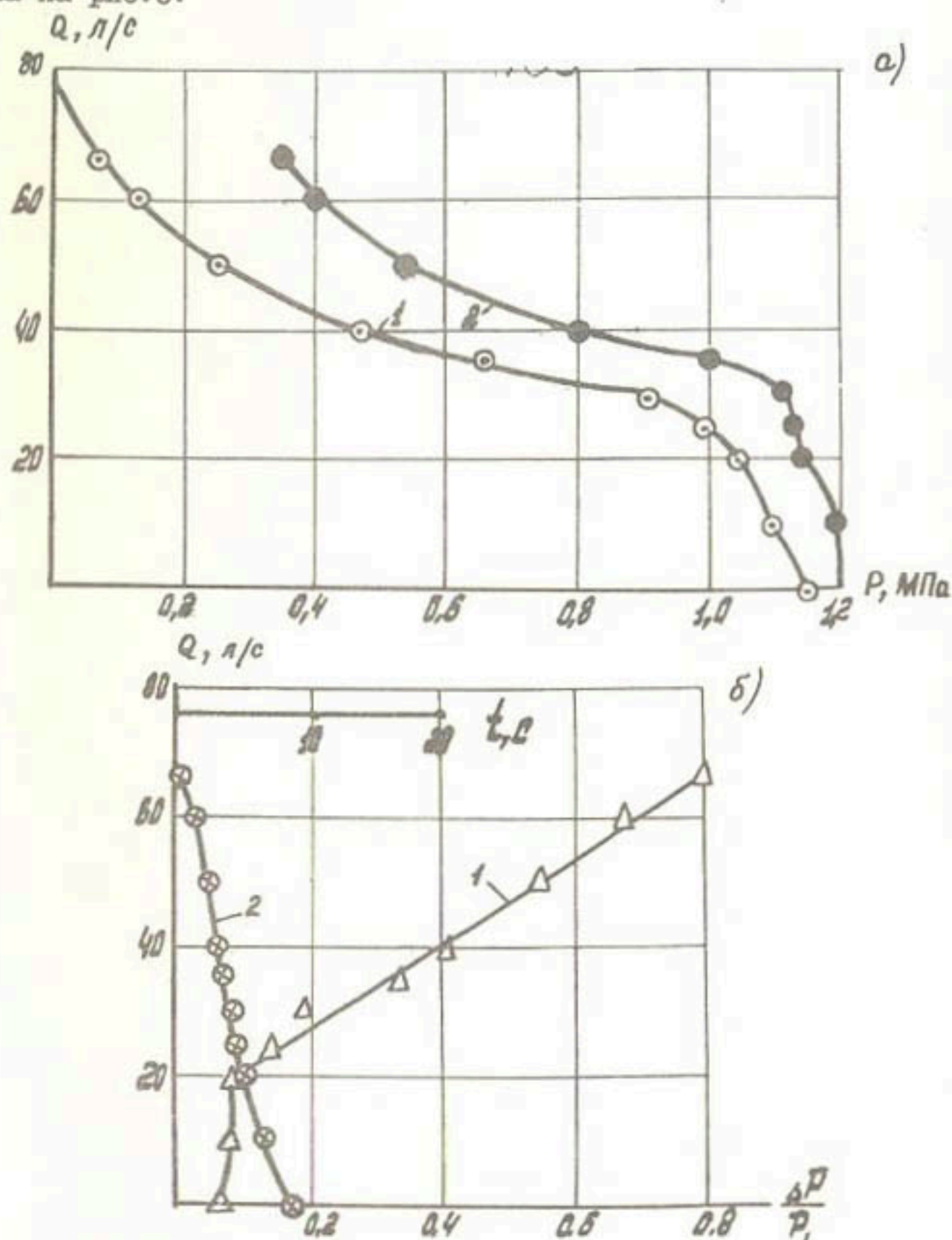


Рис.5. Характеристики ЗРУ при резком сокращении расхода дождевальной машины: а) 1, $\circ$ - $Q = f(P_2)$, 2, $\bullet$ - $Q = f(P_1)$, б) 1, Δ - $Q = f\left(\frac{\Delta P}{P_1}\right)$, 2, $\bullet$ - $Q = f(t)$

Рабочая характеристика клапана ЗРУ (по результатам всех циклов опытов) описывается показательной функцией вида

$$\bar{Q} = 0,02^{1-\bar{h}}$$

где $\bar{Q}$ - относительный рабочий расход жидкости при соответствующем относительном ходе штока клапана $\bar{h}$, $\bar{Q} = \frac{Q_i}{Q_{max}}$;

Q_i - рабочий расход при ходе штока h_i ;

Q_{max} - максимальная пропускная способность клапана при ходе штока h_{max} ;

0,02 - относительный минимальный расход клапана $\bar{Q}_{min}$, равный $\frac{Q_{min}}{Q_{max}}$;

Q_{min} - минимальная пропускная способность клапана;

$\bar{h}$ - относительное открытие клапана (относительный ход штока), $\bar{h} = \frac{h_i}{h_{max}}$.

Соответствующая функция для серий опытов при управлении ЗРУ вручную представлена на рис.6 (исходные данные см. на рис.3).

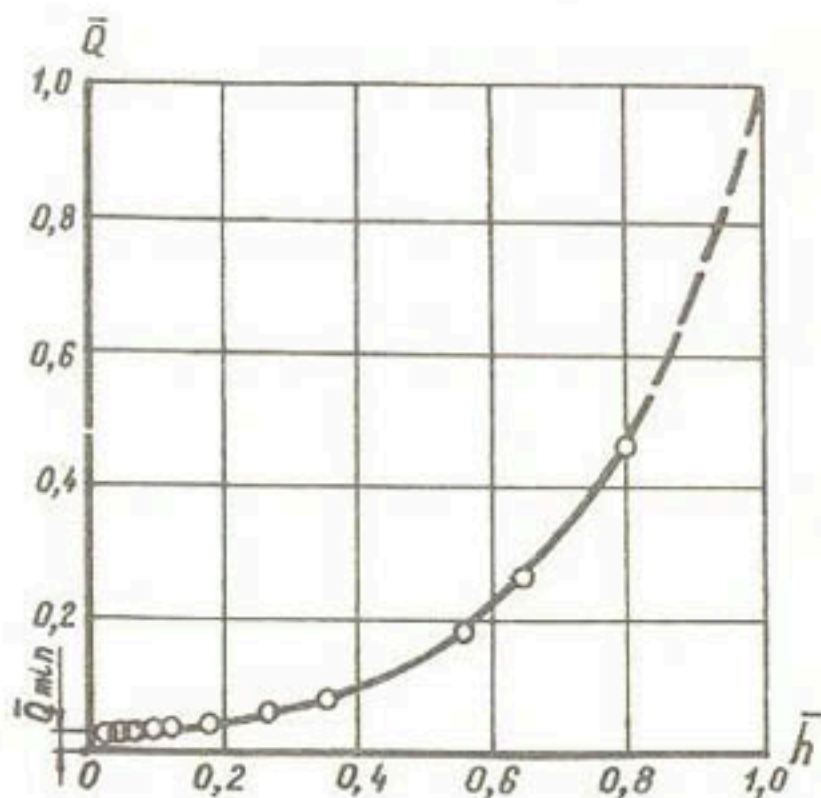


Рис.6. Зависимость $\bar{Q} = f(\bar{h})$.

В ы в о д ы

1. Стендовые испытания опытного образца ЗРУ свидетельствуют о работоспособности предлагаемой В/О "Союзводпроект" конструкции как при ручном, так и при автоматическом управлении.
2. Получены рабочие характеристики ЗРУ в этих режимах.
3. Выявлено несоответствие реакции задатчика поддержания давления ЗРУ "после себя" техническим требованиям.
4. Необходима доработка данной конструкции ЗРУ и проверка ее работоспособности в натурных условиях.

СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ УПЛОТНЕНИЙ
В ДОЖДЕВАЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Ни одна современная машина не создается без уплотнительных устройств. Практически во всех отраслях техники ученые и конструкторы сталкиваются с проблемой выбора и проектирования уплотнений. Именно состояние уплотнений определяет возможные рабочие параметры, ресурс и надежность многих машин.

В литературе нет материалов по исследованиям уплотнений применительно к дождевальной технике. Не изучены вопросы трения в уплотнениях. Известны незначительные исследования уплотнений лишь на узлах ДДА-100М в ВИСХОМЕ. В практике создания дождевальных машин используются данные по уплотнительным устройствам из смежных областей [1].

Следует отметить, что за последнее время машиностроение почти полностью перешло от уплотнительных соединений с помощью металлических колец или иных уплотняющих деталей к эластичным уплотнениям из различных резин.

При применении резиновых уплотнений достаточно грубо обработать канавку, что характерно для дождевальной техники и сельхозмашин, и установить в нее уплотнение так, чтобы возникло определенное контактное давление, обеспечивающее плотное прилегание эластичного кольца ко всем неровностям поверхности твердого контртела.

Эластичные уплотнения классифицируются на эластомерные, протекторные и резино-металлические [3]. Эластомерные уплотнения, применяемые в дождевальной технике, подразделяются на прокладки, кольца различного профиля, преимущественно круглого сечения, манжеты и манжеты с пружиной (рис.1).

Наиболее распространены манжеты. Они устанавливаются в дождевальных аппаратах, дальнеструйных машинах, муфтах трубопроводов, шарнирных соединениях всасывающих линий, насосах и т.д.

Уплотнительные узлы в дождевальных устройствах и причины выхода их из строя малоисследованы.

Например, наблюдается преждевременный износ манжет на дождевальных аппаратах ДД-30 по различным эксплуатационным причинам и

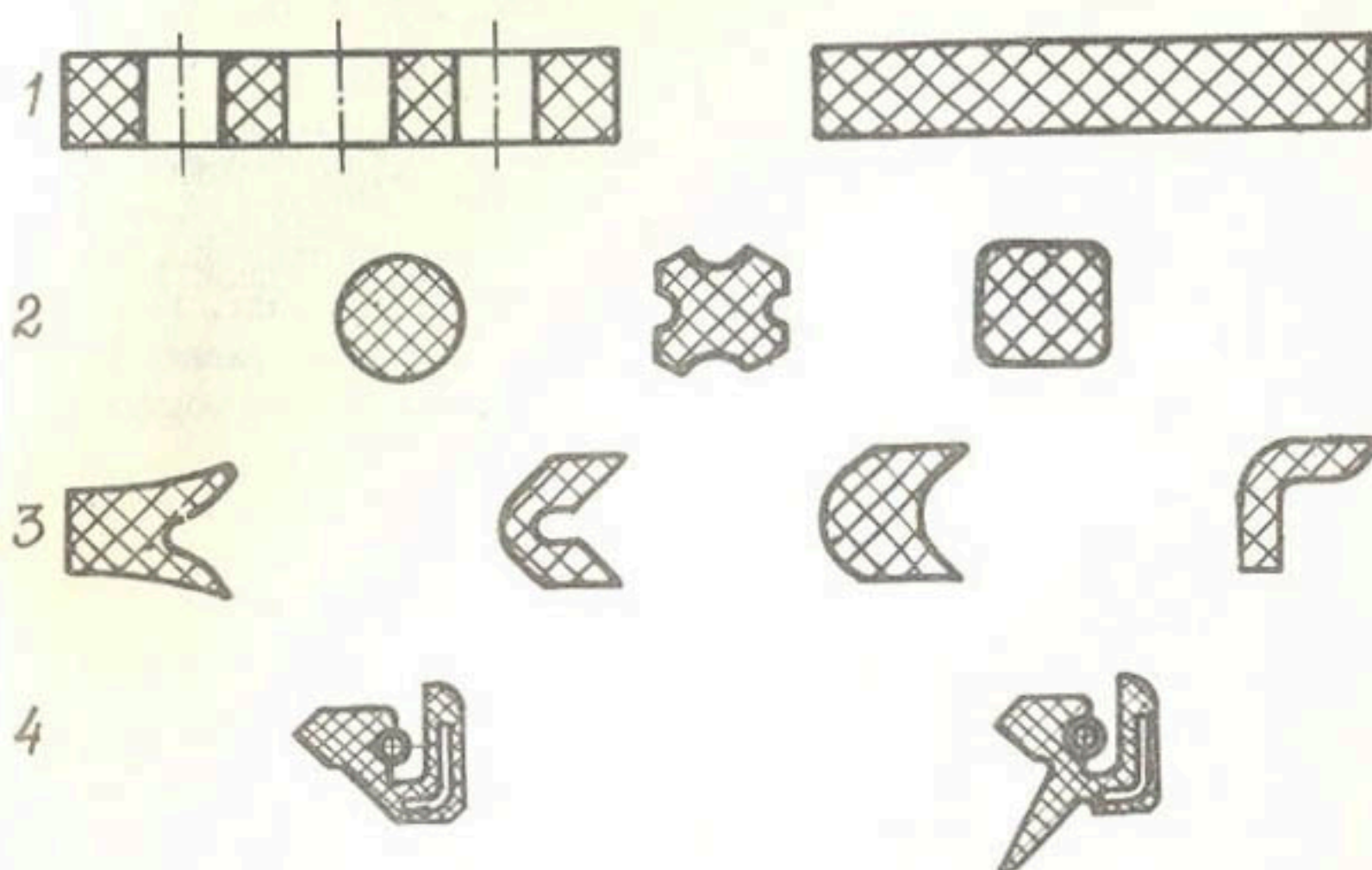


Рис.1. Типы эластомерных уплотнений: 1-прокладки; 2-кольца различного профиля; 3-манжеты; 4-манжеты армированные с пружиной

конструктивным недоработкам.

Опыт эксплуатации различных конструкций дождевальных аппаратов (ПУК-3, ДА-2 и др.) показывает, что в дождевальных аппаратах происходит отказ поворотного механизма ствола.

Разброс окружных скоростей при испытаниях дождевальных аппаратов на МИС говорит о различных усилиях трения вращения.

Помимо некачественной смазки, износа, потери упругости пружин и т.д., одной из причин выхода уплотнительных узлов является отсутствие учета характеристик трения в дождевальных машинах.

При расчете параметров работы дождевальных аппаратов учитывается момент трения [5].

$$\frac{J_k \cdot \omega^2}{2} = M_{тр} \cdot \varphi_a ,$$

где J_k - момент инерции коромысла;
 ω - угловая скорость;
 φ_a - угол поворота за один цикл;

$M_{тр}$ — момент трения, тормозящий вращение дождевального аппарата и равный сумме моментов трения в подшипнике и резиновой манжете.

Манжета под распорным действием давления среды поджимается к уплотняемой поверхности и обеспечивает плотный контакт, гарантирующий герметичность уплотнения. Это распорное действие является также и основным источником трения в уплотнительном узле, величина которого зависит от высоты манжеты при всех прочих равных условиях. Сила трения для одной манжеты рассчитывается по формуле [2]:

$$R = \mu P \pi d h \quad \text{кг},$$

где P — давление жидкости, кг/см^2 ;

d — диаметр вала (ствола), см ;

μ — коэффициент трения;

h — высота активной части манжеты, см .

Коэффициент трения резиновых манжет по стальным и бронзовым втулкам в условиях дождевальных аппаратов до настоящего времени принимается 0,2 [5].

В действительности же, безусловно, этот коэффициент зависит от сорта применяемой резины, материала, по которому работает данная манжета, от его технологической обработки, а также от давления жидкости, которому подвергается манжета, и времени.

Известно, что одной из главных экспериментальных закономерностей процесса трения является изменение коэффициента трения в зависимости от нормального давления $\mu = f(P)$ и от скорости скольжения $\mu = f(V)$. Исследование процесса трения показывает, что выбор нормального режима эксплуатации узлов машин и механизмов для каждой пары трения в зависимости от величины внешних механических воздействий и влияния параметров связан с определением стационарных участков основных зависимостей $\mu = f(P)$ и $\mu = f(V)$ и зон их смещения [4]. Подробное изучение этих зависимостей является важным и позволит в дальнейшем более правильно конструировать узлы трения дождевальных аппаратов, машин, а также повысить их общую долговечность. Приближенные расчеты сил и моментов трения являются одним из факторов, ведущих к нарушению технологии полива.

Постоянное увеличение мощности машин, специфические условия эксплуатации, повышение допустимых показателей надежности и изно-

состоятельности требуют точных и обоснованных расчетов. Отсутствие точных коэффициентов трения и закономерностей их изменения значительно затрудняет проведение инженерных расчетов и тормозит внедрение в производство дождевальной техники с высокими технико-экономическими показателями.

Вопрос исследования и совершенствования уплотнений в дождевальной технике является актуальным и требует проведения НИР.

Л и т е р а т у р а

1. Г о л у б е в Г.А., К у к и н Г.М. Уплотнения вращающихся валов. М., "Наука", 1966.
2. Б а ш т а Т.М. Расчеты и конструкции самолетных гидравлических устройств, 1961.
3. К о н д а к о в Л.А. Уплотнения гидравлических систем. М., "Машиностроение", 1972.
4. К о с т е ц к и й В.И. Трение, смазка и износ в машинах. Киев, "Техника", 1970.
5. Л е б е д е в Б.М. Дождевальные машины. М., "Машиностроение", 1965.

Инж. Сирко В.Г.,
инж. Сандигурский Д.М.
(ВЭЗОТ),
инж. Ганиатов Г.И.
(ВНИИМИП)

ХРАНЕНИЕ И ПОДГОТОВКА РТУТНЫХ ТОКОСЪЕМНИКОВ К ИЗМЕРЕНИЯМ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ И ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН

В ходе проведения заводских, ведомственных испытаний насосных станций и других сельскохозяйственных машин возникает необходимость измерения величины крутящего момента, передаваемого вращающимися деталями.

Измерение деформаций на вращающихся деталях требует применения токосъемных устройств для передачи сигнала с подвижной детали на неподвижную аппаратуру.

При испытаниях сельскохозяйственных машин наибольшее распространение получили струнные и ртутные токосъемники.

Достоинством струнных токосъемников является невысокая стоимость и простота конструкции. Однако изменение сопротивления трущегося контакта, увеличивающегося с ростом окружных скоростей, исключает применение их при скоростях выше 2–2,5 м/с.

При окружных скоростях на контактных кольцах выше 3 м/с следует применять ртутные амальгамированные токосъемники [1].

Допустимое число оборотов таких токосъемников около 20000 об/мин при условии сохранения постоянства переходного сопротивления [2], поэтому ртутный токосъемник практически обеспечивает работу с любыми конструкциями сельскохозяйственных машин.

Сохранение постоянства переходного сопротивления между кольцами токосъемника зависит от качества покрытия ртутной амальгамой и количества ртути, находящейся в зазоре между кольцами.

Несмотря на широкое применение ртутных токосъемников в практике измерений, в литературе имеются разноречивые рекомендации о способах их хранения.

Например, специалисты центральной машиноиспытательной станции предлагают хранить ртутные токосъемники в разобранном состоянии. Но существует и другая рекомендация, согласно которой ртутные токосъемники должны храниться в плотно закрытых ящиках в ра-

бочем состоянии (токосъемники заполнены ртутью) [1]. При этом предлагается следующая методика ухода за ними в процессе хранения.

Периодически (через 6-10 дней) прокручивать вал токосъемника при 500 об/мин в течение 5 мин.

Такой метод хранения обладает существенными недостатками.

1. Теряется амальгама, что, в свою очередь, приводит к ухудшению переходного контакта между кольцами.

2. Необходима периодическая работа с ртутными токосъемниками. Пары ртути вредны для человека, поэтому даже при соблюдении мер предосторожности желательно избегать частого контакта с ртутными приборами.

В литературе имеются разноречивые сведения о способах хранения токосъемников и отсутствует методика подготовки их к измерениям. Поэтому даже квалифицированные испытатели не получают желаемого результата от их применения.

Для получения качественного контакта между кольцами необходимо проводить по строго определенной технологии процесс амальгирования и заполнения ртутью зазора между ними.

Лаборатория тензометрирования Волгоградского экспериментального завода оросительной техники (ВЭЗОТ) применяет такую методику подготовки ртутных токосъемников к измерениям, которая позволяет получить надежный контакт между кольцами, качественно проводить измерительные работы и получить достоверные данные.

Опыт работы показывает, что наиболее целесообразным является хранение токосъемников в разобранном состоянии, в специально оборудованной ртутной комнате или в вытяжном шкафу. С поверхностей колец предварительно должна быть снята ртуть с помощью ветоши, смоченной в авиационном бензине.

Учитывая вредное действие паров ртути на организм человека, исполнитель должен пройти инструктаж и соблюдать меры предосторожности при работе.

Процесс покрытия ртутной амальгамой поверхностей колец надо производить только в вытяжном шкафу, который желательно оборудовать следующим образом.

Нижняя часть передней стенки заменяется откидной крышкой, имеющей два отверстия, к которым плотно прикреплены нарукавники.

Верхняя часть передней стенки застеклена. Пол вытяжного шкафа - вогнутый, что обеспечивает сбор упавших капель ртути.

Внутри шкафа имеется деревянная полка, на которой выполняется работа и лежат необходимые инструменты. В остальном вытяжной шкаф должен соответствовать требованиям правил техники безопасности при работе с ртутью. Перед амальгамированием поверхности колец очищаются мелкой наждачной бумагой от окислов и грязи. После чего поверхность необходимо обезжирить чистым авиационным бензином.

Амальгамирование колец ротора производится на кусочке мягкого ворсистого войлока размерами 150x25x10 мм, поверхность которого слегка смачивается бензином и на смоченное место кладут несколько капель ртути.

Движения ротора относительно поверхности войлока показаны на рис. I а. Если поверхность колец была хорошо очищена от окислов и обезжирена, то процесс покрытия идет быстро и кольца покрываются ровным блестящим слоем. Необходимо добиться, чтобы все кольца были одинаково покрыты амальгамой.

Технология покрытия колец статора амальгамой аналогична. Только в данном случае в качестве приспособления применяется валик, обернутый войлоком (рис. I б).

Перед сборкой с поверхностей колец убираются капли ртути с помощью ватных тампонов, смоченных в бензине, чтобы избежать попадание ртути в пространство между смежными кольцами.

После сборки токосъемник необходимо проверить с помощью мегомметра на отсутствие замыкания между смежными кольцами. Если замыканий нет, то первый этап подготовки считается законченным.

Второй этап подготовки заключается в настройке токосъемника, т.е. в заполнении ртутью зазора между внутренними и наружными кольцами.

Заранее невозможно предсказать, какое количество ртути необходимо залить в каждое отверстие для получения стабильного переходного контакта. Количество ртути, находящейся в зазоре, зависит от точности изготовления внутренних и наружных колец и числа оборотов вращающегося вала в процессе испытаний.

Поэтому процесс настройки надо производить на специальном стенде, который позволяет в ходе настройки проверять постоянство переходного контакта при рабочих оборотах токосъемника. Для вращения токосъемников можно использовать настольный токарный станок или специальный стенд.

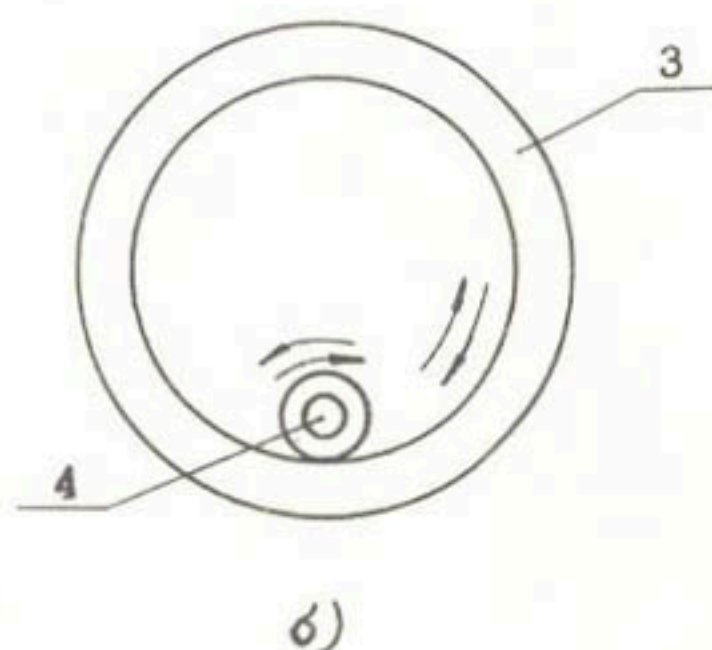
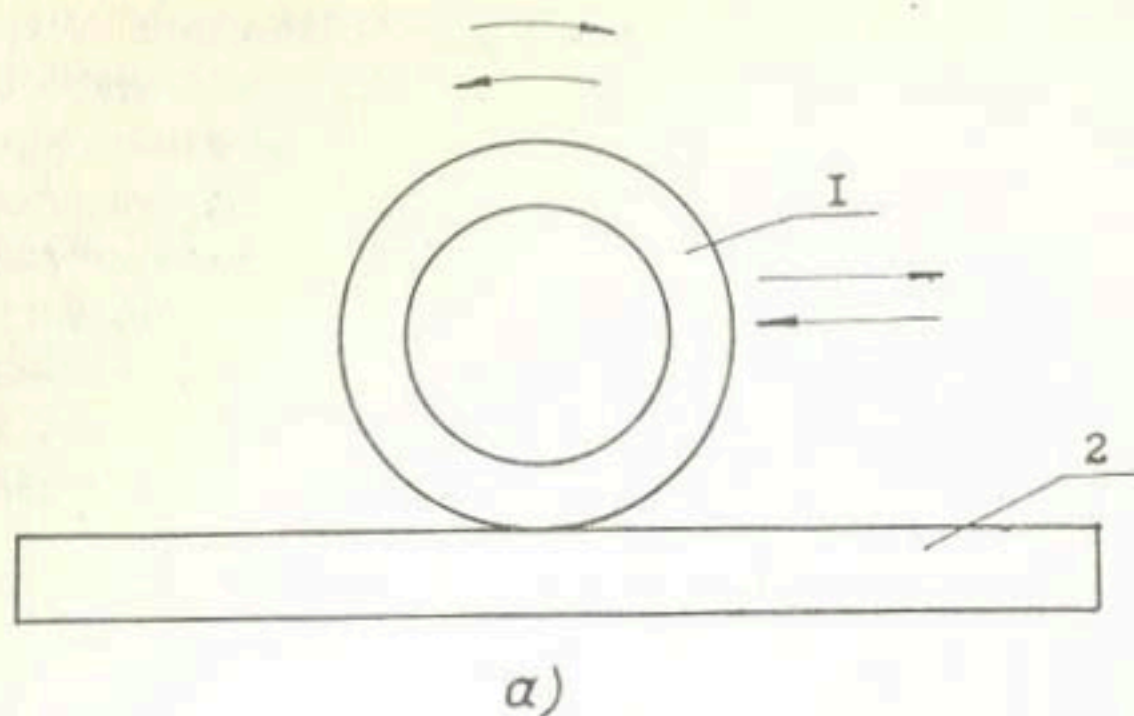


Рис. I. Технологическая схема амальгирования колец ртутных токосъемников: 1 - ротор; 2 - войлок; 3 - статор; 4 - деревянный валик, обернутый войлоком (стрелками указано направление движения узлов токосъемника относительно рабочего приспособления (войлока, валика))

Настройку начинают с первого кольца. Для этого проводник внутреннего кольца надежно соединяют с валом, на котором сидит сам токосъёмник. Клемму наружного кольца соединяют с миллиамперметром через источник питания (рис. 2 а). В качестве миллиамперметра можно использовать прибор Ц-315. После включения схемы стрелка прибо-

ра покажет разрыв цепи. В данном случае в доливное отверстие необходимо добавлять ртуть по одной капле, добиваясь отклонения стрелки. Заливку ртути в доливные отверстия токосъемников удобно производить с помощью небольшого медицинского шприца, который позволяет производить доливку небольшими дозами и исключает разбрызгивание ртутных капель. После чего включается двигатель и контролируется отклонение стрелки на рабочих оборотах токосъемника. При оптимальном количестве ртути в зазоре между кольцами стрелка прибора показывает одну и ту же величину и не совершает колебательных движений.

Если же при вращении токосъемника прибор меняет свои показания, то необходимо добавить ртуть и снова контролировать показания прибора на рабочих скоростях.

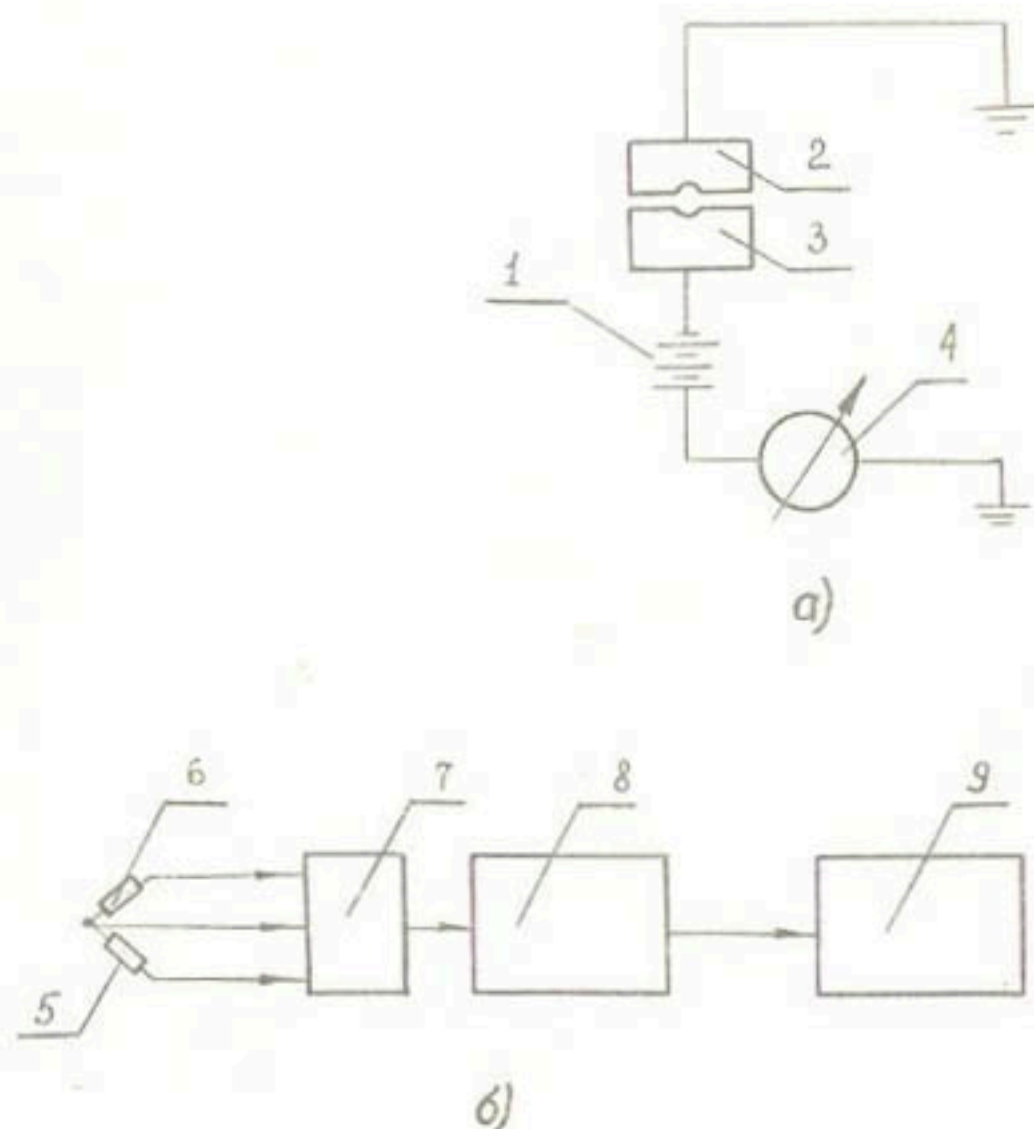


Рис.2. Схема настройки ртутных токосъемников:
 1 — источник питания; 2 — кольцо (внутреннее) ротора; 3 — кольцо статора; 4 — миллиамперметр; 5, 6 — тензодатчики; 7 — токосъемник; 8 — тензоусилитель; 9 — шлейфовый осциллограф

Таким способом настраиваются поочередно все кольца токосъемника. Окончательная настройка токосъемника проверяется (рис. 2 б) по отклонению "зайчика" гальванометра на экране шлейфового осциллографа.

Ротор или статор токосъемника вращается вместе с пластинкой, на которую наклеены тензодатчики, с заданной скоростью. При этом световой "зайчик" не должен совершать колебательных движений.

Предлагаемая методика применяется в ВЭЗ0Т для настройки ртутных токосъемников, которые используются при измерении деформаций вращающихся деталей (узлы насосных станций, дождевальных машин) в диапазоне скоростей 1000-3000 об/мин. При этом обеспечивается стабильность переходного сопротивления между кольцами токосъемника в течение периода испытаний (до 10 суток) и общая погрешность измерений не превышает 3% при условии тщательной подготовки к измерениям всего измерительного комплекса (наклейка датчиков, их тарировка, монтаж проводов, настройка тензоусилителя и осциллографа).

Продолжительный опыт работы с токосъемниками позволяет сделать следующие выводы.

1. Ртутно-амальгамированные токосъемники необходимо хранить в разобранном состоянии в вытяжном шкафу или в специальной ртутной комнате.

2. Настройка ртутных токосъемников на рабочей скорости вращения при помощи миллиамперметра и тензоаппаратуры позволяет обеспечить постоянство переходного сопротивления между кольцами в процессе измерений, что, в свою очередь, повышает надежность измерительного комплекса (системы) и качество измерений.

Л и т е р а т у р а

1. З е л ь ц е р м а н И.М. Методы электротензометрии при исследовании прочности сельскохозяйственных машин. М., 1963.

2. Ф р о л о в Л.Б. Измерение крутящего момента. "Энергия", 1967.

ДОЖДЕВАЛЬНАЯ МАШИНА "ВОЛЖАНКА" ПОВЫШЕННОЙ
ПРОХОДИМОСТИ

Колесные дождевальные трубопроводы "Волжанка" по своим технико-эксплуатационным показателям значительно превосходят передвижные дождевальные комплекты, которые довольно широко применяются в нашей стране. Простота конструкции, высокие эксплуатационные показатели и хорошее качество распределения дождя предопределили массовое внедрение дождевальной машины "Волжанка" в сельскохозяйственное производство.

Однако наряду с положительными качествами "Волжанка" обладает и некоторыми недостатками, которые являются основными причинами недоиспользования ее потенциальных возможностей. Одним из недостатков является несоответствие конструктивных параметров колес ведущей тележки почвенным условиям. Удельное давление на почву колес ведущей тележки в 2-3 раза (0,036-0,076) превышает удельное давление опорных (0,016-0,034). При поливе овощных, пропашных сельскохозяйственных культур и на почвах со слабой несущей способностью глубина колеи колес ведущей тележки достигает 15-19 см, а опорных не превышает 2-7 см. Это говорит о разной проходимости колес и недостаточной (низкой) проходимости машины в целом. Разная проходимость колес "Волжанки" является основной причиной искривления трубопровода в области ведущей тележки при переездах. В производственных условиях выравнивание трубопровода производится через 3-7 позиций в зависимости от агрофона, что приводит к снижению производительности труда и машины.

Для обеспечения равной проходимости опорных колес и колес ведущей тележки необходимо, чтобы удельное давление их на почву было одинаковым [1]. Исходя из условия создания равных удельных давлений под всеми колесами, ширина обода колес ведущей тележки должна быть увеличена до 28-35 см. При этом обеспечивается одинаковая проходимость всех колес и повышение проходимости машины в целом.

Конструктивные решения снижения удельного давления колес ведущей тележки на почву могут быть различными. Однако наиболее

приемлемым, с точки зрения изготовления, является установка на ведущую тележку 4-х опорных колес, удливив существующие валы тележки. При этом конструктивно изменяется только вал ведущей тележки, достигается полная взаимозаменяемость всех колес "Волжанки" и отпадает необходимость изготовления колес специально для ведущей тележки, которые по своей конструкции и технологии изготовления отличаются от опорных.

Ведущая тележка на 4-х колесах, в отличие от серийной, снабжена тормозами, которые обеспечивают надежное торможение "Волжанки" на стоянках в процессе ее эксплуатации. Наличие заградительного щита, установленного перед колесом тележки, исключает травмирование оператора колесом при переездах.

Разработанное конструктивное решение повышения проходимости "Волжанки" путем установки на ведущую тележку четырех опорных колес позволяет решить задачу снижения удельного давления колес тележки на почву и требует незначительных доработок.

В результате доработки масса "Волжанки" увеличивается всего на 1,85% (100 кг) при одновременном улучшении технико-эксплуатационных показателей машины.

Таким образом, дождевальная машина "Волжанка" повышенной проходимости от машины серийного производства конструктивно отличается только количеством колес, установленных на ведущей тележке (табл. I).

Таблица I

Технические данные ведущей тележки серийного производства и повышенной проходимости

Наименование показателей	Ведущая тележка	
	серийного производства	повышенной проходимости
Масса, кг	365	415
Длина валов ведущей тележки, мм	570	1070
Количество колес, шт.	2	4
Длина, мм	5950	5950
Высота, мм	1910	1910

"Волжанка" повышенной проходимости предназначена для полива низкостебельных сельскохозяйственных культур, лугов и культурных пастбищ. Применяется она во всех зонах орошаемого земледелия, где эффективно дождевание, в том числе на осушаемых землях.

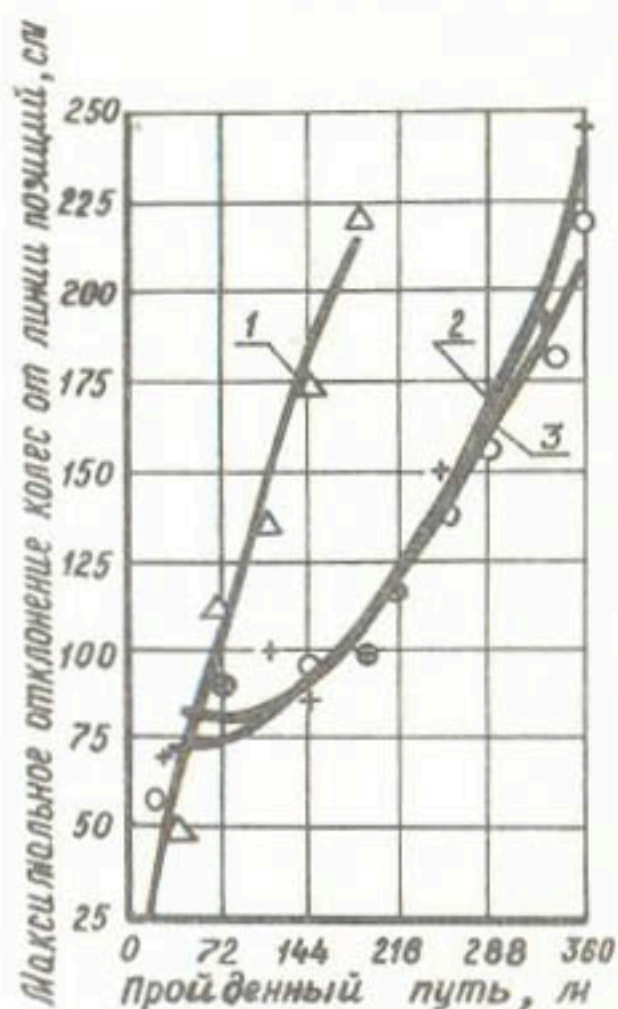
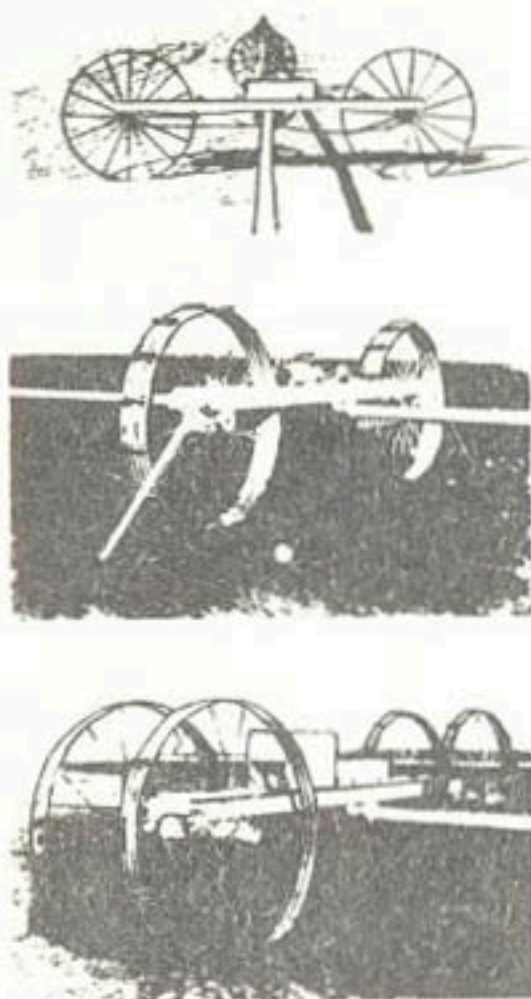


Рис. I. Искривление трубопровода "Волжанки" серийного производства и повышенной проходимости в зависимости от пройденного пути при влагозарядковом поливе (пахота, норма полива 600 м³/га): 1 - ведущая тележка серийного производства; 2 - ведущая тележка с уширенными ободами колес; 3 - ведущая тележка на 4-х колесах

Результаты исследований ВНИИМИТ и испытания Южно-Украинской МИС (протокол 33-42-76) показали, что повышение проходимости "Волжанки" позволяет увеличить периодичность выравнивания трубопровода более чем в 3 раза и довести ее на люцерне до 33 позиций, а на пахоте - до 18-20 позиций [2] (рис. I).

"Волжанка" повышенной проходимости по сравнению с машинами серийного производства имеет более высокие эксплуатационные показатели. Коэффициенты надежности технологического процесса, использования сменного, технологического и эксплуатационного времени повышаются на 2,5-3,5%. Производительность машины увеличивается в среднем на 3,6%, а затраты труда на полив снижаются на 3,1%.

Годовой экономический эффект повышения проходимости в расчете на одну машину составляет 345 рублей (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительная технико-эксплуатационная и экономическая
эффективность (по данным государственных испытаний Южно-
Украинской МИС)

Наименование показателей	"Волжанка"	
	повышенной проходимос- ти	серийная
Периодичность выравнивания трубопровода при поливе, поз.:		
люцерны	30-33	10-12
поля, подготовленного для посева	18-20	5-6
Коэффициент надежности технологического процесса	0,99	0,96
Коэффициент использования технологичес- кого времени	0,90	0,88
Коэффициент использования сменного времени	0,90	0,88
Коэффициент использования эксплуатацион- ного времени	0,90	0,87
Производительность за час, га:		
чистой работы	0,384	0,384
технологического времени	0,343	0,332
сменного времени	0,342	0,330
эксплуатационного времени	0,340	0,329
Повышение производительности труда, %	3,6	-
Снижение затрат труда, %	3,1	-
Годовой экономический эффект в расчете на одну машину, руб.	345	

Л и т е р а т у р а

1. Г а н и а т о в Г.И. Колееобразование и удельное давле-
ние ДМ "Волжанка" на почву.- В кн.: "Опыт творчества молодых уче-
ных и специалистов в ускорении темпов научно-технического прогрес-
са в сельскохозяйственном производстве". Л., 1973.

2. Г а н и а т о в Г.И. Повышение проходимости дождевальных
трубопроводов "Волжанка".- "Техника в сельском хозяйстве, 1976,
№ 7.

СОДЕРЖАНИЕ

И.Г. Алиев, А.А. Разумовский. Производительность и качество полива в зависимости от технологии нарезки борозд	3
М.П. Пензин, А.А. Терпигорев. К вопросу обоснования способа регулирования поливных струй при поливе по бороздам	9
В.Н. Остроушко. Техника регистрации микрорельефа поливных участков.	18
Б.М. Пищев, Ю.И. Буздин. К вопросу планировки полей при осушении торфяников.	29
П.И. Фроликов, М.И. Парфенова, А.П. Королева, В.С. Пономарева. Экономическая оценка эффективности техники поверхностного полива	34
Н.Б. Оленин, Н.С. Политова. Моделирование на ЭВМ элементов техники полива по бороздам	46
В.И. Городничев. Обоснование выбора параметров измерения и методика определения характеристик дождя	53
Н.В. Данильченко, И.Ф. Данильченко. О применимости дождевальных машин "Фрегат" на двух позициях в Поволжье	66
А.В. Угрюмов, В.Г. Луцкий, А.И. Рязанцев. Модернизированная дождевальная машина "Фрегат" для работы на участках со сложным рельефом.	74
И.В. Пак, В.Г. Брюквин, Р.А. Ишматова, А.С. Ким. Импульсное дождевание чайных плантаций на склоновых землях	84
В.М. Богатов. Исследования экспериментальной стационарной установки мелкодисперсного дождевания	94
Н.В. Данильченко, А.М. Шарко, В.Г. Быков, Т.Ю. Быкова. Особенности технологии и техники капельно-импульсного орошения яблоневого сада	101
Н.М. Шевцов, А.И. Караваев, Н.П. Сафонов. Применение тензиометров для автоматического регулирования водного режима почв	109

Г.П.Лямперт. Нахождение экономически наивыгоднейших диаметров водоводов	I16
Г.Е.Фомин, А.Н.Першин, А.А.Алдошкин. Исследования и испытания арматуры для защиты трубопроводов от гидравлического удара	I24
Н.И.Рычков, С.П.Ильин. Исследования всасывающей линии дождевателя короткоструйного ДНК-22	I36
С.П.Ильин, С.Б.Хроль, И.А.Бобров. Определение коэффициента гидравлических сопротивлений по длине мелиоративных труб с новыми видами покрытий	I44
Н.Г.Зубкова, В.Т.Колыханов. Гидравлические исследования унифицированного запорно-регулирующего устройства	I53
Л.К.Козлова. Состояние исследований уплотнений в дождевальной технике.	I62
В.Г.Сирко, Д.М.Сандигурский, Г.И.Ганиатов. Опыт применения ртутных токосъёмников при испытаниях насосных станций и дождевальных машин	I66
Г.И.Ганиатов. Дождевальная машина "Волжанка" повышенной проходимости	I72
Рефераты	I77