

ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

ВЫПУСК

7

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР

АКАДЕМИЯ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ И ГИДРОТЕХНИКИ

ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

ВЫПУСК 7

МЕХАНИЗАЦИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР
ТАШКЕНТ — 1962

В сборнике изложены научно-методические разработки по расчетам и конструкциям различных машин для очистки каналов, дается обзор механизированного строительства глубоких горизонтальных дрен в Голодной степи, рационального режима ленточных и шнуровых водоподъемников, всасывающих труб насосов, водомеров для измерения расходов воды на мелиоративных насосных станциях; освещаются вопросы назначения аппаратуры телеизмерения на оросительных системах.

Книга предназначена для научных работников, сотрудников проектных организаций, аспирантов, преподавателей и студентов вузов, специализирующихся в области гидротехники, механики и телемеханики.

Ответственный редактор
кандидат технических наук

З. Х. ХУСАН-ХОДЖАЕВ

Л. П. ЗАЙЦЕВ

КАНАЛООЧИСТИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОЧИСТКЕ ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННОЙ СЕТИ

Для поддержания каналов в работоспособном состоянии ежегодно проводятся работы по очистке их от наносов и растительности объемом (только по Узбекистану) свыше 40 млн. м³ в год.

Значительная часть этих работ механизирована и выполняется водохозяйственными организациями, располагающими большим парком экскаваторов, землеройно-транспортных машин и землесосных снарядов.

Механизированная очистка в целом производится на магистральных каналах, коллекторах и большей частью межхозяйственной ирригационной сети. На внутрихозяйственной же сети из-за отсутствия специальных машин очистка осуществляется вручную; только по Узбекистану объем такого рода работ достигает 20—25 млн. м³, на что затрачивается до 7 млн. чел.-дней.

Попытки использовать на этих работах землеройные машины общего назначения не привели к положительным результатам. Главные причины, препятствующие их внедрению, — несоответствие рабочего оборудования поперечному сечению каналов, малая производительность при низких удельных объемах работ (0,07—0,35 м³), отсутствие проезда для машин вдоль каналов и наличие древесных насаждений. В практике считают, что для работы одноковшовых экскаваторов минимальный объем выемки на 1 пог. м канала должен быть не менее 4—5 емкостей ковша.

Для использования экскаваторов на каналах с малым сечением и меньшими удельными объемами работ требуется высокая квалификация машиниста. Однако затраты дополнительного времени на наполнение ковша обуславливают увеличение продолжительности цикла и, следовательно, снижение производительности машин.

Вследствие изложенных причин выпускаемые отечественной промышленностью экскаваторы циклического действия на очистке мелкой сети не применяются.

Для строительства и очистки мелиоративных каналов завод «Красный экскаватор» выпускал специальный многоковшовый экскаватор поперечного копания ЭМ-161 (рис. 1). Он состоит из главной и вспомогательной гусениц, соединенных между собой телескопической трубчатой рамой, позволяющей изменять расстояние между гусеницами от 1,75 до 4,9 м.

Внутри труб рамы расположен телескопический вал, приводящий в движение вспомогательную гусеницу.

Основные механизмы и силовая установка смонтированы на раме, опирающейся на главную гусеницу. На раму установлена стойка, к которой подвешены ковшовая рама и транспортер. Планирующее звено поворачивается относительно ковшовой рамы на 150° .

Экскаватор может очищать каналы глубиной 0,65—1,5 м, шириной по верху 2,5—3,5 м, минимальной шириной по дну 0,5 м с откосами от 1:0,25 до 1:1.

Во время работы, при перемещении экскаватора вдоль канала, ковшами удаляются наносы со дна канала и планируется прилегаю-

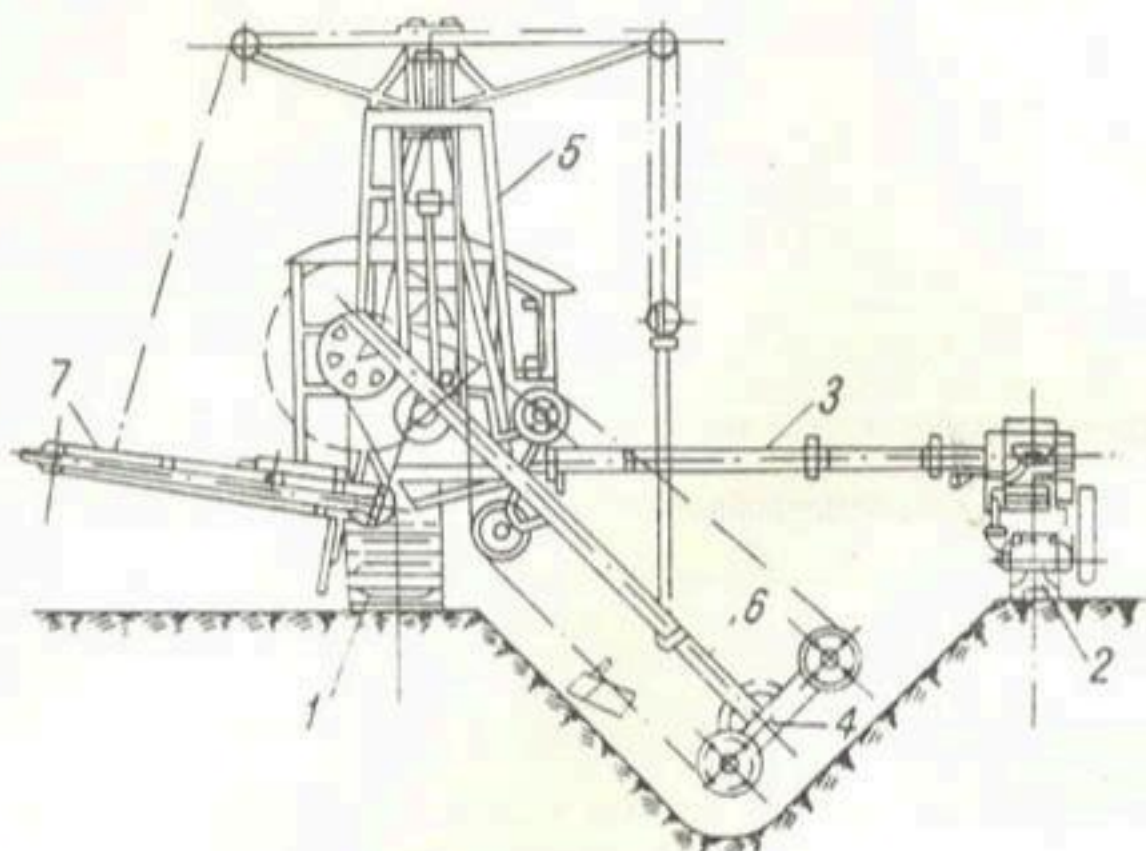


Рис. 1. Схема экскаватора ЭМ-161.

1 — главная гусеница, 2 — вспомогательная гусеница, 3 — трубчатая рама, 4 — планирующее звено, 5 — стойка, 6 — ковшовая рама, 7 — транспортер.

щий откос. Срезанный грунт выгружается на транспортер, который отбрасывает его в сторону от канала на расстояние до 3 м от оси машины.

Экскаватор ЭМ-161 может работать на каналах, не обсаженных деревьями или обсаженных с одной стороны. В последнем случае планируется один откос.

Невысокая проходимость машины, что является ее недостатком, требует предварительной подготовки пути вдоль каналов, где в вегетационный период отсутствует проезд.

Рабочее оборудование многоковшового экскаватора несовершенно и требует доработки. По данным проф. Е. Ф. Шешко [3], 40% мощности, подведенной к рабочему органу, затрачивается на трение ковшовой цепи о грунт, 10 — на подъем грунта и 50 — на резание. Из мощности, расходуемой на резание, не менее 20—30% идет на трение грунта о стенки ковша. Общий к. п. д. машины с учетом потерь мощности в передачах не превышает 0,3—0,4.

В. Н. Бердянский [2] установил, что на заполнение ковшей экскаватора ЭМ-161 затрачивается 30—60% общего расхода энергии на копание. Тем не менее, по принципу действия данный рабочий орган

наиболее полно удовлетворяет требованиям, предъявляемым к канало-очистительным машинам; он обеспечивает хорошее качество дна и откосов канала, не требующих последующей планировки.

В Европейской части Союза на очистке мелких каналов используют плужные канавокопатели в сцепе с двумя тракторами, идущими по разным сторонам канала. При передвижении канавокопателя грунт, подрезаемый лемехом, поднимается по отвалам и откладывается по бермам канала. Сильно переувлажненный грунт, имея малый угол естественного откоса, не поднимается по отвалу так, как это бывает в грунтах с естественной влажностью. В результате грунт скапливается перед корпусом, что связано с затратой большего тягового усилия.

Г. А. Жилина, проводившая исследование технологического процесса очистки каналов мелкой осушительной сети канавокопателем, отмечает, что размеры его рабочего органа должны соответствовать размерам канала. Если рабочий орган шире канала, он разрушает его откосы. На широких каналах подрезанный грунт проходит за рабочий орган через щели, образованные стенкой канала и отвалами канавокопателя.

В районах среднеазиатских республик на каналах внутрихозяйственной сети, проходящих в выемке, в полунасыпи-полувыемке и не обсаженных деревьями, можно применять также канавокопатели.

Использование канавокопателей на очистке каналов, проходящих в насыпи с небольшой шириной дамб по верху, нецелесообразно, так как возникающие боковые распирающие усилия разрушают сечение канала и в откосах появляются трещины.

Производительность агрегата при удовлетворительном качестве работ высокая и соответствует длине канала, пройденной тракторами С-100 или С-80 на первой передаче.

К сожалению, такого рода очистка возможна лишь на очень ограниченных участках канала: большие кавальеры и древесные насаждения по обеим сторонам канала, чрезмерная извилистость их в плане не позволяют производить очистку плужными канавокопателями.

В районах Европейской части Союза на очистке торфяных канав используется канавоочистительная прицепная шнеко-роторная машина КПШ [10]. Она работает в прицепе с трактором ДТ-54 или ДТ-55 и предназначена для очистки каналов (глубиной до 1,8 м) от наносов, ила, бузы, жидкой массы и торфяной крошки. Рабочий орган КПШ — шнек. В конце заборной части шнека шарнирно к его корпусу прикрепляется металлический щит, размеры которого соответствуют поперечному сечению очищаемых каналов.

Шнек однозаходный, с диаметром и шагом, равными 304 мм. Число оборотов шнека, поступательные скорости машины и окружные скорости ротора, предназначенные для выбрасывания массы, разрабатываемой шнеком, приводятся в табл. 1.

Рабочий орган располагается с правой стороны машины. Ориентировочная производительность машины за час чистой работы 100 м³. Дальность отбрасывания грунта из канала достигает 15 м. Вес машины 2250 кг, в том числе контргруза 450.

Выбрасывающее устройство представляет собой ротор диаметром 600 мм, состоящий из двух лопаток шириной 200 мм.

Машина очищает канал за один-три прохода, в зависимости от величины очищаемого слоя и глубины канала.

Данная машина не испытывалась в условиях Средней Азии, поэтому делать выводы о ее эффективности на очистке внутрихозяйст-

венных каналов преждевременно. Однако вследствие недостаточной маневренности канавоочиститель КПШ окажется мало приспособленным для работы на внутрихозяйственных каналах, хотя объектов для его использования гораздо больше, чем для канавокопателя, так как

Таблица 1

Передача трактора	Число оборотов шнека в 1 мин.	Поступательные скорости, км/час		Окружные скорости на конце лопатки ротора, м/сек
		с ходоуменьшителем	без ходоуменьшителя	
1	240	1,33	3,88	7,5
2	283	1,71	5,01	8,9
3	330	1,99	5,85	10,35
4	504	2,32	6,77	15,80
5	—	2,90	8,52	—

рабочий орган, расположенный сбоку машины, позволит применять ее на каналах с односторонней обсадкой.

Рабочий орган шнекового типа, как показали испытания каналоочистителя „Ритчер“, плохо работает в глинистых грунтах без воды. Величина удаляемого слоя наносов за один проход не превышает 4—5 см при полном использовании мощности двигателя (45 л.с.).

На каналах со слоем воды и на переувлажненных и илистых грунтах (когда прочность их невелика) шнековый рабочий орган более эффективен.

Свободная подвеска шнекового рабочего органа, как это выполнено у машины КПШ, не дает возможности очищать дно по всему сечению канала в плотных суглинистых грунтах, наиболее характерных для Средней Азии.

Следовательно, используемые в Европейской части Союза каналоочистители не могут с той же эффективностью работать на очистке внутрихозяйственных каналов в республиках Средней Азии в силу особых условий работ.

В связи с отсутствием достаточно эффективных машин для очистки мелких оросительных и осушительных каналов в некоторых научно-исследовательских учреждениях и конструкторских бюро созданы опытные экземпляры навесных машин с различными видами рабочего оборудования.

Украинский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации (УкрНИИГиМ) разработал каналоочиститель на тракторе ДТ-54 с роторным рабочим органом.

Навесное оборудование со стрелой и рабочим органом смонтированы сзади трактора. Привод рабочего органа осуществляется от вала отбора мощности трактора.

В рабочем положении ось ротора перпендикулярна плоскости откоса, прилегающего к трактору.

При очистке грунт лопатками ротора срезается с откоса и части дна канала, а затем центробежной силой отбрасывается на расстояние до 15 м.

По данным Д. С. Ласточкина [6], максимальная производительность каналоочистителя на очистке придорожного кювета достигла 125 м³. Быстро вращающийся ротор обеспечивал высокое качество работы, оставляя после себя чистыми откос и часть дна канала.

Положительное качество данного рабочего органа — высокая производительность при сравнительно несложной конструкции. Не вдаваясь в анализ устройства и работы каналоочистителя, отметим, что его рабочий орган в значительно большей степени приспособлен для очистки откосов. На каналах трапециевидального сечения с шириной по

дну 0,5 м, при толщине срезаемой стружки грунта даже в 10 см, потребовалось бы пять проходов по одному месту, что, несомненно, является большим недостатком каналоочистителя.

В 1957 г. на Среднеазиатской машиноиспытательной станции (САМИС) испытан шнековый каналоочиститель с центробежным разбрасывателем Д-342, изготовленный Минским заводом «Ударник».

Машина предназначена для очистки от наносов оросительных и дренажных каналов при наличии в них слоя воды до 150—200 мм.

Оборудование каналоочистителя смонтировано на тракторе ДТ-54 с ходоуменьшителем. Основные узлы машины (рис. 2) — рабочий

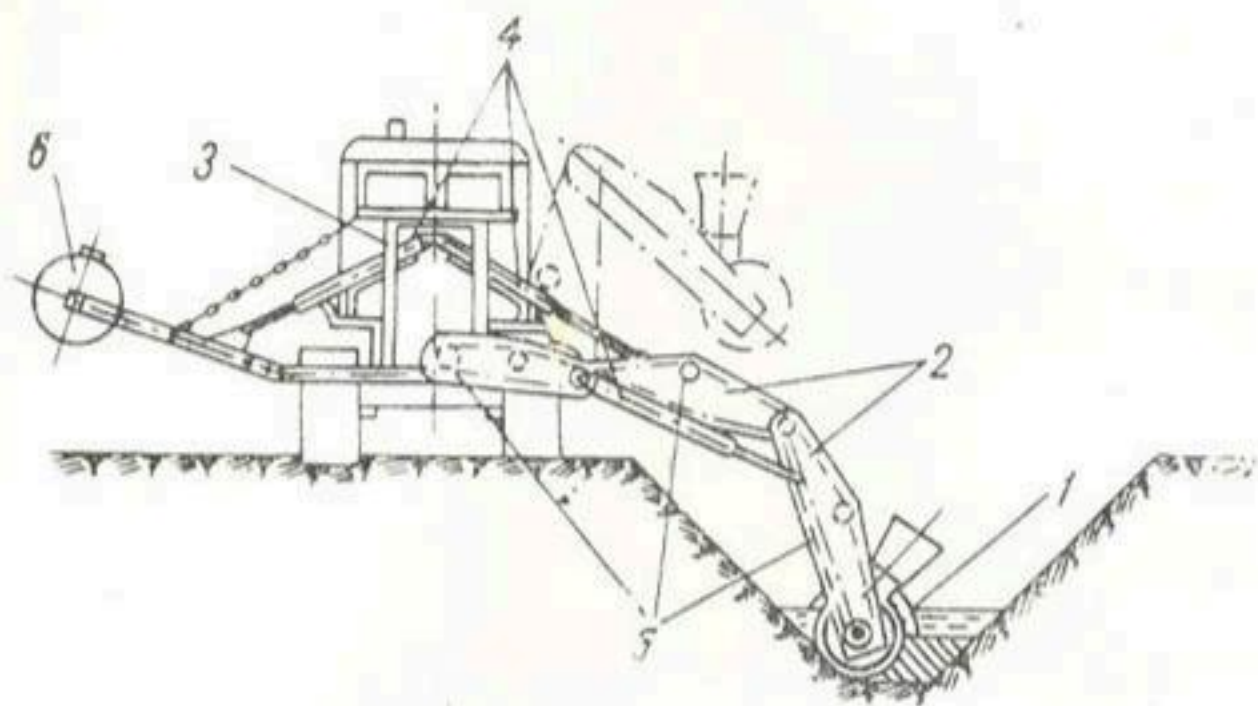


Рис. 2. Схема каналоочистителя Д-342.

1 — рабочий орган, 2 — подвеска рабочего органа, 3 — задняя стойка, 4 — гидравлическое оборудование, 5 — привод рабочего органа, 6 — противовес.

орган, подвеска рабочего органа, задняя стойка, гидравлическое оборудование, привод рабочего органа, противовес. Машина снабжена устройством для автоматической остановки трактора при перегрузках рабочего органа.

Принцип действия автоматического устройства основан на том, что при перегрузке рабочий орган вместе с рамой под действием реактивных сил, оказывающих лобовое сопротивление шнеку, перемещается назад и, действуя на передающий механизм, выключает подачу топлива двигателю.

Вращение рабочему органу передается от вала отбора мощности трактора через муфту предельного момента и цепную передачу, установленную в кожухе подвески. Подвеска, управляемая двумя гидроцилиндрами, позволяет производить необходимый вылет рабочего органа и удерживать его в требуемом положении.

Для уравнивания оборудования с противоположной стороны трактора на специальной раме подвешен противовес, управляемый гидроцилиндром.

Рабочий орган (рис. 3) состоит из одновиткового шнека и ротора-разбрасывателя, сидящих на одном валу и заключенных в корпус-улитку. Сверху шнек закрыт щитом. Ротор жестко закреплен на валу рабочего органа, а шнек посажен на него и свободно приводится в движение от ротора регулируемой конической фрикционной муфтой.

Перед началом работ каналоочиститель устанавливается сбоку канала; рабочий орган с вращающимся ротором опускается в канал.

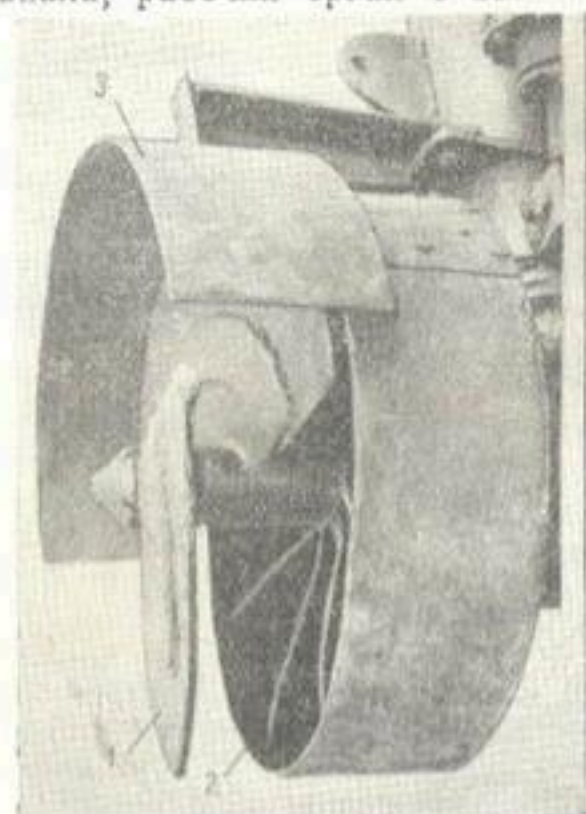


Рис. 3. Рабочий орган каналоочистителя Д-342.

1 — одновитковый шнек, 2 — ротор-разбрасыватель, 3 — щит.

Каналоочиститель при очистке движется со скоростью 0,53 — 0,93 км/час. Стружка наносного грунта подрезается режущей лобовой кромкой шнека и подается к ротору, который центробежной силой выбрасывает ее из „улитки“ на противоположную сторону канала на расстояние до 15 м. Толщина стружки, или величина продольной подачи на один оборот шнека, увеличивается с повышением скорости передвижения трактора. Заглубление и скорость передвижения машины устанавливаются в зависимости от вида и состояния наносов: на грунтах с малой механической прочностью они увеличиваются.

Показатели, характеризующие работу машины, получены при испытании ее на двух различных участках оросительного канала, залитого слоем воды до 30 см. На первом участке (длина 45 м) глубина

канала не превышала 1,2 м на втором (длина 40 м) — 0,7.

Каналоочиститель Д-342 очищал канал за четыре прохода: два — по дну канала и два — по откосам.

Техническая характеристика машины Д-342

Тип машины	Навесная
Тип трактора	ДТ-54 с ходоуменьшителем
Рабочий орган	Шнек диаметром 600 мм с центробежным разбрасывателем
Привод рабочего органа	От вала отбора мощности
Число оборотов рабочего органа	380 об/мин
Управление рабочим органом	Гидравлическое
Размеры очищаемых каналов:	
ширина по дну	0,4—1,6 м
глубина	0,5—1,5 м
заложение откосов	1:1
Толщина удаляемого слоя наносов и ила	0,1—0,6 м
Теоретическая производительность	150 м ³ /час
Рабочие скорости	0,53—0,93 км/час
Транспортная скорость	6,28 км/час
Тип гидронасоса	УГ-1
Удельное давление на грунт	0,56 кг/см ²
Дорожный просвет	282 мм
Габариты в транспортном положении:	
длина	4780 мм
ширина	2520 мм
высота	2830 мм
Обслуживающий персонал	1 тракторист

Производительность машины определялась по времени чистой работы.

Данные, полученные при испытании, сведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатель	Участок 1		Участок 2	
	до прохода	после 4 проходов	до прохода	после 4 проходов
Глубина стронительная, м	0,78	0,94	0,57	0,74
Ширина по верху, м	2,29	2,29	1,93	1,93
Ширина по дну, м	0,33	0,55	0,47	0,57
Площадь поперечного сечения вырезаемого грунта, м ²	—	0,20	—	0,20
Производительность, м ³ /час	—	26,3	—	27,6
Время чистой работы, мин.	—	20,50	—	17,42
Длина пути, м	—	180	—	160
Поступательная скорость, м/сек	—	0,147	—	0,153

Срезанный рабочим органом грунт в виде пульпы выбрасывался в сторону от канала до 15 м. При работе машины на каналах глубиной более 1 м вследствие малой высоты патрубка улитки и недостаточного угла ее поворота пульпа частично стекала в канал.

Представленная на испытание машина имела конструктивные недостатки как в передаточном механизме, так и в самом рабочем органе. Из всего учтенного времени, равного 220 час. 53 мин., общее время простоев из-за неполадок в машине составило 185 час. 46 мин., а чистой работы — 12 час. 22 мин.

Механизм автоматической остановки трактора не обеспечивал своевременного торможения каналаочистителя при встрече рабочего органа с препятствием или плотным грунтом. Под действием инерционных сил трактор продолжал двигаться в течение короткого промежутка времени в заданном направлении. В результате в рабочем органе и его раме появились остаточные деформации.

К недостаткам рабочего органа прежде всего следует отнести сам принцип отделения и подачи грунта на лопатку выбрасывателя. При вращении шнека лобовая режущая кромка витка, зарезаясь в толщу наносов, отделяет стружку определенной толщины, равной пути, пройденному трактором за время одного оборота рабочего органа. При средней поступательной скорости трактора 0,7 км/час и скорости вращения шнека 380 об/мин толщина срезаемой стружки равна приблизительно 3 см.

Во время работы, при отсутствии проскальзывания в конической муфте (нормальный режим работы), шнек и ротор выбрасывателя, посаженные на одном валу, вращаются с одинаковой скоростью. Таким образом, стружка грунта, перемещаемая благодаря повороту шнека, постоянно поступает на одну и ту же лопатку, которая и выбрасывает ее из улитки. Все же остальные лопатки в работе почти не участвуют.

Вторым недостатком рабочего органа является то, что срезанная стружка грунта до поступления на лопатку ротора перемещается по всей поверхности витка, преодолевая сопротивления от трения грунта по стали и грунту.

Поступление стружки грунта на поверхность лопатки ротора, расположенной под углом 105° к плоскости витка, сопровождается, как известно из теории резания грунтов [5], большой деформацией стружки, а следовательно, и затратой значительного количества энергии, что также является недостатком рабочего органа.

В том же 1957 г. на Западной машиноиспытательной станции (БССР) испытывался второй экземпляр машины Д-342. Как следует из отчета Западной МИС, каналочиститель Д-342 работал удовлетворительно на очистке осушительных каналов в торфяных грунтах. Наиболее эффективно производилась очистка от наносов небольшой плотности, покрытых слоем воды до 30 см: образовавшаяся пульпа легко выбрасывалась через улитку на 8—12 м.

Переувлажненные наносы без воды выбрасывались из улитки отдельными порциями, что объясняется неравномерной загрузкой лопаток ротора.

При испытании машины на канале, проходящем в минеральном грунте, сопротивление копанью заметно возрастало. Перед рабочим органом скапливалась масса наносов в виде призмы волочения, что происходило, очевидно, из-за пробуксовки конической муфты. Уменьшение оборотов шнека приводило к несоответствию его поступательной и окружной скоростей и образованию призмы волочения.

Результаты испытания каналочистителя Д-342 в двух различных районах (УзССР и БССР) и краткий анализ действия рабочего органа показывают, что данный рабочий орган для очистки оросительных каналов в условиях Средней Азии не пригоден. Его эффективность повышается лишь при удалении наносов из-под воды и с незначительной прочностью.

Позже Белорусским научно-исследовательским институтом механизации и электрификации сельского хозяйства создан каналочиститель КОМ-1, навешенный на трактор ДТ-54А. В отличие от Д-342 рабочий орган приводится от вала отбора мощности трактора с помощью валов и конических редукторов, заключенных в кожухи. Благодаря измененной подвеске рабочего органа вес каналочистителя по сравнению с машиной Д-342 уменьшен. По принципу работы и процессу очистки данный каналочиститель аналогичен машине Д-342.

Тот же институт создал машины на тракторах ДТ-55 и С-80Б с более совершенным рабочим органом. В отличие от КОМ-1 грунт разрабатывался лопатками разбрасывателя, имеющими изогнутый поперечный профиль с режущей кромкой. Ввиду отсутствия шнека в данном рабочем органе сопротивление от преодоления сил трения значительно уменьшено. Плавное перемещение срезанного грунта по вогнутой поверхности лопатки обеспечивает меньшую деформацию стружки и, соответственно, меньшую энергоемкость копания.

В 1960 г. в САМИС при нашем участии испытана каналочистительная машина Д-342А завода «Ударник» [4].

Техническая характеристика каналочистителя Д-342А

Тип машины	Навесная
Тип трактора	ДТ-54А с ходоуменьшителем
Типы сменных рабочих органов	4-лопастный ротор диаметром 500 мм Скребковый из 15 скребков с шагом 297 мм
Привод рабочего органа	Механический, от вала отбора мощности

Число оборотов рабочего органа	
роторного	394 об/мин
скребкового (по ведущей звездочке)	234 об/мин
Ширина скребка	240 мм
Высота скребка (от цепи)	130 мм
Управление рабочим органом	Гидравлическое
Размеры очищаемых каналов:	
ширина по дну	0,2—1,0 м
глубина	0,5—1,5 м
заложение откосов	1:1
Техническая производительность	38 м ³ /час
Рабочие скорости	0,53—0,93 км/час
Габариты в транспортном положении	
длина	4075 мм
ширина	2785 мм
высота	3120 мм
Вес навесного оборудования с роторным рабочим органом	1320 кг
со скребковым рабочим органом	1500 кг
Обслуживающий персонал	1 тракторист
Условие очистки	Необходимо наличие в канале слоя воды от 150 до 250 мм

Каналоочиститель представляет собой навесное оборудование (с двумя сменными рабочими органами), смонтированное на тракторе ДТ-54А с ходоуменьшителем (рис. 4).

Основные узлы: рама, сменные рабочие органы (роторный и скребковый) и передаточный механизм, передающий крутящий момент от



Рис. 4. Каналоочиститель Д-342А с роторным рабочим органом.

вала отбора мощности трактора к рабочему органу. Передний конец П-образной рамы шарнирно крепится к передней балке трактора, задний — к корпусу конического редуктора, воспринимающего вращение вала отбора мощности через предохранительную муфту предельного момента.

Внутри рамы располагаются валы и конические редукторы передаточного механизма. К средней части ее шарнирно крепится скребковый рабочий орган или кожух вала роторного рабочего органа. Поворот П-образной рамы относительно продольной оси трактора осуществляется двумя гидроцилиндрами, действующими от одного рычага гидрораспределителя. Вынос рабочего органа относительно горизонтальной части П-образной рамы производится третьим гидроцилиндром, управляемым рычагом гидрораспределителя.

Роторный рабочий орган, предназначенный для очистки дна каналов, выполнен, как у усовершенствованной машины БНИИМЭСХ, и представляет собой диск (диаметр 500 мм), заключенный в улиткообразный кожух, открытый спереди (рис. 5). К передней стороне диска (под углом 45°) приварены 4 плоские лопатки со съемными ножами.

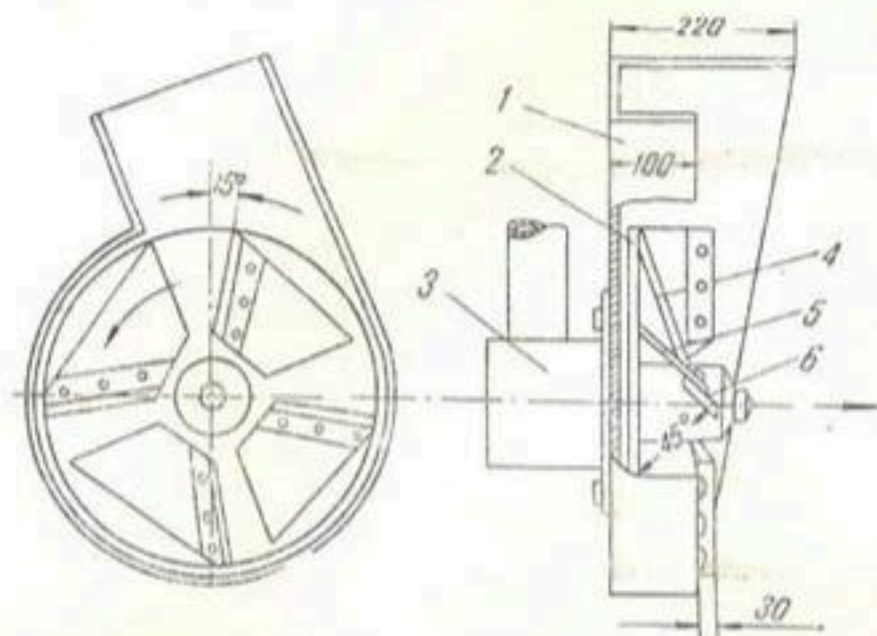


Рис. 5. Рабочий орган ротационного типа.

1— кожух ротора, 2— диск ротора, 3— корпус конического редуктора,
4— упор лопатки, 5— лопатка, 6— нож.

ми. Ножи лопаток закреплены не радиально, а с отклонением на 15° в сторону, обратную направлению вращения ротора, что дает возможность производить резание со скольжением и затрачивать меньшее количество энергии. Ширина улиткообразного кожуха неодинакова. С правой стороны (по ходу машины) она минимальная и составляет 100 мм. Затем, огибая ротор снизу, в направлении к левой стороне, и поднимаясь вверх, кожух расширяется до 220 мм. Таким образом, лопатки в правой части рабочего органа выступают вперед за стенку кожуха на 30 мм, а в левой — не доходят до ее края. Вследствие этого грунт лопатками срезается лишь в правой части ротора, т. е. со стороны противоположного откоса канала, а при подходе к прилегающему откосу его подрезает стенка кожуха.

Скребковый рабочий орган — это бесконечная втулочно-роликовая цепь с шагом 49,5 мм, огибающая ведущую и ведомую звездочки. К наружной стороне цепи прикреплены 15 плоских скребков, усиленных с тыльной стороны ребрами жесткости. Расстояние между скребками 297 мм. Для предварительного рыхления грунта к переднему краю скребка приварены зубья треугольной формы. Натяжение цепи регулируется винтовым механизмом, благодаря чему происходит перемещение ведомой звездочки по направляющим пазам рамы рабочего органа. Расстояние между осями звездочек 1960 мм.

Каналоочиститель Д-342А проходил испытания на опытных полях Среднеазиатской машиноиспытательной станции в период очистных работ, с февраля по апрель.

В марте, из-за отсутствия каналов, заполненных водой, каналоочиститель с роторным рабочим органом испытывался на заиленном внутрихозяйственном канале с шириной по дну 0,5—0,7 м, по верху 0,7—1,0 и глубиной 0,5—0,7 м. Местами дно покрывала вода слоем 5—7 см. Откосы были заросшими травянистой растительностью высотой до 30—40 см, оставшейся от предыдущего года. Влажность грунта находилась в пределах 25—30%.

На участках каналов, покрытых водой, наносы свободно срезались лопатками рабочего органа и выбрасывались на расстояние до 15 м, покрывая всю прилегающую к каналу часть поля почти равномерным слоем. При этом кожух не забивался: вода в канале как бы увеличивала подвижность массы и тем самым способствовала равномерному поступлению на лопатки ротора и выбросу ее из кожуха.

Совершенно по-иному происходила очистка без воды, хотя грунт по влажности внешне не отличался от грунта участка, покрытого водой. По мере продвижения каналоочистителя вдоль канала перед вращающимся ротором образовывалась призма волочения, которая почти закрывала рабочий орган. Грунт лопатками ротора срезался недостаточно, но, тем не менее, ротор испытывал большое сопротивление скопившейся массы, в результате чего рабочий орган останавливался и тракторист вынужден был приподнимать его.

Одна из причин скопления переувлажненного грунта в виде призмы волочения — отсутствие необходимого заднего угла резания у ножа лопатки, вследствие чего при незначительной продольной подаче рабочего органа (5,2 мм) за период поворота одной лопатки масса частично отодвигается и заворачивается. При работе в канале с водой происходит подсасывание воды и увлечение ею грунта. В этом случае грунт в виде призмы волочения скапливается в меньшей степени и масса, подрезанная лопатками, выбрасывается из канала.

Как было отмечено выше, с помощью роторного рабочего органа в основном удалялся слой наносов со дна канала; причем из-за плохой видимости трактористу не всегда удавалось располагать рабочий орган по оси канала, и поэтому подрезался тот или иной откос. Профиль канала нарушался еще и потому, что на рабочем органе отсутствовал копирующий механизм. Неровности рельефа трассы, по которой передвигались гусеницы трактора, передавались в увеличенном масштабе рабочему органу, вследствие чего ротор иногда чрезмерно заглублялся в толщу наносов, что приводило к остановкам его во время движения трактора. Во избежание поломок тракторист вынужден был выглублять рабочий орган и останавливать машину. Регулирование заглубления рабочего органа с помощью рычагов гидрораспределения при переменном рельефе трассы очень затруднительно. Частые переключения рычагов гидроуправления не приводили к должному результату в поддержании нужного профиля канала.

Окончательная очистка канала и придание ему соответствующего профиля выполнялись скребковым рабочим органом.

Очистка скребковым органом в принципе мало отличается от работы многоковшового экскаватора поперечного копания; разница заключается лишь в том, что грунт подрезается скребками с большей скоростью, а выбрасывается под действием центробежных сил в месте огнивания цепи ведущей звездочки, расположенной в верхней части рабочего органа.

Толщина срезаемой стружки грунта, определяемая из соотношения скоростей движения скребков, при работе на первой передаче составляла 7,5 мм, на второй — 9; на канале с водой очистка производилась в большинстве случаев на второй передаче.

При работе каналоочистителя грунт срезается в основном передним боковым краем скребка. Толщина стружки, сформировавшейся на скребке, в конце пути резания достигала 25—30 мм, что указывает на большую деформацию ее. Средняя длина пути резания не превышала 1 м.

В зависимости от степени влажности грунта изменялся и характер очистки канала. При меньшей влажности срезаемая стружка полностью формировалась на скребке и целиком выбрасывалась из канала. При повышенной влажности (25—30%) часть ее под действием подпирющих сил со стороны «забоя» выходила за задний боковой край скребка, преждевременно отделялась от него и засоряла прилегающий откос канала.

Очистка без воды сопровождалась большим шумом и вибрацией всего рабочего органа, плохим зарезанием скребков. Разрабатываемый грунт выбрасывался из канала сильно измельченным, что указывало на большую энергоемкость копания.

Как показали испытания, применение каналоочистителя Д-342А с двумя рабочими органами на очистке каналов глубиной до 1 м дает удовлетворительные результаты.

Один из наиболее существенных недостатков машины — резкое снижение производительности при работе на каналах с влажными наносами, каких в районах орошаемого земледелия в осенне-зимний период большинство.

За рубежом мелиоративные машины выпускаются большим числом предприятий; только в Англии их изготовляют более 30 фирм [7, 8].

Ниже приводится классификация и краткое описание некоторых машин, предназначенных для очистки каналов, по поперечным сечениям равнозначных внутрихозяйственным каналам Средней Азии.

Все машины, применяемые для очистки оросительной и дренажной сети, по характеру рабочего процесса можно разделить на две группы:

1) машины циклического действия: экскаваторы с оборудованием грейфера или драглайна; машины с навесным одноковшовым оборудованием на тракторе; прицепные одноковшовые оборудования с приводом от трактора;

2) машины непрерывного действия. Они могут быть или со скребковым, или со шнековым, или же с дисковым рабочим органом.

МАШИНЫ ЦИКЛИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Машины циклического действия со сменным оборудованием драглайна, грейфера и обратной лопатки применяются на мелиоративных работах почти во всех зарубежных странах, причем указанные типы рабочего оборудования принято использовать на вполне определенных видах работ. Так, ковш драглайна используется главным образом для строительства мелиоративной сети с глубиной более 1,5 м, а применение его на очистке с объемом работ менее 1 м³ на 1 лог. м. считается нецелесообразным вследствие нарушения откосов, малой производительности и высокой стоимости работ. Грейферными ковшами очищаются каналы с шириной по дну свыше 0,7 м. Машины с оборудованием обратной лопаты работают как на строительстве, так и на

очистке сети. Считается, что навесное оборудование должно обеспечивать следующие размеры разрабатываемых каналов: глубина не менее 1 м, ширина по верху 1,5, по дну 0,4.

Все типы навесного рабочего оборудования монтируются, как правило, на тракторы с пневматическими колесами, обладающие достаточной проходимостью и маневренностью. Кроме тракторного навесного оборудования, на очистке мелких каналов широко используются универсальные экскаваторы со специальным оборудованием для очистных работ. Например, экскаватор, выпускаемый фирмой «Пристмен» (Англия), снабжается оборудованием драглайна, прямой и обратной лопатами, грейфером, стругом и краном.

Для очистки малых каналов на поворотной платформе экскаватора устанавливается вторая стрела. Между специальными головными блоками этих стрел запасовывается трос, на котором закрепляется

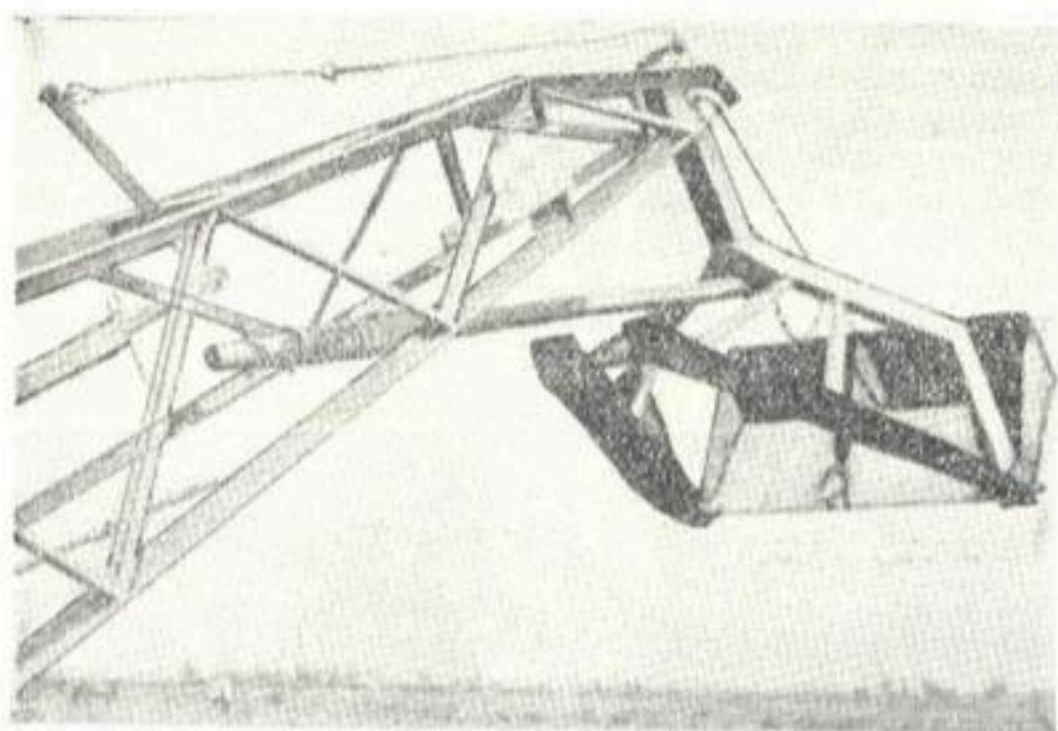


Рис. 6. Каналоочиститель «Бекфаб».

профильный ковш емкостью 0,2—0,25 м³. Во время работы он с помощью тягового троса перемещается по дну канала и заполняется грунтом. Заполненный ковш поднимается и опоражнивается при повороте экскаватора.

В момент работы ковша трактор стоит и вся мощность двигателя используется на копание. После очистки участка канала трактор передвигается.

В Англии фирма «Бекфаб» выпускает различное оборудование, навешиваемое на тракторы. Изображенное на рис. 6 оборудование состоит из стрелы с поворачивающимся ковшом, снабженным лыжами, которые предохраняют его от врезания в откосы каналов.

Трактор устанавливается под прямым углом к оси канала, а ковш с помощью стрелы опускается на противоположный откос. Ковш, поворачиваясь при одновременном перемещении трактора вперед, заполняется, после чего на лыжах поднимается по откосу и при подъеме стрелы разгружается на берме канала. После этого трактор передвигается вдоль канала на новый участок и операции очистки повторяются.

Все оборудование управляется с помощью гидромеханизма.

Аналогичное навесное оборудование типа «Юник» [1] испытывалось Среднеазиатским институтом механизации и электрификации сельского хозяйства в 1960 г. в колхозе им. Кирова Янгиюльского района Ташкентской области.

Каналоочиститель работал в агрегате с трактором ДТ-20.

Техническая характеристика каналоочистителя «Юник»

Длина стрелы	3050 мм
Ширина захвата ковша	1200 мм
Емкость ковша	0,1 м ³
Вес ковша	30 кг
Средняя продолжительность цикла	48 сек.

Испытания показали, что максимальную производительность каналоочиститель дает при очистке каналов с водой или непосредственно после прекращения подачи воды; хуже поддаются очистке подсушенные каналы и совершенно не поддаются — сухие. На канале, заполненном водой и свободном от древесной растительности, средняя эксплуатационная производительность за смену (8 час.) составила 41,2 м³ при коэффициенте заполнения ковша 0,75.

Главной причиной низкой производительности является то, что каналоочиститель работает периодически. Кроме того, выгрузка переувлажненных наносов непосредственно перед трактором в дальнейшем уменьшает его маневренность. В результате увеличивается продолжительность цикла работы каналоочистителя.



Рис. 7. Каналоочиститель с двухстворчатым ковшом во время работы.

Другая разновидность каналоочистителя, выпускаемого также в Англии, — навесное оборудование «Дункан» к колесному трактору. Нависающая над трактором стрела одним концом шарнирно крепится в задней части машины. В средней части она поддерживается гидравлическими подъемниками.

На переднем конце стрелы шарнирно крепится рукоять с рабочим органом, который состоит из ковша емкостью 0,2 м³ с разгружаю-

щей заслонкой и упорной плитой. Ковш и упорная плита с помощью рычагов и тяг подвешиваются к горизонтальному брусу, который под прямым углом укреплен на рукояти.

Перед началом работы трактор устанавливается под прямым углом к оси канала, а рабочее оборудование опускается на дно его. С помощью гидромеханизма и системы рычагов ковш перемещается к плите по дну вдоль канала, срезая при этом слой наносов.

Разгружающая заслонка при заполнении отходит к задней стенке ковша. По мере заполнения ковш подходит к упорной плите, которая закрывает его. Заполненный таким образом, он поднимается и вместе с трактором отходит назад для выгрузки, которая производится благодаря обратному ходу ковша и выдвижению разгружающей заслонки.

Для очистки следующего участка канала трактор перемещается. Каналоочиститель «Дункан» может работать на каналах с илистыми наносами, покрытыми водой.

В данном рабочем органе подпорная плита препятствует растеканию наносов и способствует лучшему заполнению ковша, что повышает производительность машины.

Наряду с оборудованием, навешиваемым на тракторы, в зарубежной практике на очистке каналов применяется аналогичное оборудование, смонтированное на одно- и двухосных прицепах. Один из таких каналоочистителей изображен на рис. 7. Рабочий орган выполнен по типу двухстворчатого профильного ковша с гидроуправлением. Грунт выгружается на противоположную сторону канала.

Прицепные машины отличаются малой маневренностью, в результате производительность их значительно меньше навесных.

МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

В Англии широко применяется машина типа «Линколь» [12]. По принципу действия она сходна с многоковшовым экскаватором поперечного копания. Рабочим органом этой машины служит цепь со скребками или ковшами, выбрасывающими наносы на бровку канала (рис. 8).

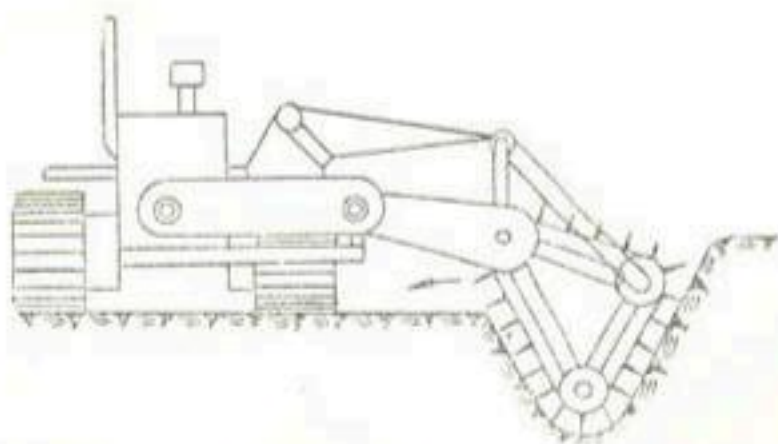


Рис. 8. Схема каналоочистителя «Линколь».

В отличие от рабочего органа многоковшового экскаватора скребковый орган каналоочистителя «Линколь» очищает одновременно все сечение канала; в этом состоит его преимущество.

По необходимости скребковая рама регулируется на различное сечение канала с шириной по дну 0,7—1,4 м, глубиной до 0,9 м и заложением откосов 1:1.

В 1957 г. один экземпляр каналоочистителя «Линколь» испытывался в Западной МИС (БССР) на осушительных каналах (с водой и без нее), проложенных в минеральных и торфяных грунтах.

Наиболее производительно каналоочиститель работал на каналах с увлажненными откосами, но без воды. По данным отчета МИС, при испытании на минеральных грунтах производительность его за час чистой работы составила 70 м³.

Основная масса грунта, выбрасываемая скребковым органом, откладывалась между бровкой канала и гусеницей трактора. Часть грунта, не успевшая сойти с лопаток в месте перегиба у верхней звездочки, перебрасывалась снова в русло канала и засоряла его.

На очистке канала с водой производительность машины резко падала. Срезаемая стружка грунта с противоположного откоса и дна канала за счет большой скорости движения скребка смывалась водой, и лишь при срезании грунта с прилегающего откоса она целиком выбрасывалась на берму канала.

Эффективность каналоочистителя падала и при очистке сухих каналов, где наносный грунт с меньшим содержанием влаги оказывал значительно большее сопротивление резанию.

Недостатки каналоочистителя «Линколь» со скребковым рабочим органом следующие:

1) большая энергоемкость отделения стружки грунта, так как оно совершается почти под прямым углом резания;

2) незначительное от-

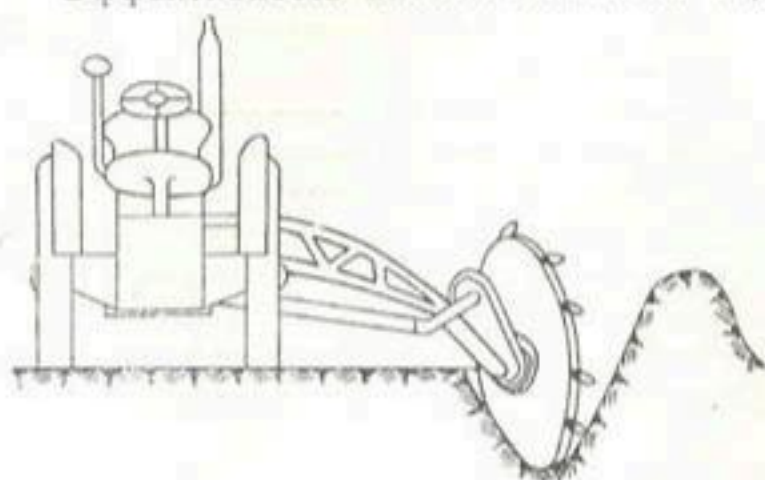


Рис. 9. Схема каналоочистителя Британского института сельскохозяйственной механики.

брасывание грунта от канала, что в последующем затрудняет повторный проход каналоочистителя.

Другой тип каналоочистителя непрерывного действия — машина с дисковым рабочим органом, разработанная Британским институтом сельскохозяйственной механики [9]. Общий вид ее представлен на рис. 9. Навесное оборудование, состоящее из рабочего органа, фермы и гидромотора, укрепляется сбоку трактора.

Рабочий орган — слегка вогнутый диск. По окружности диска почти под прямым углом к его поверхности расположены ножи, которые режут грунт. Подрезанный грунт выбрасывается радиальными лопатками, установленными на поверхности диска между ножами.

Во время работы диск располагается под углом к продольной оси канала. При вращении диска подрезаемый грунт выбрасывается лопатками в сторону от канала.

Машина может очищать каналы глубиной до 0,9 м. Производительность ее на каналах с шириной по дну до 0,4 м достигает 1,6 км/час.

Широкое распространение на очистке каналов получили шнековые машины, выпускаемые в ФРГ.

По расположению рабочего органа в канале их можно классифицировать на следующие типы: а) машины с наклонным шнеком, б) с горизонтальным и в) с наклонным качающимся.

К первому типу относится каналоочиститель «Ритчер» (рис. 10).

Каналоочиститель представляет собой навесное оборудование к трактору с колесно-гусеничным оборудованием мощностью 45 л. с.

Рабочий орган — шнек диаметром 300 мм и длиной около 2000 мм. Шаг винта 130 мм. Шнек, частично заключенный в кожух, подвешен сбоку трактора и изменяет свое положение с помощью ручной лебедки, которая установлена на специальной площадке с противоположной стороны трактора.

В конце закрытой части шнека, у шарнира подвесного механизма, смонтирован лопастной разбрасыватель с направляющей «улиткой».



Рис. 10. Каналоочиститель «Ритчер».

Во время работы шнек располагается перпендикулярно к продольной оси канала и лежит в плоскости одного из его откосов.

В транспортном положении шнек устанавливается вдоль трактора на специальные кронштейны.

Привод шнека осуществляется от вала отбора мощности трактора через предохранительную муфту и конический редуктор, установленные у заднего моста трактора, и вала, заключенного в кожухе.

Крутящий момент от вала к шнеку, находящемуся под различным углом, передается открытой зубчатой конической парой.

При передвижении машины вдоль канала открытая часть вращающегося шнека срезает слой грунта и винтовой поверхностью подает его к лопастному центробежному разбрасывателю. Разбрасыватель откидывает массу грунта на расстояние до 15 м от канала.

В 1957 г. Среднеазиатский машиноиспытательной станцией при нашем участии испытывался каналоочиститель «Ритчер» на очистке каналов внутрихозяйственной сети в совхозе «Пятилетие Узбекистана» Ташкентской области.

Предварительно проводились лабораторно-полевые испытания на канале с двумя различными участками, залитыми слоем воды до 30 см. Каналоочиститель делал по два прохода с каждой стороны канала. Полученные данные приведены в табл. 3.

Плотность дна канала на первом участке меньше, чем на втором, что и отразилось на производительности машины. Хозяйственные испытания, проведенные на очистке дренажных каналов глубиной до 1,3 м с шириной по дну 0,4—0,7 м и по верху до 2 м, показали удовлетворительные результаты лишь после 3—4-кратного прохода по одному месту. При этом полностью удалена растительность (камыш) высотой около 2 м, а также достаточно хорошо спланированы откосы. Дно же углублялось всего на 25 см.

На оросительных каналах, заполненных водой, каналочиститель показал отрицательные результаты. Его рабочий орган, из-за выступающего корпуса нижнего концевой подшипника, не углублялся в плотное дно, в результате на берму подавалась почти чистая вода.

Таблица 3

Показатель	Участок 1		Участок 2	
	до прохода	после 4 проходов	до прохода	после 4 проходов
Глубина канала, м	1,13	1,16	0,62	0,74
Ширина канала по верху, м	2,56	2,62	1,97	2,11
Ширина канала по низу, м	0,30	0,57	0,47	0,63
Площадь поперечного сечения вырезанного грунта, м ²	—	0,30	—	0,19
Производительность, м ³ /час	—	53,0	—	30,2
Время чистой работы, мин.	—	15,33	—	15,06
Поступательная скорость, м/сек	—	0,196	—	0,177
Длина участка, м	—	45	—	40

Сухие каналы каналочиститель не очищал ввиду полной непригодности для этих работ.

Ко второму типу шнековых машин с горизонтально расположенным рабочим органом (рис. 11) относится каналочиститель «Вульф» [11]. Все оборудование смонтировано на тракторе «Гономаг» мощностью 35 л. с. с колесно-гусеничным ходом.

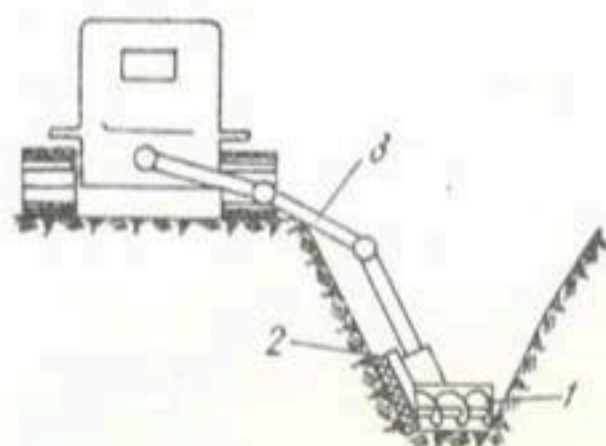


Рис. 11. Схема каналочистителя «Вульф».

1 — шнек, 2 — центробежный разбрасыватель, 3 — рукав с карданными валами.

При очистке машина передвигается сбоку канала. Навесное оборудование, состоящее из рабочего органа, центробежного разбрасывателя и изогнутого рукава, внутри которого проходит карданная передача, навешивается сзади трактора. В кожухе рабочего органа размещается распределительная передача, с помощью которой вращение от карданного вала передается на валы шнека и центробежного разбрасывателя.

В рабочем положении ось шнека расположена поперек канала. При вращении витки срезают наносы и подают их разбрасывателю, который лопатками выбрасывает грунт на расстоянии до 10—12 м от канала. Подъем и опускание рабочего органа производится лебедкой. Каналочиститель «Вульф», как и «Ритчер», более эффективно работает на канале с илистыми наносами.

В 1955 г. фирма Генри Хорст (ФРГ) изготовила опытный образец каналочистителя «Йорк» с качающимся шнеком (рис. 12). В отличие от других машин он перемещается внутри канала.

Оборудование, состоящее из двигателя мощностью 22 л. с., передающего механизма, шнека с разбрасывателем и лебедкой, смонтировано на двух металлических понтонах. Расстояние между ними может меняться регулированием длины телескопических труб, соединяю-

ших эти понтоны. Каналоочиститель передвигается по каналу с помощью лебедки или трактора.

В зависимости от слоя воды в канале и величины удаляемого слоя наносов рабочий орган устанавливается под тем или иным углом к горизонту.

Во время работы шнек, кроме вращения, совершает маятниковые качания в установленной ранее плоскости, которые обеспечиваются специальным механизмом. При вращении часть витков шнека, выступающих из выреза в нижней части кожуха, срезает наносы и транспортирует их к разбрасывателю.

Аналогичный каналоочиститель, но более совершенной конструкции, в 1960—1961 гг. испытывала САМИС на очистке дренажных каналов в Голодной степи. По техническим причинам срок испытания был небольшим. Однако выявлено, что рабочему органу данного каналоочистителя свойственны недостатки, характерные для шнекового каналоочистителя «Ритчер».

Таким образом, вопрос очистки мелкой мелиоративной сети остается неразрешенным, что, в первую очередь, относится к республикам Средней Азии, отличающимся наиболее тяжелыми условиями работ.

Проведение очистных работ в осенне-зимне-весенний периоды обуславливает повышенные требования как к ходовому оборудованию машин, так и к их рабочим органам.

Из рассмотренных типов машин наиболее эффективные — экскаватор ЭМ-161, каналоочиститель Д-342А и каналоочиститель «Линкольн». Однако для работы в условиях орошаемого земледелия их рабочие органы, в частности режущие лопатки, требуют дальнейшего усовершенствования. В связи с этим необходимы исследовательские работы по выявлению возможностей разработки наносов в каналах, не заполненных водой.

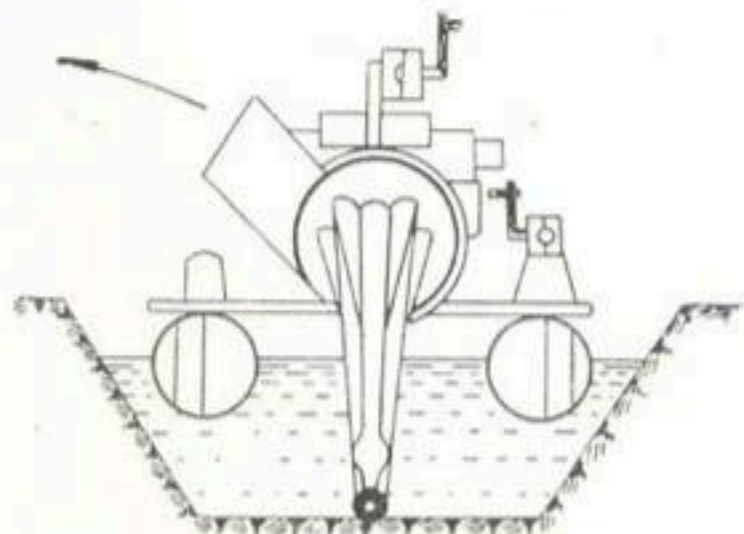


Рис. 12. Схема каналоочистителя «Иорк».

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахмеджанов М. А., Еремеев В. А. «Сельское хозяйство Узбекистана», 1961, № 7.
2. Бердянский В. Н. Строительство и ремонт каналов многоковшовыми экскаваторами. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук, Ташкент, 1956.
3. Далин А. Д. и Павлов Н. В. Ротационные грунтообрабатывающие и землеройные машины, М., Машиз, 1950.
4. Васильев М. В. и Зайцев Л. П. «Механизация хлопководства», 1961, № 3.
5. Зеленин Н. А. Физические основы теории резания грунтов, М., 1950.
6. Ласточкин Д. С. «Сельхозмашина», 1956, № 12.
7. Мер И. И. «Гидротехника и мелиорация», 1956, № 8.
8. Мер И. И. «Гидротехника и мелиорация», 1957, № 8.
9. Сычев Ю. «Механизация хлопководства», 1961, № 3.
10. Савенко И. В. «Гидротехника и мелиорация», 1958, № 7.
11. Schmidt D. H. Wasser und Boden. 1955, B 7, N 3, S. 33.
12. Farm Implement and Machinery Review, 1956, vol. 81, N 971.
13. Farm Implement and Machinery Review, 1956, vol. 10, N 11.

В. Н. БЕРДЯНСКИЙ, Э. Ш. КУПЕРМАН, А. Н. МИРСАГАТОВ

ОПЫТ МЕХАНИЗИРОВАННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ЗАКРЫТОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА В ГОЛОДНОЙ СТЕПИ

Для предотвращения засоления и заболачивания почв в Узбекистане до 1958 г. применяли открытые горизонтальные дрены и коллекторы, которые очень дороги в эксплуатации, занимают полезные посевные площади и осложняют работу сельскохозяйственных машин и орудий. Эти недостатки устранены на посевных площадях, где построены глубокие закрытые горизонтальные дрены. Опыт эксплуатации закрытых дрен (по данным узбекских опытно-мелиоративных станций в Голодной степи и Ферганской долине, Туркменской — в Чарджоу и Азербайджанской — на Мугани) показывает эффективность и экономичность их применения для рассоления почв и понижения уровня грунтовых вод [1, 3]. Однако внедрение такого прогрессивного способа мелиорации тормозилось из-за отсутствия специальных машин для механизации основных операций технологического процесса строительства и большой стоимости при выполнении этих работ вручную.

В Советском Союзе и за рубежом накоплен достаточный опыт по строительству мелких (0,6—1,7 м глуб.) закрытых горизонтальных дрен, преимущественно для осушения переувлажненных и заболоченных земель. В этой области значительных успехов добились Прибалтийские, Белорусская, Украинская республики и РСФСР, но и здесь механизация ограничивается выполнением земляных работ. Достаточно сказать, что из восьми основных операций существующей технологии устройства закрытых дрен механизированы только две: отрывка и засыпка траншей. Остальные операции выполняются вручную.

В настоящее время над созданием специальных машин для строительства закрытых горизонтальных дрен работают многие научно-исследовательские и проектные институты, конструкторские бюро и заводы Советского Союза. Таллинский завод выпустил траншейный экскаватор ЭТН-171, отрывающий траншею глубиной до 1,7 м и шириной 0,5 м с выдерживанием заданного уклона дна по копиру-проволоке, натянутой под этим уклоном к горизонту. Экскаватор снабжен трубоукладчиком в виде ящика, между боковыми стенками которого имеется наклонный желоб для спуска дренажных труб на дно траншей и сиденье для рабочего. Окончательная укладка дренажных труб на дно траншей и заделка стыков производится вручную. Для разработки траншей с заданным уклоном дна выпускаются экскаваторы ЭТН-142 и ЭТН-151. Укладка дренажных труб производится аналогично экскаватору ЭТН-171 [5].

Научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства АСХН БССР создал бестраншейный дренаж-укладчик. Прицепное оборудование дренаж-укладчика состоит из вертикального пустотелого щелереза с ножом и спускного лотка. При перемещении дренаж-укладчика щелерез разрезает почву на установленную глубину (до 0,85 м) и расклинивает в ней щель (до 10 см шир.), в которую из спускного лотка выходят дренажные трубы под действием собственного веса. Благодаря возвратной деформации грунта после прохода щелереза дренажные трубы заземляются и остаются в пустотелой дрене [2].

Здесь же сконструирован траншеекопатель, в котором сочетаются два рабочих органа — плужного и ковшового типа [6]. Такой комбинированный агрегат смонтирован на тракторе С-80. Он прокладывает траншею общей глубиной 1,5 м; причем верхние 0,8 м отрывает рабочий орган плужного типа. Рабочий орган ковшового типа оборудован прибором для автоматического выдерживания заданного уклона дна траншеи. При такой технологии повышается производительность (пог. м) ковшового рабочего органа, а за счет образования откосов в верхней части боковых стенок траншеи создаются благоприятные условия для укладки дренажных труб и заделки стыков между ними.

Государственным специальным конструкторским бюро по водному хозяйству УССР разработан трубоукладчик УТ-0,6, представляющий собой прицепную машину к трактору С-80, предназначенную для рытья траншей и укладки гончарных труб. Он состоит из двухотвального плуга и трубоукладывающего приспособления со спускным лотком. Трубоукладчик разрабатывает траншею 0,6 м глуб., по верху 0,25 м шир. и по дну 0,2 м; укладывает трубы диам. 50—60 мм и дл. до 400 мм.

Латвийским научно-исследовательским институтом гидротехники и мелиорации на базе экскаватора ЭТН-142 разработан дренаж-укладчик. Им можно отрывать траншею с заданным уклоном дна и укладывать гончарные трубы диаметром в свету 50 мм и длиной 330 мм. Навесное оборудование дренаж-укладчика состоит из вертикально расположенной кассеты и толкателя, управляемого гидравлическим цилиндром. По мере продвижения дренаж-укладчика дренажные трубы из кассеты опускаются на дно траншеи, откуда толкателем досылаются в стык предыдущей трубы. Глубина укладки дренажных труб — до 1,4 м.

Шагом вперед в решении вопроса механизированной укладки дренажных труб была предложенная Главголоднострепроем в 1957 г. совершенно новая конструкция соединения их между собой при помощи внутренней и наружной фасок (рис. 1).

Фасочная конструкция соединения дренажных труб позволяет автоматически центрировать их, дает достаточно прочный и одновременно пористый стык, сохраняет целостность дренажной линии и возможность соблюдать непрерывность процесса укладки.

На принципе непрерывной подачи дренажных труб Институтом водных проблем и гидротехники АН УзССР совместно с Главголоднострепроем разработан и внедрен в производство дренаж-прокладочный комбайн. Этот комбайн (индекс Д-251) предназначен для строительства глубоких закрытых горизонтальных дрен в грунтах I—III категории из труб диаметром до 300 мм, длиной 700 мм, с круговой обсыпкой их фильтром. Номинальная глубина заложения дрен 2,5 м.

Дренаж-прокладчик (рис. 2) состоит из серийно выпускаемого многоковшового траншейного экскаватора ЭТУ-353 с измененной ковшовой

рамой и специального оборудования: бездонный бункер с трубопроводом, подающий механизм, привод подающего механизма с телескопическим устройством и двумя редукторами, ходовая часть, прицепное и подъемное устройство [4].

Бункер (4) — сварной конструкции коробчатого сечения — состоит из четырех отсеков: три отсека служат для гравийного фильтра, который идет на круговую обсыпку дренажных труб, а четвертый используется для установки датчика (5) — прибора, контролирующего

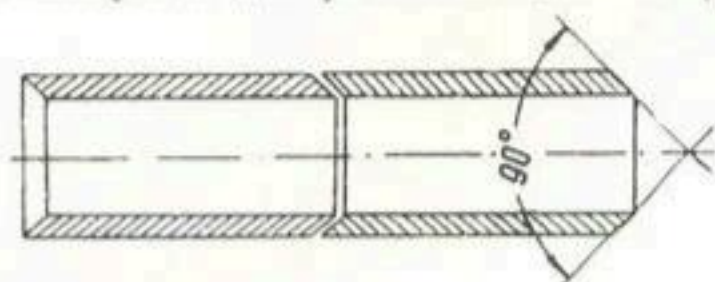


Рис. 1. Фасочное соединение дренажных труб.

качество укладки дренажных труб, визуального наблюдения и устранения возможных дефектов дренажной линии при укладке. Каждый отсек в нижней части снабжен планировщиками (12, 13) для подрезки необходимой толщины слоя гравийного фильтра. На задней стенке бункера установлен полукруглый планировщик (11), который можно переставлять по высоте и тем самым регулировать толщину слоя засыпки гравийного фильтра.

Каркас бункера состоит из вертикальных и горизонтальных ребер жесткости (6), которые снаружи обшиты листовой сталью (1,5 мм толщ.). Для улучшения загрузки бункера гравием сверху предусмотрены открьлки (3).

Внутри бункера сверху вниз по кривой проходит трубопровод, выполненный из двух параллельно расположенных направляющих (16), по которым скользят дренажные трубы (15). Нижняя часть трубопровода обшита листовой сталью 1,5 мм толщ., верхняя закрыта четырьмя съемными кожухами (14).

В верхней передней части бункера закреплен подающий механизм (7), состоящий из двух ведущих цилиндрических рифленых барабанов (28), двух прижимных конических роликов (27) и двух прямоугольных щек (30), скрепленных между собой четырьмя стяжными болтами. Ведущие барабаны жестко сидят на двух параллельных валах, вращающихся в шарикоподшипниках, корпуса которых закреплены на щеках. Прижимные ролики свободно вращаются на шарикоподшипниках вокруг осей (29). Перпендикулярно осям крепятся штоки, помещенные в направляющих трубах (26), закрепленных на щеках. В верхнем конце направляющей трубы имеется винт (8), регулирующий силы зажатия дренажных труб между рифлеными барабанами и коническими роликами. Между винтом и штоком помещается спиральная пружина, стабилизирующая давления конических роликов и являющаяся демпфером в возможных изменениях диаметра дренажных труб.

Ведущие барабаны подающего механизма приводятся в движение от ходового вала (32) коробки передач (33) экскаватора, через пальцевую муфту, конический редуктор № 1 с муфтой предельного момента (21), карданную передачу с телескопическим звеном (20) и конический редуктор № 2 (10).

Бункер дренопрокладчика подвешен на двух осях (23) коробчатого сечения, сваренных из двух швеллеров. В концы коробок сварены цапфы, на которые могут быть установлены либо металлические колеса (24), либо надета гусеничная тележка (25). Сзади на раму

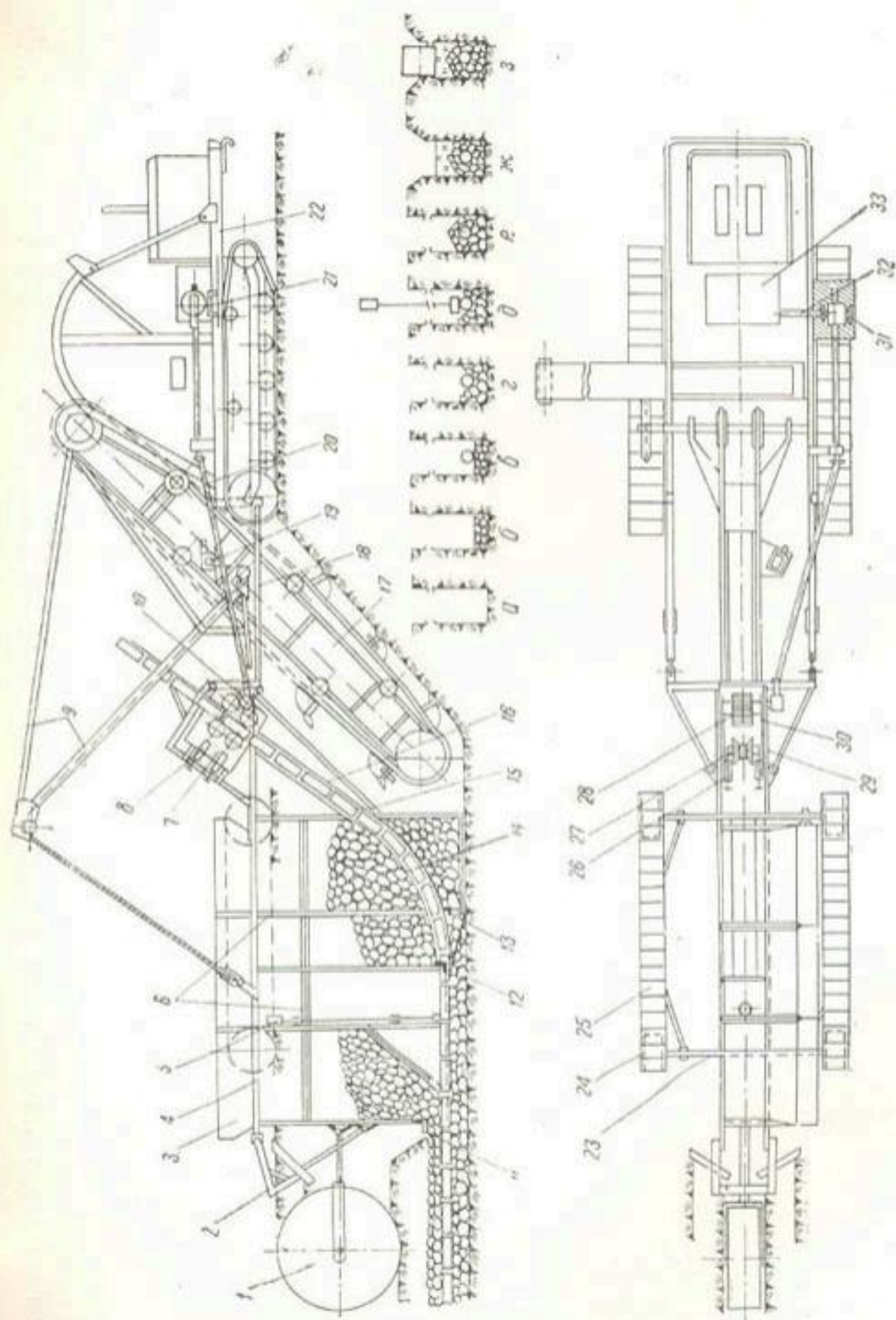


Рис. 2. Общий вид дренапрокладчика Д-251.

бункера навешивается специальное оборудование (2), служащее для обратной засыпки траншеи дрены первым предохранительным слоем грунта. Толщина слоя засыпки регулируется винтом. Уплотнение этого слоя производится специальным гладким катком (1).

Прицепное устройство (18) выполнено в виде двух горизонтальных брусков коробчатого сечения; концы их шарнирно соединяются с рамами экскаватора (22) и бункера (4).

Подъемное устройство (9) состоит из пространственной фермы с элементами трубчатого сечения и механической лебедки (19), монтируемых на ковшовой раме (17) экскаватора.

Дренопрокладчик оборудован прибором, автоматически контролирующим качество укладки дренажных труб и сигнализирующим о дефектах укладки. Конструкция прибора разработана Институтом водных проблем и гидротехники АН УзССР и вынута под индексом ПТ-3.

Он состоит из датчика (5), регистратора (31), сигнализатора и электрической системы передач. Датчик устанавливается в отсеке бункера, а регистратор и сигнализатор — на специальном столике у сиденья машиниста. Регистратор приводится в действие от вала редуктора № 1 через гибкий валик.



Рис. 3. Дренопрокладчик Д-251 в работе.

Дренопрокладчик движется по пути, спланированному под заданный уклон. За один проход выполняет следующие операции (рис. 2): а) отрывает траншею шириной 0,6 м и глубиной, присущей данному типоразмеру; б) укладывает подстилающий слой фильтра толщиной, заданной проектом; в) укладывает дренажные трубы длиной до 700 мм и наружным диаметром до 300 мм из любого твердого материала (прочность на раздавливание более 10 кг/см²); г) обсыпает трубы с боков фильтром; д) проверяет качество укладки дренажных труб (плотность стыков между ними и искривления продольного профиля дренажной линии); е) засыпает дренажные трубы слоем фильтра требуемой

толщины; ж) засыпает дренаж предохранительным слоем грунта толщиной 30—50 см; з) уплотняет предохранительный слой грунта. В 1960 г. Главголодностепстрой изготовил опытно-промышленный образец дренопрокладчика Д-251, который испытывался на строительстве закрытых горизонтальных дрен в совхозе № 6 в Голодной степи (рис. 3).

Грунты в районе строительства дрен — макропористые лессовидные суглинки.

Конструкция построенных дрен приведена на рис. 4 (проект Сред-азгипроводхлопка).

Исследование показало, что дренаы, построенные дренопрокладчиком, отвечают требованиям проекта.

Независимая подвеска бункера обеспечивает качественную укладку дренажных труб в продольном профиле дренаы. Данные инструментальной съемки свидетельствуют о том, что отметки верхних образующих уложенных труб соответствуют проектным и точно копируют продольный профиль пути дренопрокладчика.

Принятая конструкция трубопровода и подающего механизма увеличила универсальность дренопрокладчика как по диаметрам, так и длине пропускаемых дренажных труб.

Укладывали дренажные трубы с наружным диаметром 122, 170 и 220 мм и длиной 330—600 мм.

Стыки между дренажными трубами получились прочными в отношении поперечных смещений относительно друг друга, а зазоры в них обеспечили поступление расчетного количества грунтовой воды.

Введение автомата для контроля качества укладки дренажных труб и синхронизация подачи их с ходом экскаватора дали возможность применять дренопрокладчик в слабых грунтах и при высоком стоянии грунтовых вод, когда сам процесс укладки скрыт под водой.

Совмещение восьми операций технологического процесса в одном комбайне и непрерывность их выполнения дают возможность механизировать строительство глубоких закрытых дрен. Это особенно важно, когда строительство ведется при высоком уровне грунтовых вод или в слабых грунтах. Здесь строительство можно вести только непрерывно при защите вертикальных стенок траншей от обрушения. Такой защитой у дренопрокладчика служит сам бункер, в котором происходят основные операции процесса.

В ноябре 1960 г. специальной комиссией Главгидротехнического управления Минвостокстроя дренопрокладчик Д-251 принят в производство. В настоящее время в Голодной степи работают три такие машины и один дренопрокладчик Д-301. Изготавливается еще два дренопрокладчика Д-251 и три Д-301.

Строительство глубоких закрытых горизонтальных дрен ведется по технологии, разработанной Институтом водных проблем и гидротехники АН УзССР, которая состоит из перечисленных ниже операций:

1) разбивка и нивелировка трассы дренаы через каждые 10 м и в характерных точках.

В точках нивелировки даются отметки для планировки пути дренопрокладчика, вычисление которых определяется разностью между абсолютной глубиной траншей в данной точке и номинальной глубиной, обеспечиваемой применяемым типоразмером дренопрокладчика;

2) планировка пути дренопрокладчика по трассе на полосе шириной 3 м с соблюдением заданного уклона по нивелировочным отметкам.

При планировке допускаются поперечные уклоны пути дренопрокладчика не более 0,01.

Эту операцию можно выполнять скрепером, бульдозером, грейдером или комбинацией их в зависимости от величины срезок, даль-

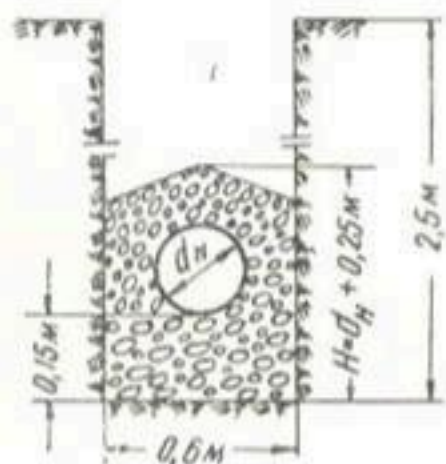


Рис. 4. Конструкция дрена.

ности транспортирования грунта и наличия машин на строительном предприятии;

3) контроль качества спланированного пути дренапрокладчика, производимый инструментальной съемкой в точках, отмеченных при разбивке трассы;

4) рытье траншеи (а), укладка подстилающего слоя фильтра (б), укладка дренажных труб (в), засыпка дренажных труб с боков фильтром (г), проверка качества укладки в стыках (д) и продольном профиле, засыпка дренажных труб фильтром (е) сверху, засыпка дрены предохранительным слоем грунта (ж), уплотнение предохранительного слоя грунта (з). Все эти операции выполняются одновременно и непрерывно дренапрокладочным комбайном начиная от устья дрены (рис. 2).

Траншея в концевой части дрены на длине 20 м отрывается дренапрокладчиком без укладки труб и фильтра. Глубина этой части меньше проектной на толщину слоя фильтра, укладываемого под трубы;

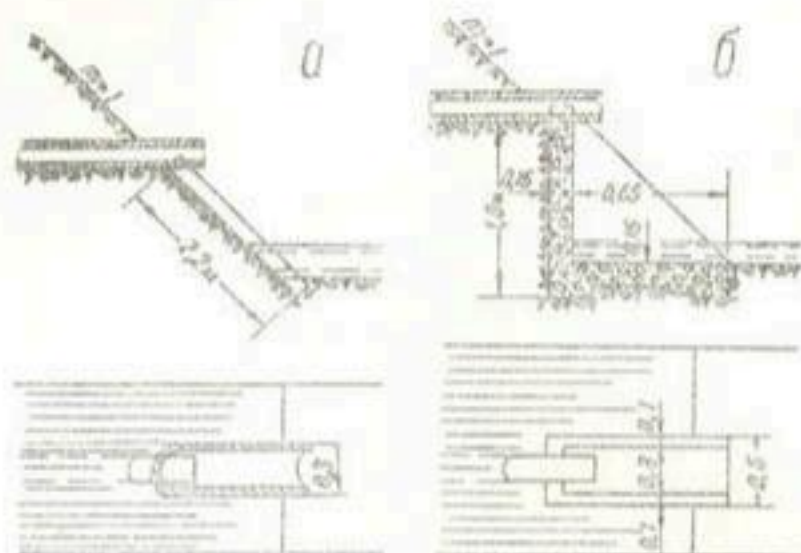


Рис. 5. Конструкция устьевой части дрены.

а — лотковая, б — щелевая.

5) укладка концевой части дрены из длинных (3—4 м) асбоцементных труб, соединяемых между собой муфтами, и засыпка их грунтом тремя слоями по 20 см с уплотнением каждого слоя. Эта операция выполняется вручную;

6) обратная засыпка дрены грунтом с послойным уплотнением. Засыпка производится бульдозером, а уплотнение — специальными катками, трамбовками или вибротрамбовками.

Толщина слоев при обратной засыпке определяется применяемым механизмом;

7) на дрене, где должны быть устроены контрольносмотровые колодцы, бурятся шурфы на 20 см ниже отметки дна траншеи. Эта операция производится любой буровой машиной с подходящей характеристикой (по размерам) бура;

8) монтаж контрольносмотровых колодцев: а) укладка на дно бетонной плиты; б) установка обсадных труб с заправкой в их боковые отверстия концов труб дренажной линии; в) засыпка пазух грунтом и уплотнение его; г) установка крышек на обсадные трубы колодцев.

Для выполнения этой операции используется автокран, пневматическая трамбовка и компрессор;

9) строительство устьевой части дрены.

Если устье устраивается из специальных лотков (рис. 5а) бетонных плит или целых блоков (рис. 5б), то применяется автокран. При облицовке рваным камнем, булыгой и др. работы производятся вручную;

10) планировка всего участка, занятого под строительством дрены. Эти операции выполняются бульдозером или грейдером.

Опыт эксплуатации дренапрокладчиков типа Д-251 показал, что стоимость строительства закрытых дрен по сравнению с ручным способом снижается более чем в три раза. Однако капитальные вложения на строительство 1 пог. м закрытой дрены даже при механизации строительства остаются высокими из-за значительной стоимости материалов (дренажных труб и фильтра). Поэтому в дальнейшей работе нужно уделить особое внимание снижению затрат на строительство за счет применения более дешевых материалов, удешевления их перевозок и специализации предприятий, производящих эти материалы.

Кроме того, стоимость строительства можно снизить полной комплексной механизацией всех операций технологического процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянов С. Ф. Горизонтальный дренаж при борьбе с засолением орошаемых земель, М., Изд-во АН СССР, 1959.
2. Игнатенко Ф. В. «Гидротехника и мелиорация», 1959, № 4.
3. Легостаев В. М. «Сельское хозяйство Узбекистана», 1960, № 11.
4. Пулатов У. Ю., Бердинский В. Н. «Механизация хлопководства», 1960, № 9.
5. Совкин В. И. «Гидротехника и мелиорация», 1960, № 2.
6. Турецкий Р. «Техника в сельском хозяйстве», 1960, № 1.

В. Н. МАШКОВ

К ВОПРОСУ О РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ ЛЕНТОЧНЫХ ВОДОПОДЪЕМНИКОВ НА ШАХТНЫХ КОЛОДЦАХ

Водоснабжение пастбищ в пустынях Средней Азии базируется в основном на подземных водах, водозабор которых осуществляется, как правило, с помощью шахтных колодцев.

По конструкции шахтные колодцы можно разделить на две большие группы:

1) старые шахтные колодцы с саксаульным, реже каменным, креплением стенок ствола; они имеют небольшой столб воды (0,7—1,2 м) и незначительный дебит;

2) инженерного типа с бетонированным стволом шахты. Колодцы данной группы по способу строительства разделяются на два типа:

а) отрытые колодезкопательными машинами КШК-25 или КШК-30 и облицованные бетонными кольцами (глубиной до 25÷30 м);

б) построенные «туркменским способом», т. е. отрытые вручную и облицованные сетчатым бетоном.

Туркменским способом строят колодцы глубиной более 30 м и все колодцы в районах сыпучих песков, где использование колодезкопательной машины затруднительно.

Колодцы, построенные вручную, встречаются двух видов: с цилиндрическим стволом шахты по всей глубине и с цилиндрической шахтой, имеющей коническое расширение в нижней водосборной части для увеличения объема воды.

Ввиду отсутствия у строителей колодцев машин, которые могли бы откачивать воду при углублении шахты в водоносный слой, столб воды в таких колодцах невелик — 0,8—1,5 м. Колодцы, отрытые машиной КШК-25, имеют обычно столб воды 3—6 м и несколько больший дебит, чем построенные вручную. Дебит инженерных колодцев в большинстве случаев находится в пределах 0,2—0,6 л/сек.

Для механизации подъема воды из шахтных колодцев на пастбищах Узбекистана и Туркмении широко используются ленточные водоподъемники, разработанные Лабораторией гидравлических машин Института водных проблем и гидротехники (бывш. САНИИРИ). Простота конструкции, несложность монтажа и эксплуатации, долговечность всех узлов и возможность использования на колодцах практически любой глубины позволили ленточным водоподъемникам стать основным средством механизации водоподъема на пустынных пастбищах Средней Азии.

Ленточные водоподъемники Л-100 имеют сменные шкивы, с помощью которых можно изменять производительность от 1 до 2 л/сек.,

т. е. она в несколько раз превосходит обычные дебиты шахтных колодцев на пастбищах. Данное несоответствие объясняется тем, что производительность ленточных водоподъемников выбиралась не по параметрам водонесточников, а по необходимости подъема достаточного количества воды за время, затрачиваемое на водопой свей. Это исключает необходимость одному из чабанов отлучаться от отары и заранее создавать запас воды в наземном бассейне, как это делается повсеместно при подъеме воды из колодцев с помощью ковги. Для нормальной работы ленточного водоподъемника во время водопоя необходим определенный запас воды в водосборной части колодца. Очевидно, чем меньше дебит колодца, тем больше должен быть запас воды в нем.

Для обеспечения работы водоподъемника с постоянной производительностью необходимо, чтобы время опорожнения колодца до уровня оси блока натяжного устройства было не меньше времени работы ленточного водоподъемника, потребного для подъема заданного количества воды, т. е.

$$t = \frac{W}{Q} > \frac{v + qht}{Q}, \quad (1)$$

где W — потребное количество воды для водопоя;

Q — производительность водоподъемника;

v — объем воды в колодце от статического уровня до оси натяжного устройства водоподъемника;

q — удельный дебит;

h — расстояние от оси натяжного устройства до динамического уровня;

t — время работы ленточного водоподъемника, обеспечивающее потребное количество воды.

В уравнение (1) входит переменная величина h . Для решения его необходимо установить зависимость этой величины от времени t и параметров колодца. Удельный дебит q принят постоянным по всей толщине водоносного слоя.

В действительности зависимость дебита шахтных колодцев от понижения динамического уровня обычно отклоняется от линейной. При больших понижениях приращение дебита несколько уменьшается. В процессе работы ленточного водоподъемника за время dt будет выкачан объем воды Qdt и уровень воды в колодце понизится на величину dh (рис. 1а). За это же время в колодец поступит объем воды $qhdt$. Очевидно,

$$Qdt = dhF + qhdt, \quad (2)$$

где F — площадь поперечного сечения шахты колодца в водоносном слое.

Следовательно,

$$dt = \frac{dhF}{Q - qh},$$

$$t = F \int \frac{dh}{Q - qh}.$$

При интегрировании в пределах от $h = h_2$ до $h = 0$ получим

$$t = F \frac{l}{q} \ln \frac{Q}{Q - qh_2}; \quad (3)$$

откуда

$$\ln \frac{Q}{Q - qh_2} = \frac{tq}{F}, \quad (4)$$

или

$$\frac{tq}{F} = \frac{Q}{Q - qh_2},$$

$$h_2 = \frac{Q \left(\frac{tq}{F} - 1 \right)}{\frac{tq}{ql^2}}.$$

При заданной потребности в воде и производительности водоподъемников рассмотрим три основных случая определения необхо-

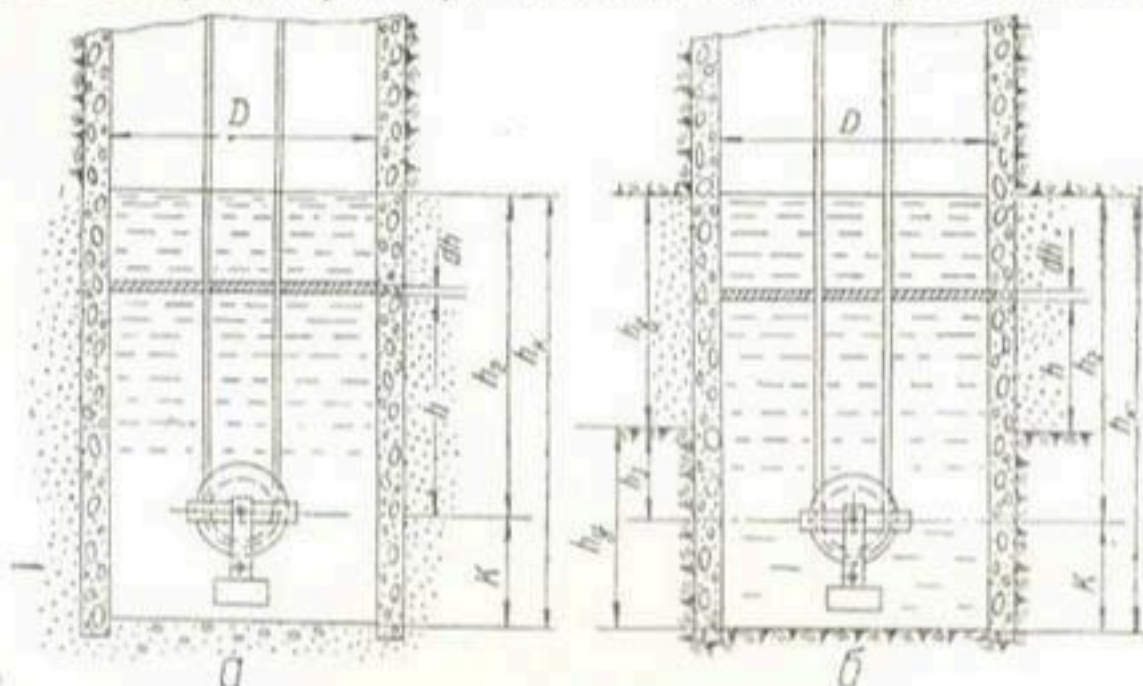


Рис. 1. Расчетные схемы.

димого объема воды в водосборной части колодцев при известном удельном дебите водоносного горизонта.

1. Колодец отрывается вручную и облицовывается сетчатым бетоном. В нижней части шахта имеет коническое уширение, а в пределах водоносного слоя она вновь цилиндрическая. Удельный дебит водоносного слоя известен. Заглубление в него обычно составляет 0,8—1,5 м. Необходимо определить диаметр шахты в водоносном слое.

2. Колодец отрывается машиной КШК. Толщина водоносного слоя невелика, и увеличить объем воды в колодце можно только углублением шахты в водоупорный слой (рис. 1б). Необходимо определить величину заглубления шахты в водоупорный слой при известной толщине водоносного горизонта.

3. Колодец отрывается машиной КШК. Толщина водоносного слоя значительна. Необходимо определить величину заглубления шахты в водоносный слой.

Первая задача решается подстановкой известных величин в преобразованную формулу (3)¹

¹ Незначительные изменения удельного дебита при изменении диаметра шахтного колодца в формуле не учтены.

$$D = \sqrt{\frac{4tq}{\pi \ln \frac{Q}{Q - qh_2}}}, \quad (5)$$

где D — диаметр шахты колодца в водоносном слое;

$$h_2 = h_k - K,$$

где h_k — высота столба воды в водосборной части колодца при статическом уровне;

K — рекомендуемое расстояние от оси блока натяжного устройства до дна колодца.

Во втором случае необходимая величина заглубления в водоупорный слой определяется в следующей последовательности:

а) по формуле (3) вычисляется время понижения горизонта воды в колодце от статического уровня до водоупорного слоя (t_1) и по формуле (1) — общее время работы водоподъемника (t);

б) находится заглубление в водоупорный слой h_y (рис. 1а) по формуле

$$h_y = \frac{4 [Q(t - t_1) - qh_n(t - t_1)]}{\pi D^2} + K, \quad (6)$$

где h_n — толщина водоносного горизонта;

$$h_k = h_n + h_y.$$

В третьем случае величина заглубления в водоносный слой определяется по формуле

$$h_k = h_2 + K = \frac{Q}{q} \left(\frac{\frac{tq}{l^2} - 1}{\frac{tq}{l^2}} \right) + K. \quad (7)$$

Удельный дебит колодцев q может быть выявлен с помощью ленточного водоподъемника. В процессе понижения динамического уровня воды примерно до оси блока натяжного устройства ленточный водоподъемник работает с постоянной производительностью, а затем она снижается и становится равной дебиту колодца q_k при данном понижении динамического горизонта воды в нем. Измерить производительность водоподъемника нетрудно: он работает спокойно, без срывов. Измерив величину заглубления рабочего органа водоподъемника, можно вычислить удельный дебит

$$q = \frac{q_k}{h_2}.$$

При ремонте и реконструкции старых колодцев толщину водоносного горизонта (величину h_n) можно определить по характеру изменения дебита с помощью опытных откачек с различным заглублением рабочего органа ленточного водоподъемника.

Динамический уровень, при котором дальнейшее его понижение не увеличивает общего дебита колодца, будет соответствовать нижней границе водоносного слоя.

Если водопойный пункт обслуживает несколько отар, водопой следует производить через определенные периоды, равные времени восстановления горизонта воды в колодце до уровня, обеспечивающего достаточный запас воды для нормальной работы водоподъемника.

Время, необходимое на восстановление уровня, можно определить из уравнений

$$dhF = qhdt \quad (8)$$

и

$$dt = \frac{F}{q} \frac{dh}{h}. \quad (9)$$

После интегрирования

$$t = \frac{F}{q} \int \frac{dh}{h} = \frac{F}{q} \ln h. \quad (10)$$

При подстановке пределов от h_2 до 0 (т. е. до статического уровня) значение интеграла стремится к бесконечности. Время при наполнении колодца от уровня h_2 до уровня $0,1h_2$

$$t = \frac{F}{q} \ln h_2 - \frac{F}{q} \ln 0,1 h_2 = \frac{F}{q} \ln \frac{h_2}{0,1 h_2} = \frac{F}{q} \ln 10. \quad (11)$$

Таким образом, время заполнения водосборной части колодца на какую-то долю общего столба воды не зависит от абсолютной величины столба, а является функцией площади поперечного сечения шахты колодца в водосборной части и удельного дебита при данном диаметре колодца.

Во втором из разобранных нами случаев процесс заполнения водосборной части колодца при определении t необходимо расчленить на два периода: первый — заполнение объема шахты в водоупоре и второй — в водоносном слое

$$t = t_y + t_n. \quad (12)$$

Время заполнения объема шахты в водоупорном слое вычисляется по формуле

$$t_y = \frac{W_y}{qh_n}, \quad (13)$$

где W_y — объем шахты колодца в водоупорном слое, заполняемый водой;

h_n — толщина водоносного слоя.

Второе слагаемое уравнения (12) находится по формуле (11)

$$t_n = \frac{F}{q} \ln \frac{1}{0,1 n}, \quad (14)$$

тогда

$$t = \frac{W_y}{qh_n} + \frac{F}{q} \ln \frac{1}{0,1 n},$$

где $0,1n$ — доля столба воды в верхней части водоносного горизонта, которая не заполняется за время t .

В практике строительства шахтных колодцев довольно часто встречаются водоносные горизонты, не позволяющие увеличивать запас

воды в водосборной части колодца до размеров, обеспечивающих нормальную работу водоподъемных агрегатов.

В этом случае необходимо заблаговременно до водопада пускать в работу водоподъемное оборудование, создавая запас воды в наземных бассейнах.

При такой эксплуатации работа водоподъемного агрегата делится на два периода: откачка запаса воды в колодец при производительности агрегата Q в течение времени t_1 и работа на дебите колодца при производительности qh_2 (в течение времени t_2)

$$t = t_1 + t_2, \quad (15)$$

$$t = \frac{F}{q} \ln \frac{Q}{Q - qh_2} + \frac{W - \frac{QF}{q} \ln \frac{Q}{Q - qh_2}}{qh_2}, \quad (16)$$

$$t = \frac{W}{qh_2} - \frac{F}{q} \left(\frac{Q}{qh_2} - 1 \right) \ln \frac{Q}{Q - qh_2}. \quad (17)$$

Для колодцев, шахты которых углублены в водоупорный слой, формула (17) примет вид:

$$t = \frac{W}{qh_n} - \frac{F}{q} \left(\frac{Q}{qh_n} - 1 \right) \ln \frac{Q}{Q - qh_2} - \frac{Fh_3}{Q - qh_n} \left(\frac{1}{qh_n} - 1 \right), \quad (18)$$

где h_3 — величина заглубления шахты колодца в водоупорный горизонт минус расстояние от дна колодца до оси натяжного устройства ленточного водоподъемника;

$$h_3 = h_n - h_n - K.$$

Уравнения (17) и (18) можно использовать лишь в случае положительного значения второго слагаемого в уравнении (16). При большом запасе воды в колодце время работы ленточных водоподъемников для подъема заданного количества воды целесообразнее рассчитывать в следующей последовательности: вычислить по формуле (3) время срабатывания запаса воды в колодце (t_1), количество поднятой воды за время t_1 , и если потребность в воде превышает эту величину, общее время работы водоподъемника определить из уравнения

$$t = t_1 + \frac{W - Qt_1}{qh_2}. \quad (19)$$

На рис. 2 и 3 представлены зависимости $t = f(q, h_2)$, вычисленные по формуле (17) при производительности ленточного водоподъем-

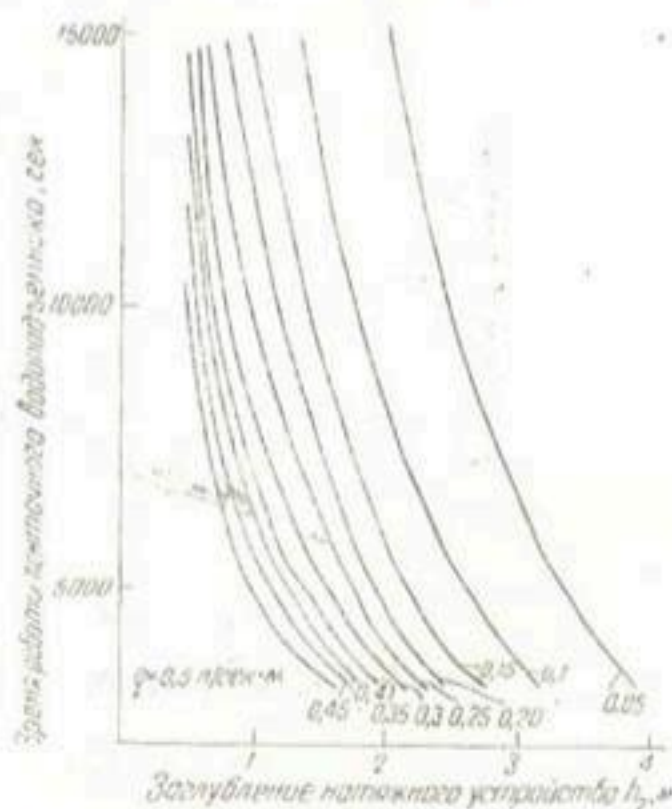


Рис. 2. График $t = f(h_2, q)$ при $W_1 = 3 \text{ м}^3$, $Q = 1 \text{ л/сек}$, $F = 0,785 \text{ м}^2$.

ника $Q=1$ л/сек, диаметре шахты колодца $D=1$ м и потребности в воде соответственно $W_1=3$ м³ и $W_2=5$ м³.

На рис. 4 дана графическая зависимость $t_Q = f_2(q, h_2)$ для колодцев диаметром $D=1$ м при производительности водоподъемника

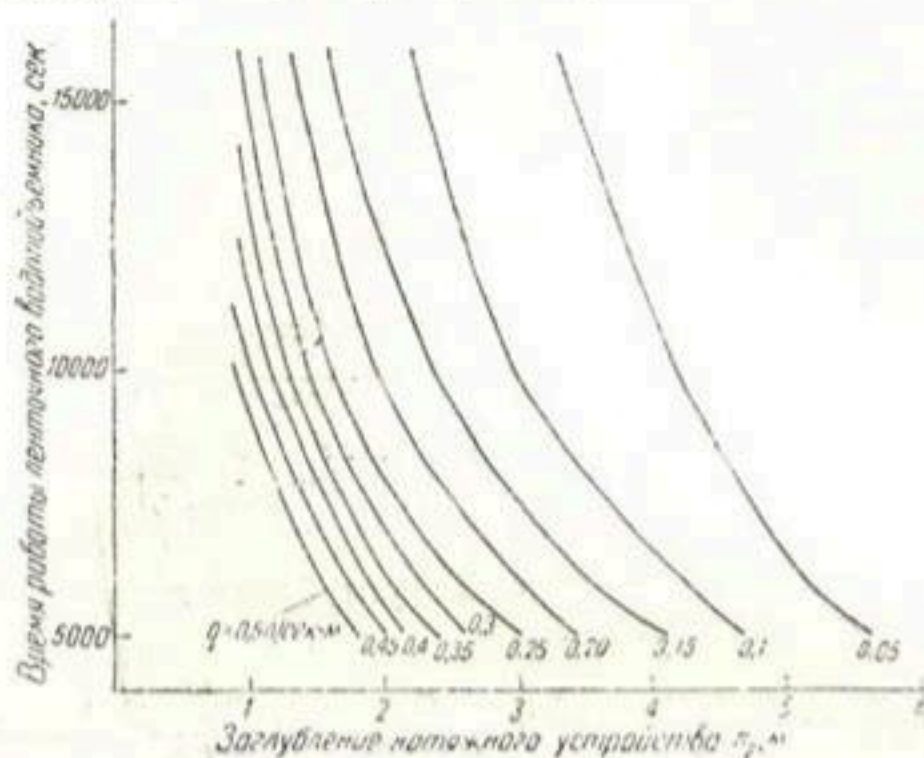


Рис. 3. График $t = f_1(h_2, q)$ при $W_2=5$ м³, $Q=1$ л/сек, $F=0,785$ м².

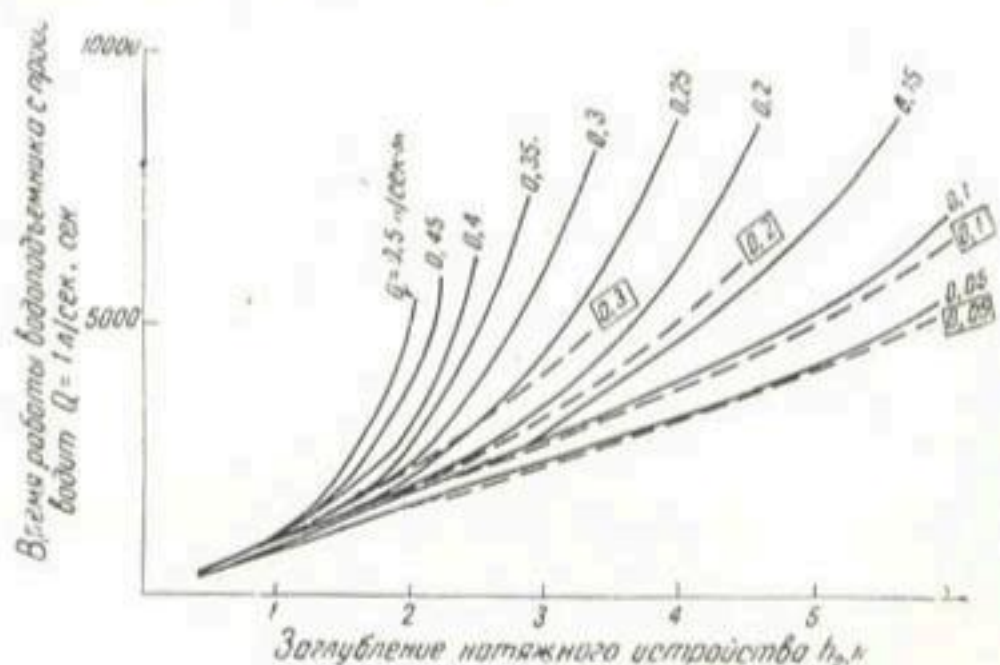


Рис. 4. График $t_Q = f_2(h_2, q)$ при $D=1$ м, $Q=1$ л/сек.

$Q=1$ л/сек; t_Q — время работы водоподъемника с производительностью $Q=1$ л/сек.

Если принять во время работы водоподъемника дебит колодца постоянным и равным, как рекомендуют некоторые авторы,

$$q_k = \frac{qh_2}{2},$$

то время работы водоподъемника при откачке запаса воды из колодца

вычисляется по формуле

$$t = \frac{Fh_2}{Q} + \frac{Fh_2}{Q^2} \cdot \frac{qh_2}{2} + \frac{Fh_2}{Q^2} \cdot \frac{qh_2}{2} \cdot \frac{qh_2}{Q} \text{ и т. д.,}$$

или

$$t = \frac{Fh_2}{Q} \left[1 + \frac{qh_2}{2Q} + \left(\frac{qh_2}{2Q} \right)^2 + \left(\frac{qh_2}{2Q} \right)^3 + \dots + \left(\frac{qh_2}{2Q} \right)^n \right]. \quad (20)$$

Значения t , вычисленные по формуле (20), для случая $Q=1$ л/сек и $D=1$ м нанесены на график (рис. 4) в виде пунктирных линий. Как видно из графика, такое упрощение допустимо лишь в случае небольших значений q (0,05—0,1 л/сек·м). С увеличением удельного дебита разница в значениях t , вычисленных по формулам (3) и (20), резко возрастает, т. е. принимать в расчетах постоянным дебит колодцев при больших значениях q нежелательно.

Изложенный в статье метод расчета рациональных режимов работы ленточных водоподъемников и определения размеров водосборной части шахтных колодцев, обеспечивающих нормальную работу водоподъемников, приближенный. Он не учитывает:

- а) особенности водоотдачи водоносных горизонтов при понижении уровня воды в колодцах ниже верхней границы водоносных горизонтов;
- б) влияния величины поверхности водоотдачи водосборной части колодца (диаметра колодца) на его дебит;
- в) особенности водоотдачи в совершенных колодцах, т. е. особенности поступления воды в водосборную часть со дна колодца.

Таким образом, предложенный метод позволяет делать анализ совместной работы колодца и водоподъемника в первом приближении. Приведенные в статье формулы должны быть уточнены проведением экспериментальных откачек на колодцах с различной структурой водоносных горизонтов и различной конструкцией водоприемной части.

Сделанное при выводе формул допущение о постоянстве удельного дебита колодцев по всей глубине его водоприемной части при рекомендуемом способе определения удельного дебита $\left(\frac{q_k}{h_2} \right)$ дает при расчете по этим формулам несколько завышенные значения требуемого объема водоприемной части и времени откачки необходимого количества воды.

Завышение в большинстве случаев не больше 5—10%.

А. Г. ЕРЕМЕНКОВ

К АНАЛИЗУ ПОДЪЕМА ЖИДКОСТИ ЛЕНТОЙ В НАПРАВЛЯЮЩЕЙ ТРУБЕ ШНУРОВОГО ВОДОПОДЪЕМНИКА

Шнуровой водоподъемник с направляющей трубой является одним из типов водоподъемного оборудования, приемлемого для водоснабжения из скважин на пустынных пастбищах. Он изобретен в 1887 г. Н. Е. Жуковским [4], который впервые провел экспериментальные исследования этого водоподъемника. Н. Е. Жуковский разработал теорию действия шнуровых водоподъемников, однако она не была опубликована.

В 1924 г. Л. С. Лейбензон [6] изложил основы теории шнуровых водоподъемников с круглым рабочим органом в круглой направляющей трубе при ламинарном и турбулентном режимах движения жидкости. Теория Л. С. Лейбензона при турбулентном режиме основывается на допущении Буссинеска о коэффициенте турбулентной вязкости жидкости, поэтому практическое применение его теоретических выводов встречает значительные трудности. Б. Е. Евтихиевым [1] была сделана попытка экспериментально подтвердить теорию Л. С. Лейбензона и разработать методику расчета шнуровых водоподъемников. В работе Евтихиева не решен вопрос о конструкции и материале рабочего органа. В дальнейшем эта работа продолжена не была и практического применения не получила.

Учитывая перспективность применения шнурового водоподъемника с направляющей трубой для водоснабжения из скважин на пастбищах, мы поставили опыты по определению конструкции и материала рабочего органа [2]. В качестве рабочего органа приняли плоский резиновый ремень, направляющей трубы — круглую стальную трубу.

Недостаточное количество экспериментальных данных для разработки методики расчета указанной конструктивной схемы потребовало дальнейших теоретических и экспериментальных исследований. Для упрощения анализа и методики постановки опытов мы изготовили установку с трубой прямоугольного сечения, позволяющую изучать движение жидкости внутри направляющей трубы с некоторым приближением как плоский поток.

Рассмотрим плоский поток жидкости внутри направляющей трубы шнурового водоподъемника.

Выделим в потоке (рис. 1) элементарный объем жидкости в виде прямоугольного параллелепипеда. Ширина параллелепипеда равна ширине ленты b (размер, перпендикулярный плоскости чертежа), высота ограничена двумя плоскостями, перпендикулярными оси z . Стороны параллелепипеда, обращенные к ленте и стенке трубы, параллельны

плоскости ленты и удалены от нее: первая на расстояние y , вторая — $y + dy$. Считаем, что эти стороны параллелепипеда образуются совокупностью элементарных струек, вдоль которых скорость движения жидкости постоянна.

На поверхность параллелепипеда, обращенную к ленте, действует сила трения жидкости

$$T = bz\tau, \quad (1)$$

где τ — касательное напряжение;

b — ширина ленты.

На поверхность параллелепипеда, обращенную к стенке трубы, действует сила, параллельная первой и равная

$$T + dT = bz\tau + bz d\tau. \quad (2)$$

Разность нормальных давлений на верхнюю и нижнюю плоскости элементарного параллелепипеда составляет силу

$$(p_2 - p_1) b dy \quad (3)$$

(p_1 и p_2 — давление на уровнях верхней и нижней плоскостей).

Вес элементарного объема жидкости

$$dG = bz\gamma dy; \quad (4)$$

здесь γ — удельный вес жидкости.

Принимаем поток установившимся, т. е.

$$\frac{du}{dt} = 0, \quad (5)$$

где u — абсолютная скорость движения жидкости внутри направляющей трубы;

t — время.

Проекция на ось z всех сил, действующих на элементарный объем жидкости,

$$T - (T + dT) - dG + (p_2 - p_1) b dy = 0. \quad (6)$$

Подставляя значения dT из (2) и dG (4), получим

$$bz d\tau = -bz\gamma dy + (p_2 - p_1) b dy.$$

Сокращаем на bz :

$$d\tau = -\gamma dy + \frac{p_2 - p_1}{z} dy = -\left(\gamma - \frac{p_2 - p_1}{z}\right) dy. \quad (7)$$

Обозначим

$$\gamma - \frac{p_2 - p_1}{z} = N. \quad (8)$$

Внеся (8) в (7), находим

$$d\tau = -N dy. \quad (9)$$

Выражение (8) можно записать:

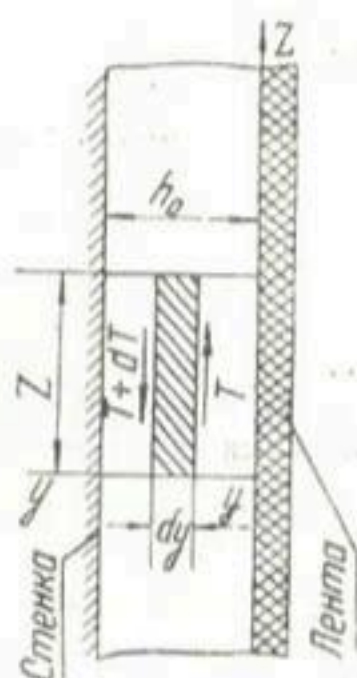


Рис. 1.

$$N = \gamma - \frac{p_2 - p_1}{z} = \gamma - \frac{p_{\text{вх}} - p_{\text{вых}}}{L} \quad (10)$$

здесь $p_{\text{вх}}$ — давление в жидкости на входе в направляющую трубу;
 $p_{\text{вых}}$ — давление в жидкости на выходе из направляющей трубы;
 L — длина колонны водоподъемных труб (уклон $i=1$).

Жидкость из направляющей трубы свободно изливается в приемный кожух водоподъемника, поэтому

$$p_{\text{вых}} = p_{\text{атм}} \quad (11)$$

($p_{\text{атм}}$ — атмосферное давление).

Давление на входе в направляющую трубу равно:

$$p_{\text{вх}} = p_{\text{атм}} + H_3 \cdot \gamma, \quad (12)$$

где H_3 — величина заглубления направляющей трубы под динамический уровень в колодце.

Подставляя (11) и (12) в (10), получим

$$N = \gamma \left(1 - \frac{H_3}{L} \right) = \gamma \frac{H}{L} \quad (13)$$

($H = L - H_3$ — высота подъема жидкости).

При заглублении, достаточно малом по сравнению с высотой подъема жидкости, можно считать

$$N = \gamma. \quad (14)$$

После интегрирования (9)

$$\tau = -Ny + c. \quad (15)$$

Постоянную интегрирования находим из условия

$$y = 0; \quad \tau = \tau_p;$$

тогда

$$c = \tau_p.$$

Подставив значение c в (15), получим

$$\tau = \tau_p - Ny. \quad (16)$$

Из (16) следует, что касательное напряжение в направляющей трубе распределяется по линейному закону, уменьшаясь от наибольшего значения на поверхности ремня ($y=0; \tau=\tau_p$) до наименьшего на стенке направляющей трубы:

$$y = h_0; \quad \tau_{\text{ст}} = \tau_p - Nh_0. \quad (17)$$

1. Установим параметры движения жидкости при подъеме лентой в направляющей трубе водоподъемника в случае ламинарного режима. Эюра скоростей определится из совместного решения уравнения (9) и формулы Ньютона:

$$\tau = -\mu \frac{du}{dy} \quad (18)$$

(μ — динамический коэффициент вязкости жидкости).
Дифференцируя (18) и внося в (9), получим

$$d\left(\mu \frac{du}{dy}\right) = N dy, \quad (19)$$

или

$$d\left(\frac{du}{dy}\right) = \frac{N}{\mu} dy. \quad (20)$$

Заменяем

$$\frac{N}{\mu} = \varepsilon, \quad (21)$$

Если (21) внести в (20), то

$$d\left(\frac{du}{dy}\right) = \varepsilon dy. \quad (22)$$

После интегрирования находим

$$\frac{du}{dy} = \varepsilon (y + c_1), \quad (23)$$

или

$$du = \varepsilon (y + c_1) dy.$$

Интегрируя вторично, получим

$$u = \varepsilon \left(\frac{y^2}{2} + c_1 y + c_2 \right). \quad (24)$$

Постоянные интегрирования c_1 и c_2 определяются из граничных условий:

$$y = 0; \quad u = v;$$

$$y = h_0; \quad u = 0$$

(v — скорость движения ленты).

Тогда

$$c_2 = \frac{v}{\varepsilon},$$

$$c_1 = -\frac{v}{\varepsilon h_0} - \frac{h_0}{2}. \quad (25)$$

Производительность подъема жидкости обеими сторонами ленты в направляющей трубе равна:

$$Q = 2b \int_0^{h_0} u dy. \quad (26)$$

Внесем в (26) значение u (24):

$$Q = 2b\varepsilon \int_0^{h_0} \left(\frac{y^2}{2} + c_1 y + c_2 \right) dy = 2b\varepsilon \left(\frac{h^3}{6} + c_1 \frac{h_0^2}{2} + c_2 h_0 \right). \quad (27)$$

Подставив в это выражение значения c_1 и c_2 из (25), после преобразований получим

$$Q = bh_0 v - \frac{bh_0^3}{6} \varepsilon, \quad (28)$$

или

$$Q = Av - B, \quad (29)$$

где

$$A = bh_0, \quad (30)$$

$$B = \frac{bh_0^3}{6} \varepsilon.$$

Из уравнения (29) видно, что зависимость $Q = f(v)$ представляет собой прямую линию.

Гидравлический коэффициент полезного действия подъема жидкости лентой в направляющей трубе

$$\eta_{\text{г}} = \frac{\gamma Q H}{P_3}. \quad (31)$$

При этом

$$P_3 = 2bH\tau_p v, \quad (32)$$

где P_3 — работа, затрачиваемая в единицу времени лентой на трение о жидкость;

H — высота подъема жидкости;

τ_p — касательное напряжение на поверхности ремня (ленты).

Подставив (32) в (31), имеем

$$\eta_{\text{г}} = \frac{\gamma Q}{2b\tau_p v}. \quad (33)$$

Касательное напряжение на поверхности ремня равно:

$$\tau_p = -\mu \left(\frac{du}{dy} \right)_{y=0}. \quad (34)$$

Внеся значение $\frac{du}{dy}$ при $y=0$ из (23) с учетом c_1 (25), найдем

$$\tau_p = \mu \left(\frac{v}{\varepsilon h_0} + \frac{h_0}{2} \right) \varepsilon. \quad (35)$$

Подставляя (35) и (28) в (33) и учитывая (21), находим

$$\eta_{\text{г}} = \frac{\gamma h_0 \left(v - \frac{\varepsilon h_0^2}{6} \right)}{2v \left(\frac{v}{\varepsilon h_0} + \frac{h_0}{2} \right) N}. \quad (36)$$

Для определения скорости движения ремня, при которой гидравлический к. п. д. достигает наибольшего значения (оптимальная скорость), приравняем к нулю производную

$$\frac{d\tau_r}{dv} = 0$$

и, решая уравнение относительно v , получим

$$v_{\text{опт}} = \frac{\varepsilon h_0^2}{6} \pm \frac{\varepsilon h_0^2}{3}.$$

Оптимальная скорость движения ленты не может быть отрицательной, следовательно, берем знак плюс и получаем

$$v_{\text{опт}} = \frac{\varepsilon h_0^2}{2}. \quad (37)$$

Учитывая (14) и (21), перепишем:

$$v_{\text{опт}} = \frac{g}{\nu} \cdot \frac{h_0^2}{2}, \quad (38)$$

где g — ускорение силы тяжести;

ν — кинематический коэффициент вязкости жидкости.

Таким образом, оптимальная скорость движения ленты прямо пропорциональна квадрату зазора между лентой и стенкой направляющей трубы и обратно пропорциональна первой степени кинематического коэффициента вязкости жидкости.

Если подставить (37) в (36), то:

$$\tau_r^{\text{max}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\gamma}{N}.$$

Учитывая (14), окончательно найдем

$$\tau_r^{\text{max}} = \frac{1}{3}. \quad (39)$$

Из уравнения (39) следует, что максимальное значение гидравлического к. п. д. не зависит ни от рода жидкости, ни от размера зазора h_0 между лентой и стенкой направляющей трубы и для каждой жидкости и величины зазора существует своя наивыгоднейшая скорость движения рабочего органа ($v_{\text{опт}}$), при которой $\tau_r^{\text{max}} = \frac{1}{3}$.

Разделив обе стороны уравнения (28) на $2bh_0$, найдем среднюю скорость подъема жидкости при оптимальной скорости ленты

$$u_{\text{ср.опт}} = \frac{v_{\text{опт}}}{2} - \frac{h_0^2}{12} \varepsilon. \quad (40)$$

Учитывая (40) и (37), перепишем (36) в виде

$$\tau_r^{\text{max}} = \frac{\gamma h_0^2 u_{\text{ср.опт}}}{2v_{\text{опт}} \left(\frac{1}{\varepsilon h_0} \cdot \frac{\varepsilon h_0^2}{2} + \frac{h_0}{2} \right) N}.$$

Учитывая (14), окончательно имеем

$$\gamma_{ic}^{max} = \frac{u_{cp,ont}}{v_{ont}}. \quad (41)$$

В. Н. Машков [7] при испытании водоподъемника с открытой лентой (без направляющей трубы) определил, что при ламинарном режиме абсолютная скорость движения поверхностного слоя жидкости равна нулю и $\gamma_{ic}^{max} = \frac{u_{cp}}{v} = \frac{1}{3}$. У нас условия аналогичные, так как скорость движения жидкости у стенки направляющей трубы тоже равна нулю и, следовательно, при $\gamma_{ic} = \frac{u_{cp,ont}}{v_{ont}}$ его величина, равная 1/3, соответствует опытным данным.

2. Для анализа процесса подъема жидкости лентой в направляющей трубе при турбулентном режиме нами поставлены лабораторные опыты.

Экспериментальная установка шнурового водоподъемника (рис. 2) состоит из водоприемного корпуса 1, направляющей трубы 2 и рабочего органа 3. Рабочий орган в виде бесконечной плоской резиновой ленты охватывает сверху ведущий барабан 4 и внизу натяжной ролик 5. Направляющая труба (7,5 м длины) верхним концом входит в водоприемный корпус, а нижним с натяжным роликом опущена под уровень воды в колодце.

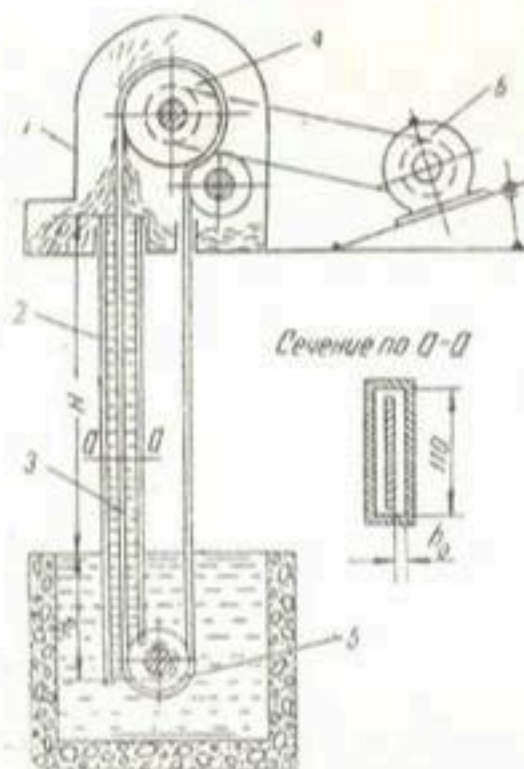


Рис. 2.

Внутреннее пространство направляющей трубы в поперечном сечении представляет собой прямоугольник с основанием 110 мм; высота его может изменяться от 30 до 60 мм.

Прорезиненная лента (11×100 мм сечения) разделяет трубу на две полости, создавая два симметричных потока.

Заглубление нижнего конца направляющей трубы под динамический уровень воды в колодце во время опытов было постоянным и равным 1,35 м. Уменьшение заглубления приводило к аэрации потока, так как воздух, захваченный рабочим органом, частично попадал

внутрь направляющей трубы. Аэрация потока искажала результаты испытаний.

Для понижения аэрации потока у холостой ветви ленты под уровнем воды в колодце были поставлены отражатели, которые снимали и отводили в сторону прилежащие к ленте насыщенные воздухом слои воды.

Привод водоподъемника осуществлялся от асинхронного электродвигателя 6 трехфазного тока с короткозамкнутым ротором. Скорость движения рабочего органа изменялась от 5,5 до 10 м/сек с помощью сменных шкивов клиноременной передачи от электродвигателя к водоподъемнику.

Скорость движения ленты определяли по времени десяти ее полных оборотов. Производительность измеряли объемным способом, мощность, потребляемую электродвигателем, — ваттметром.

Шероховатость поверхности рабочих органов взята трех видов. Одна из лент имела практически гладкую поверхность (средняя высота выступов шероховатости $K_p \approx 0,01$ мм). Вторая лента — стандартный плоский прорезиненный хлопчатобумажный ремень (высота выступов шероховатости ремня $K_p \approx 0,25$ мм). На обрешиненной поверхности третьей ленты были нанесены канавки глубиной 1,5 мм и шагом между ними 4 мм. Угол между откосами канавки 75° .

Модель испытывали с шероховатым рабочим органом ($K_p = 1,5$ мм) при толщине потока h_0 (расстояние между параллельными плоскостями ленты и направляющей трубы) — 9,4, 13,5, 19 и 23 мм, с гладкой лентой ($K_p = 0,01$ мм) при $h_0 = 13,5$ мм и со стандартным прорезиненным ремнем ($K_p = 0,25$ мм) при $h_0 = 16$ мм.

Русла потоков — стальные поверхности, покрытые коррозией (средняя высота выступов шероховатости около 0,2 мм). Среднее значение эквивалентной абсолютной шероховатости ($K_{ст}$) мы приняли равным 0,2 [10].

По результатам испытаний для толщины потока $h_0 = 13,5$ мм и шероховатости поверхности ленты — $K_p = 1,5$ мм составлен баланс мощности водоподъемника (рис. 3). Элементы баланса рассчитывали в зависимости от скорости движения рабочего органа.

Энергия в единицу времени, переданная на вал водоподъемника, расходуется на полезную работу и потери.

Полезно затраченную мощность — N_n — определяли по формуле:

$$N_n = \frac{\gamma Q H}{102} \text{ квт.}$$

Основные потери мощности следующие:

1) механические — N_m — на трение в подшипниках, деформацию ремня и др. С достаточным приближением за механические потери можно принять потребляемую мощность во время работы водоподъемника на холостом ходу, т. е. при уровне воды в колодце ниже натяжного ролика;

2) гидравлические — при входе воды в направляющую трубу и выходе из нее — $N_{вх}$ и $N_{вых}$, определяемые по формуле

$$N_{вх} = \zeta \frac{u_{ср}^2}{2g} \cdot \frac{\gamma \cdot Q}{102} \text{ квт.},$$

где ζ — коэффициент сопротивления;

$u_{ср}$ — средняя скорость потока;

3) на трение нижнего ролика о воду — N_p , рассчитывавшиеся по формуле [9]

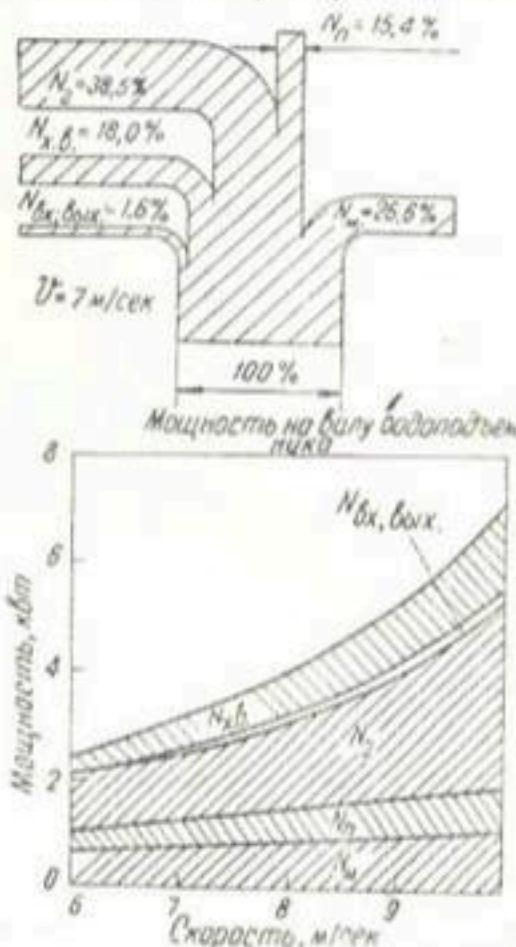


Рис. 3.

$$N = 0,0011u^3D^2 \text{ л. с.,}$$

где D — наружный диаметр ролика;

u — окружная скорость на диаметре D , принимаемая равной скорости движения ленты;

4) гидравлические — на трение холостой ветви ленты о воду — $N_{х.в}$.

По опытным данным $N_{х.в}$ равняется $0,0015 v^3$;

5) объемные — $N_{об}$, — связанные со стеканием воды в колодец по нисходящей ветви ленты, устанавливаемые объемным способом — снятием воды с нисходящей ветви ленты специальным прибором;

6) гидравлические — N_r — на трение при движении воды в направляющей трубе, определявшиеся как разность между всей затраченной мощностью и суммой всех потерь.

Таким образом, мощность, подведенная к водоподъемнику,

$$N_v = N_m + N_{\text{нах}} + N_r + N_{х.в} + N_{\text{п}} + N_f + N_{об}.$$

Потери на трение натяжного ролика о воду (N_r) и объемные потери ($N_{об}$) на рис. 3 не показаны из-за их незначительности.

Из баланса мощности (рис. 3) видно, что основные потери — гидравлические — на трение при движении воды в направляющей трубе.

На рис. 4 показана зависимость средней скорости движения воды в направляющей трубе водоподъемника от скорости движения ленты.

Как видно из расположения опытных точек на рис. 4, эти зависимости с достаточной степенью точности могут быть выражены в виде прямых линий.

При шероховатой ленте ($K_p = 1,5$) с увеличением h_0 углы наклона прямых средних скоростей потока к оси — v — увеличиваются, с другой стороны, при постоянной толщине потока $13,5 \text{ мм}$ при шероховатой ($K_p = 1,5$) и гладкой ($K_p = 0,01$) лентах угол наклона прямой почти не изменяется. Следовательно, угол наклона прямой средней скорости потока увеличивается с уменьшением относительной шероховатости стенки и мало зависит от относительной шероховатости ленты.

Для определения средней скорости движения воды в направляющей трубе при расчетах водоподъемника мы предлагаем формулу

$$u_{\text{ср}} = \Theta v - \beta W_{\text{ср.от}} T. \quad (42)$$

$$\Theta = 1 - B \sqrt{\lambda_{\text{ст}}},$$

$$\beta = 1 - C \sqrt{\lambda_{\text{ст}}},$$

При этом

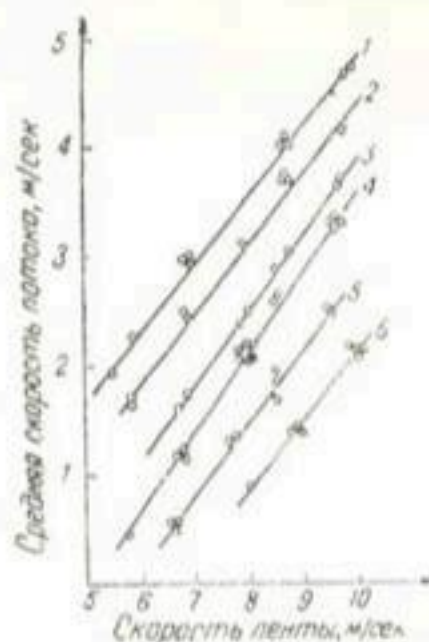


Рис. 4.

1— $h_0=9,4$; $K_p=1,5$; 2— $h_0=13,5$; $K_p=1,5$; 3— $h_0=19,0$; $K_p=1,5$; 4— $h_0=23,0$; $K_p=1,5$; 5— $h_0=16,5$; $K_p=0,25$; 6— $h_0=13,5$; $K_p=0,01$. h_0 — величина зазора между плоскостями ленты и стенкой направляющей трубы. K_p — средняя абсолютная величина выступов шероховатости поверхности ленты (ремня).

$$W_{\text{ср.от}} = V \sqrt{\frac{2gK_p}{\lambda_p}},$$

$$T = V \sqrt{1 - \frac{H_3}{L}},$$

где $u_{\text{ср}}$ — средняя скорость воды, поднимаемой лентой внутри направляющей трубы;

v — скорость движения ленты;

$\lambda_{\text{ст}}$ — коэффициент сопротивления стенок направляющей трубы;

λ_p — коэффициент сопротивления ремня (ленты);

g — ускорение силы тяжести;

H_3 — заглубление направляющей трубы под динамический уровень воды в колодце;

L — длина направляющей трубы;

B, C — коэффициенты пропорциональности;

R_p — условная величина, представляющая собой гидравлический радиус потока при движении жидкости относительно ремня (ленты). Определяется делением живого сечения потока на периметр поперечного сечения ленты. Для данного случая

$$R_p \approx h_0.$$

Формула (42) при данных конструктивных параметрах водоподъемника, постоянной температуре жидкости и заглублении представляет собой прямую линию $u_{\text{ср}} = f(v)$ при условии постоянства коэффициентов сопротивления λ_p и $\lambda_{\text{ст}}$.

Для серии наших опытов, зная относительную шероховатость поверхностей ленты и трубы (таблица) и числа Рейнольдса, значения коэффициентов сопротивления находили по графику А. П. Зегжда.

В. Н. Машков [8] при испытании водоподъемника с открытой лентой (без направляющей трубы) установил гидравлическую характеристику шероховатости лент, примененных в наших испытаниях, определением коэффициента сопротивления и нанесением опытных точек на график А. П. Зегжда. По этим опытам шероховатости поверхностей лент ($K_p = 1,5 \text{ мм}$ и $K_p = 0,25 \text{ мм}$) с небольшим приближением могут быть приняты за равномерные.

Числа Рейнольдса для движения жидкости относительно ленты, полученные по формуле

$$R_e = \frac{(v - u_{\text{ср}}) h_0}{\nu},$$

при значениях относительной гладкости поверхности ленты от 6 до 64 определяют квадратичную зону сопротивления и коэффициент $\lambda_p = \text{const}$.

Числа Рейнольдса для движения жидкости относительно стенок трубы находили по формуле

$$R_e = \frac{u_{\text{ср}} R_{\text{ст}}}{\nu},$$

где $R_{\text{ст}}$ — гидравлический радиус, вычисленный делением площади сечения потока на длину смоченного периметра поперечного сечения направляющей трубы.

При относительной гладкости от 38 до 76 стенки трубы характеризуются в основном как русло, переходящее от гладкого к шероховатому.

В этой зоне лежит наибольшее значение гидравлического коэффициента полезного действия, определенного в наших опытах.

В переходной области для значений относительной гладкости стенок трубы более 30 коэффициент сопротивления изменяется незначительно и характеристику $u_{cp} = f(v)$ приближенно можно считать прямой линией. При этом коэффициент Θ в формуле (42) является тангенсом угла наклона прямой $u_{cp} = f(v)$ к оси v .

$T = \sqrt{1 - \frac{H_a}{L}}$ в формуле (42) при прочих постоянных условиях определяет зависимость $u_{cp} = \varphi(H_a)$.

Специальные опыты [3] с изменением заглубления показали, что эта зависимость также представляет собой прямую линию. Формула (42) дает удовлетворительное совпадение с опытами при значениях $0 < \frac{H_a}{L} < 0,8$, что охватывает весь диапазон заглублений, который может иметь место при эксплуатации водоподъемника.

На рис. 4 опытные точки определены при скоростях ленты, обеспечивающих заполнение сечения направляющей трубы. При уменьшении скорости ленты вода движется вверх по ней, не заполняя сечения трубы. Поэтому в действительности нет такой скорости движения ленты, при которой вода заполняла бы все сечение трубы, а средняя скорость потока была равной нулю. Однако для удобства расчетов мы можем принять, что такая скорость ленты существует. Назовем ее начальной скоростью движения ленты v_0 , выше которой, условно, начинается подача жидкости полным сечением направляющей трубы. Тогда она определится точкой пересечения продолжения прямой средней скорости потока с осью v .

Принимая $u_{cp} = 0$, из формулы (42) получим:

$$v = v_0 = \alpha W_{cp, от} T, \quad (43)$$

где

$$\alpha = \frac{\beta}{\Theta},$$

после чего уравнение (42) можно представить

$$u_{cp} = \Theta (v - v_0). \quad (44)$$

Приняв в уравнении (42) $\lambda_{ст} = 0$ и $T = 1$, получим формулу средней скорости движения жидкости, поднимаемой открытой лентой,

$$u_{cp} = v - W_{cp, от}, \quad (45)$$

где

$$W_{cp, от} = \sqrt{\frac{2gR_p}{\lambda_p}}.$$

Рабочая характеристика подъема воды лентой в направляющей трубе $u_{cp} = f(v)$ представляет собой прямую линию, поэтому для ее построения нужно определить тангенс угла наклона и точку пересечения с осью v , т. е. величины Θ и v_0 в уравнении (44).

В таблице приведены опытные данные величин Θ и v_0 , по которым вычислены значения коэффициентов B и C .

Поперечное сечение потока в направляющей трубе имело форму прямоугольника с отношением основания к высоте $\frac{b}{h_0}$ от 5 до 10. Поэтому при подсчете коэффициента сопротивления стенок трубы

Таблица

h_0 , мм	K_p , мм	R_{cr} , мм	Θ	$\frac{R_{cr}}{K_{cr}}$	$\frac{R_p}{K_p}$	λ_{cr}	λ_p	v_0 , м/сек	$W_{cr,от} T$, м/сек	$\alpha = \frac{v_0}{W_{cr,от} T}$	$C = \frac{1-\alpha\Theta}{V \lambda_{cr}}$	$B = \frac{1-\Theta}{V \lambda_{cr}}$
9,4	1,5	7,60	0,632	38	6,3	0,0089	0,0186	2,40	2,86	0,840	4,98	3,89
13,5	1,5	10,20	0,652	51	9,0	0,00795	0,0158	3,20	3,71	0,862	4,94	3,91
19,0	1,5	13,30	0,671	66	12,7	0,00645	0,0141	4,15	4,66	0,890	5,0	4,08
23,0	1,5	15,25	0,694	76	15,3	0,0063	0,0126	4,95	5,48	0,903	4,75	3,86
16,0	0,25	11,90	0,650	59	64,0	0,00675	0,0064	5,80	6,40	0,906	5,03	4,23

взят гидравлический радиус, получаемый делением площади живого сечения потока на длину смоченного периметра направляющей трубы

$$\lambda_{cr} = f\left(-\frac{R_{cr}}{K_{cr}}\right).$$

В формуле $W_{cr,от} = V \sqrt{\frac{2gR_p}{\lambda_p}}$ коэффициент сопротивления ленты (ремня) $\lambda_p = f\left(\frac{R_p}{K_p}\right)$.

λ_{cr} и λ_p определили по графику А. П. Зегжда [5].

Как видно из таблицы, коэффициенты B и C в пределах опытов приблизительно постоянны. За средние значения можно принять $B = 4,0$, $C = 4,95$.

Следовательно, имея значения этих коэффициентов, можно определить величины Θ и v_0 в формуле (44) и построить рабочую характеристику $u_{cr} = f(v)$ для других, близких к нашим значениям, конструктивных параметров водоподъемника.

Испытания водоподъемника с направляющими трубами круглого поперечного сечения и рабочими органами, изготовленными из резиновых лент, показали, что формула (42) с указанными значениями коэффициентов B и C с достаточной точностью удовлетворяет требованиям практики в пределах относительной гладкости поверхности лент от 6 до 108 и стенок труб от 40 до 154.

Гидравлический коэффициент полезного действия подъема жидкости лентой в направляющей трубе водоподъемника равен:

$$\eta_r = \frac{\gamma Q H}{H_a}, \quad (46)$$

При этом

$$Q = 2bh_0u_{cr}, \quad (47)$$

$$P_3 = 2\tau_p L b v. \quad (48)$$

Из уравнения (17)

$$\tau_p = \tau_{ст} + N h_0.$$

Величина N определяется уравнением (13)

$$N = \gamma \left(1 - \frac{H_3}{L} \right).$$

Учитывая

$$T = \sqrt{1 - \frac{H_3}{L}} = \sqrt{\frac{H}{L}}, \quad (49)$$

получим

$$\tau_p = \tau_{ст} + \gamma h_0 T^2.$$

Принимая касательное напряжение на стенке пропорциональным квадрату средней скорости потока, имеем

$$\tau_p = \frac{\lambda_{ст}}{2} \rho u_{ср}^2 + \gamma h_0 T^2. \quad (50)$$

Внося в (46) значение Q (47) и P_3 (48) с учетом выражения T (49) и τ_p (50), получим

$$\eta_{г} = \frac{g h_0 T^2}{\frac{\lambda_{ст}}{2} u_{ср}^2 + g h_0 T^2} \cdot \frac{u_{ср}}{v}. \quad (51)$$

Заменяя в уравнении (51) $u_{ср}$ из (44), получим

$$\eta_{г} = \frac{\Theta g h_0 T^2}{\frac{\lambda_{ст}}{2} \Theta^2 (v - v_0)^2 + g h_0 T^2} \left(1 - \frac{v_0}{v} \right). \quad (52)$$

Принимая в уравнении (52) $\lambda_{ст} = 0$; $T = 1$ и учитывая, что при этом $\Theta = \beta = 1$ и, следовательно, согласно (43), $v_0 = W_{ср. от}$, получим выражение для гидравлического к.п.д. подъема жидкости открытой лентой

$$\eta_{г} = 1 - \frac{W_{ср. от}}{v}. \quad (53)$$

Подставляя сюда значение $W_{ср. от} = \sqrt{\frac{2g h_0}{\lambda_p}}$, найдем

$$\eta_{г} = 1 - \frac{1}{v} \cdot \sqrt{\frac{2g h_0}{\lambda_p}}, \quad (54)$$

откуда видно, что гидравлический к.п.д. подъема жидкости открытой лентой с увеличением скорости движения ленты стремится к пределу, равному единице (без учета трения воздуха).

В уравнении (52) выражение $1 - \frac{v_0}{v}$ с возрастанием скорости движения ленты тоже стремится к пределу, равному единице. Следовательно, наибольшее значение гидравлического к.п.д. подъема жидко-

сти в направляющей трубе водоподъемника ограничивается величиной потерь энергии на трение жидкости о стенки направляющей трубы.

Для нахождения оптимальной скорости движения ремня, при которой гидравлический к.п.д. имеет наибольшее значение, приравняем к нулю производную (52):

$$\frac{d\eta_r}{dv} = 0.$$

После преобразований

$$v^3 - 2,5 v^2 v_0 + 2v \cdot v_0^2 - 0,5 v_0^3 = \frac{gh_0 T^2 v_0}{\theta^2 \lambda_{ст}}. \quad (55)$$

Левую часть уравнения (55), приближенно, можно заменить выражением

$$(v - 0,8 v_0)^3 \approx \frac{gh_0 T^2 v_0}{\theta^2 \lambda_{ст}},$$

откуда

$$v_{опт} \approx 0,8 v_0 + \sqrt[3]{\frac{gh_0 T^2 v_0}{\theta^2 \lambda_{ст}}}. \quad (56)$$

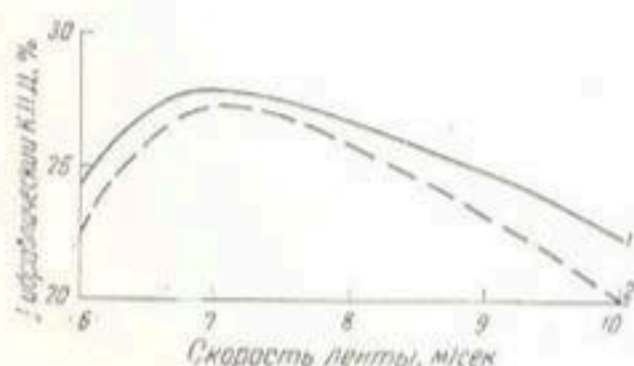


Рис. 5.
1 — расчетная кривая, 2 — опытная кривая.

Подставляя значение $v_{опт}$ на место v в исходное уравнение

(52), получим оптимальное значение гидравлического к.п.д.

Для неплоских потоков, например, при подъеме воды лентой в трубах прямоугольного или круглого сечения надо заменить касательные напряжения их средними значениями.

Среднее касательное напряжение на поверхности ремня

$$\tau_{р,ср} = \tau_{ст,ср} \cdot \frac{P_{ст}}{P_p} + R_p \gamma T^2, \quad (57)$$

где $\tau_{р,ср}$ и $\tau_{ст,ср}$ — средние касательные напряжения на поверхностях ремня и трубы;

P_p и $P_{ст}$ — периметры поперечных сечений ремня и трубы.

Учитывая (57), формулы (52) и (56) для неплоского потока в направляющей трубе водоподъемника примут вид:

$$\eta_r = \frac{\theta g R_p T^2}{\frac{P_{ст}}{P_p} \cdot \frac{\lambda_{ст}}{2} \theta^2 (v - v_0)^2 + g R_p T^2} \left(1 - \frac{v_0}{v}\right); \quad (58)$$

$$v_{опт} \approx 0,8 v_0 + \sqrt[3]{\frac{g R_p T^2 v_0 P_p}{\theta^2 \lambda_{ст} P_{ст}}}. \quad (59)$$

На рис. 5 приведен график зависимости гидравлического к.п.д. от скорости движения ленты для $h_0 = 13,5$ мм и $K_p = 1,5$ мм. Кривая 1 рассчитана по формуле (58), в которую подставлялись величины θ и v_0 , взятые из опытного графика рис. 4.

Кривая 2 построена на основании баланса мощности по формуле

$$\eta_{lr} = \frac{N_n}{N_n + N_r},$$

где N_n — полезно затраченная мощность;

N_r — мощность, затраченная на трение при движении воды в направляющей трубе водоподъемника.

Обе кривые имеют одинаковый характер изгиба и значения $\eta_{lr} = f(v)$, при оптимальном режиме отличаются незначительно.

ВЫВОДЫ

1. Максимальное значение гидравлического к.п.д. подъема жидкости лентой в плоской направляющей трубе водоподъемника в случае ламинарного режима движения жидкости составляет одну треть.

2. Для каждой величины зазора между лентой и стенкой направляющей трубы при ламинарном режиме движения жидкости существует своя оптимальная скорость движения ленты, при которой гидравлический коэффициент полезного действия имеет максимальное значение.

3. Основные потери энергии при турбулентном режиме — гидравлические — на трение внутри направляющей трубы в процессе подъема жидкости лентой.

4. С увеличением скорости движения ленты гидравлический к.п.д. подъема жидкости в направляющей трубе при турбулентном режиме ограничивается величиной потерь энергии в основном на трение жидкости о стенки направляющей трубы.

5. Расчетные уравнения с достаточным приближением отображают энергетическую сторону подъема воды лентой в направляющей трубе при турбулентном режиме. В пределах относительной гладкости поверхностей лент от 6 до 108 и стенок труб от 40 до 154 они могут быть использованы при проектировании шнуровых водоподъемников и выборе режимов их работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евтихийев Б. Е. Результаты исследования работы шнуровых водоподъемников, Труды Гродненского сельскохозяйственного института, Минск, Изд-во АН БССР, 1954.
2. Еременков А. Г. К вопросу о механизации водоснабжения из скважин на пастбищах в пустынных районах Средней Азии, Труды САНИИРИ, № 102, Ташкент, 1959.
3. Еременков А. Г. Шнуровые водоподъемники для водоснабжения из скважин на пастбищах отгонного животноводства, В сб. „Вопросы гидротехники“, вып. 3, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1961.
4. Жуковский Н. Е. О трении жидкости при большой разности скоростей ее струй, Собрание сочинений, т. 3, 1957.
5. Зегжда А. П. Гидравлические потери на трение в каналах и трубопроводах, Л., 1957.
6. Лейбензон Л. С. К теории шнуровых насосов, Собрание трудов, т. 3, М., Изд-во АН СССР, 1955.
7. Машков В. Н. Некоторые вопросы теории и экспериментальные исследования ленточных водоподъемников, Труды САНИИРИ, № 94, Ташкент, 1958.
8. Машков В. Н. Влияние шероховатости поверхности ленты на работу ленточного водоподъемника, Труды САНИИРИ, № 100, Ташкент, 1960.
9. Пфлейдерер К. Центробежные и пропеллерные насосы, М.—Л., ОНТИ, 1937.
10. Справочник машиностроителя, т. 2, М., Машгиз, 1956.

Н. Н. ОМЕЛИН

ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЙ ВО ВСАСЫВАЮЩИХ ТРУБАХ НАСОСОВ, НАХОДЯЩИХСЯ ПОД ЗАЛИВОМ

Давление во всасывающих трубах насосов, находящихся под заливом, приходится измерять в заводских и производственных условиях. Эти измерения необходимы для определения полного напора насоса, а также для выявления потерь напора на входе и по длине всасывающего трубопровода при различных производительностях насоса.

Замеры часто производятся без учета таких специфических особенностей, как большая длина соединительных трубок, возможность наличия двухфазной среды вода — воздух, значительное заглубление штуцера отбора давлений под уровень воды, возможность большого превышения прибора над зеркалом воды, выделение из воды при понижении давления водяных паров и растворенных газов и т. д. Наличие различных условий приводит к тому, что давления во всасывающей трубе насоса часто измеряются неверно, несмотря на кажущуюся простоту вопроса. Схема подключения U-образного мановакуумметра к всасывающей трубе насоса представлена на рис. 1 (а и б).

Особое внимание должно уделяться правильности постановки штуцера на всасывающей трубе насоса (рис. 1а), так как даже небольшие отклонения в его установке приводят к значительным искажениям результатов измерений. В соединительной трубке при подключении к ней мановакуумметра будет и вода, и воздух. Граница их раздела совпадает с уровнем воды в источнике. Во время работы насоса прибор покажет какое-то разрежение, которое будет увеличиваться с повышением производительности насоса. С понижением давления над поверхностью воды из нее начинают выделяться пары и растворенные газы. Чем больше производительность насоса, тем ниже давление в измеряемом сечении, а следовательно, и уровень воды в соединительной трубке (рис. 2); при некоторой производительности насоса вода из нее может уйти. Если производительность увеличивать дальше, из трубки начнет отсасываться воздух. Необходимо отметить, что даже при неизменной производительности насоса уровень воды в трубке непостоянный. Он зависит как от продолжительности работы установки, так и от смены режимов работы.

Рассмотрим, можно ли замерять величину разрежения указанным выше способом.

В зависимости от заглубления точки присоединения мановакуумметра к всасывающей трубе (рис. 2) могут встретиться следующие три случая:

1) понижение уровня воды в трубке меньше заглубления места подключения мановакуумметра к всасывающей трубе

$$\Delta h_1 < h_1;$$

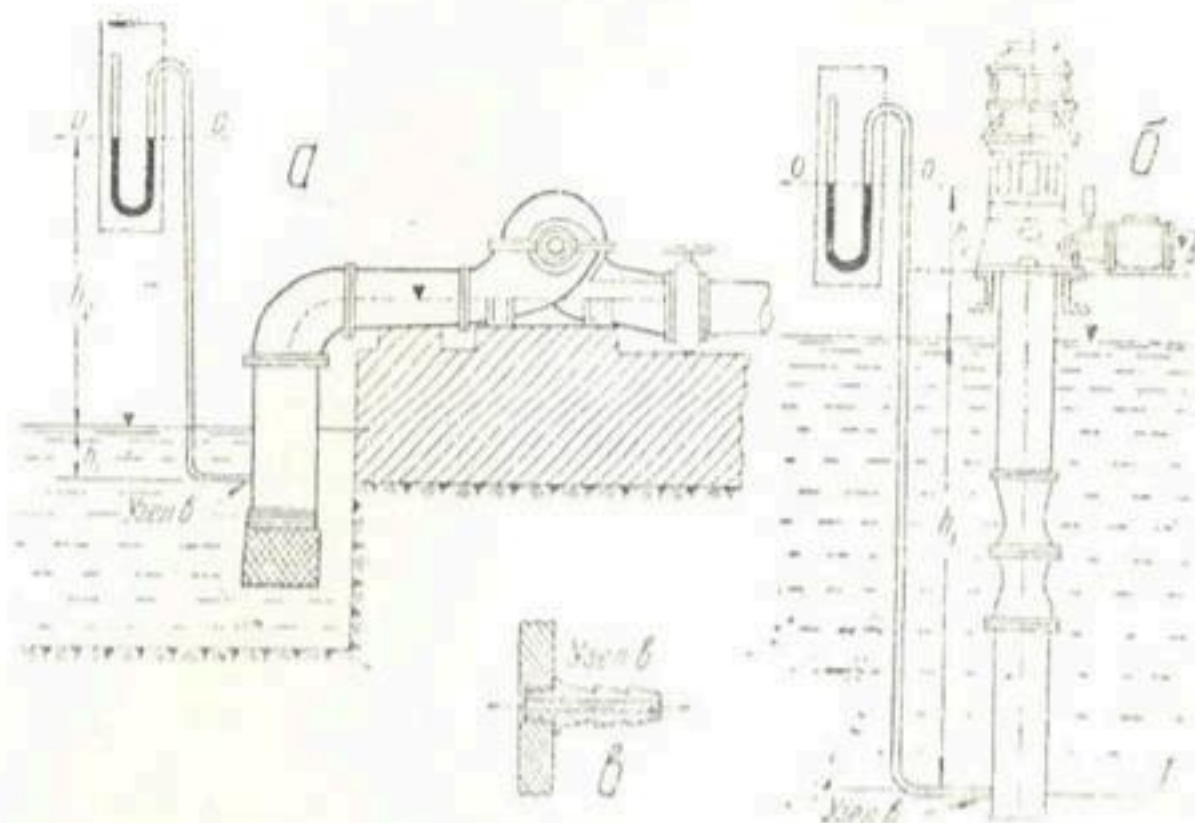


Рис. 1. Общий вид установок с приборами для измерения давления во всасывающей трубе.

а — общий центробежный насос, *б* — глубинный насос, *в* — схема установки штуцера на всасывающей трубе.

2) понижение уровня воды в трубке равно заглублению места подключения мановакуумметра к всасывающей трубе

$$\Delta h_1 = h_1;$$

3) из трубки мановакуумметра отсасывается воздух, что условно обозначается:

$$\Delta h_1 > h_1.$$

Необходимо учитывать, что при испытаниях насосов, как правило, производительность или увеличивается от минимума до максимума, а затем уменьшается опять до минимума, или уменьшается от максимума до минимума, а потом увеличивается до максимума. Эти изменения режимов влияют как на выделение в трубку мановакуумметра паров воды и растворенных газов, так и на объем воздуха в этой трубке. Кроме того, на объем воздуха в трубке влияет длительность работы в определенном режиме: чем дольше работает насос, тем больше паров воды и растворенного воздуха выделяется в трубку мановакуумметра. В связи с этими положениями ниже рассматриваются различные варианты присоединения мановакуумметра к всасывающей трубе.

1. При понижении уровня воды в трубке меньше заглубления насоса (рис. 2) давление на стенки в измеряемом сечении 1—1 можно определить из уравнения гидростатики:

$$P_1 = P_0 - \Delta h_{\text{гг}} + h_{\text{в.в.}} \quad (1)$$

где P_1 — давление на стенки в расчетном сечении 1—1;
 P_0 — атмосферное давление;
 Δh — разность показаний ртутного мановакуумметра;
 h_w — высота столба воды в трубке;
 $\gamma_{рт}$ и γ_w — удельные веса ртути и воды.

Вес столба воздуха в трубке мановакуумметра из-за его незначительности не учитывается.

Из уравнения (1) видно, что для определения давления на стенки в сечении 1—1 необходимо знать высоту столба воды в трубке мановакуумметра, а это практически невозможно. Если же пренебречь выделением в трубку водяных паров и растворенного воздуха (т. е. считать, что испытания происходят мгновенно или применена какая-то пленка, препятствующая выделению паров воды и воздуха в трубку), то, пользуясь законом Бойля — Мариотта $p \cdot v = \text{const}$ при постоянной температуре, определяем высоту h_w .

Для этого воспользуемся уравнением

$$P_0 v_0 = P_1 v_1, \quad (2)$$

где v_0 — объем воздуха в трубке при атмосферном давлении (при подключении мановакуумметра);

P_1 — давление воздуха в трубке при определенном режиме;

v_1 — объем воздуха при определенном режиме;

P_0 и v_0 — известны.

P_1 легко определяется по показаниям мановакуумметра

$$P_1 = P_0 - \Delta h \gamma_{рт}. \quad (3)$$

Решив уравнение (2) относительно v_1 и подставив значение P_1 из уравнения (3), получим

$$v_1 = \frac{P_0 v_0}{P_0 - \Delta h \gamma_{рт}}. \quad (4)$$

Разделив объем v_1 на площадь сечения трубки, получим высоту воздушного столба в трубке — h_1 . Затем вычитанием h_1 из полной длины трубки определяется h_w — толщина слоя воды.

Однако вследствие выделения паров воды и растворенного воздуха объем воздуха в трубке в процессе испытания увеличивается (если выдерживается неравенство $\Delta h_1 < h_1$). Поэтому после остановки насоса мановакуумметр будет показывать небольшое избыточное давление (до 0,3—0,4 м вод. ст.).

II. При понижении уровня воды в трубке до места подключения ее к всасывающей трубе давление на стенки в сечении 1—1 измеряется легко. Из уравнения (1) видно, что $h_w = 0$, тогда давление на стенки в сечении 1—1 будет:

$$P_1 = P_0 - \Delta h \gamma_{рт} = P_1. \quad (1a)$$

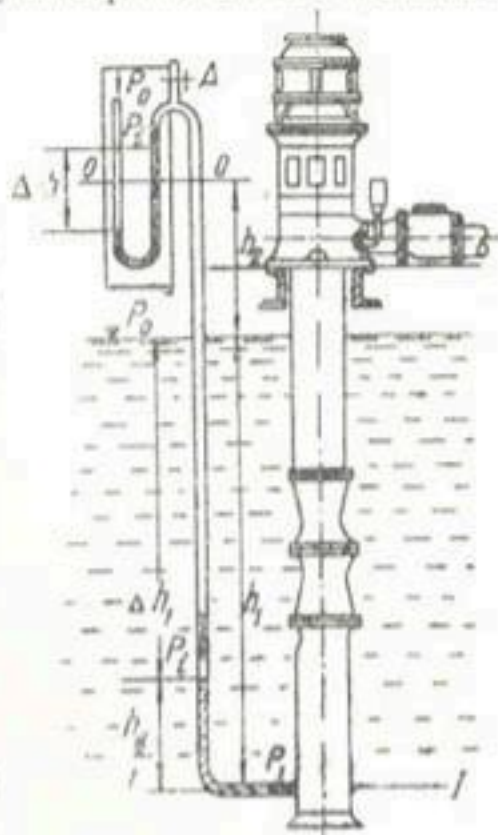


Рис. 2. Схема замеров давления при наличии в трубке воды.

Следовательно, мановакуумметр точно измеряет давление, так как объем воздуха в трубке не меняется. Этот переходный случай соответствует такому давлению на стенки всасывающей трубы насоса, при котором разрежение равно глубине погружения штуцера под уровень воды в источнике (h_1), т. е.

$$\Delta h_{\text{рт}} = h_1, \quad (5)$$

и давление на стенки трубы в сечении 1—1 будет:

$$P_1 = P_0 - h_1. \quad (6)$$

III. При понижении уровня воды в трубке до места подключения мановакуумметра и некотором уменьшении массы воздуха в трубке давление на стенки в сечении 1—1 замеряется легко, если опыты производятся при увеличивающейся производительности насоса. В данном случае действительно уравнение (1а).

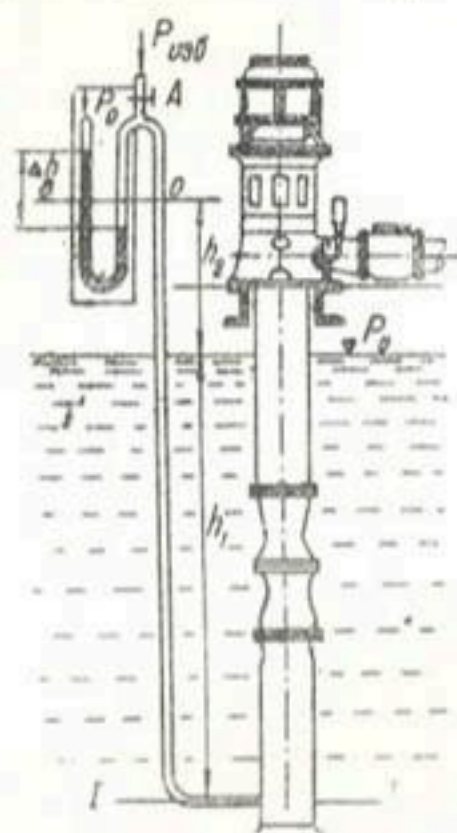


Рис. 3. Схема замеров давления при помощи сжатого воздуха.

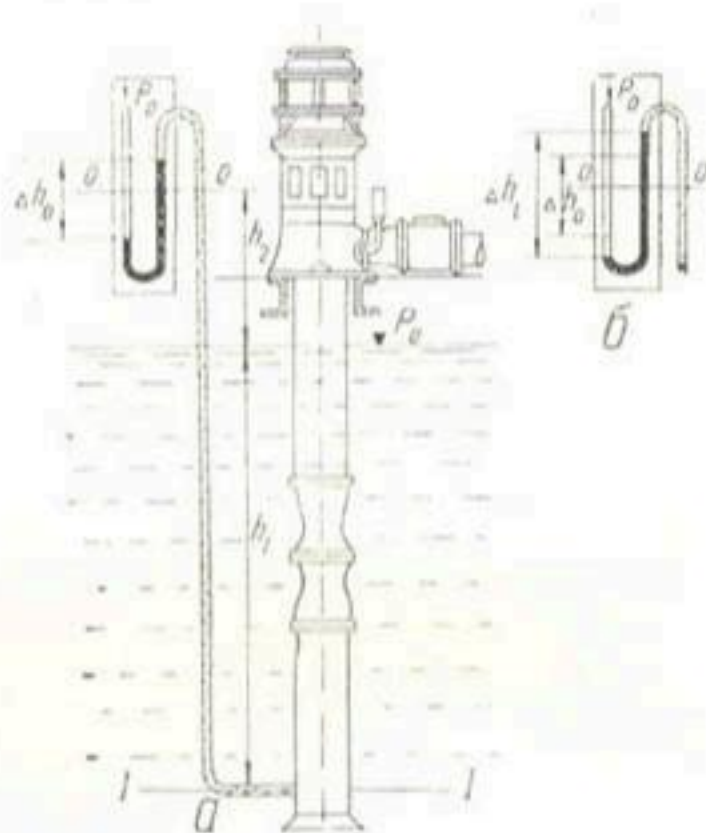


Рис. 4. Схема замеров давления по способу „сифона“.

а — после зарядки, б — при работе.

При достижении максимальной производительности насоса и продолжении испытаний в условиях уменьшающейся производительности результаты искажаются. Это объясняется тем, что при наибольшей производительности создается максимальное разрежение воздуха в трубке. С уменьшением производительности насоса оно становится меньше, поэтому часть трубки заполнится водой. Чем меньше производительность насоса, тем большая часть трубки заполняется водой. При остановке насоса мановакуумметр показывает разрежение, которое в некоторых случаях может превышать 1 м вод. ст.

Иногда при уменьшении производительности насоса получаются надежные замеры, если в соединительную трубку (между всасывающей трубой насоса и мановакуумметром) пускать атмосферный воздух через кран А (рис. 2). При этом возможны два случая:

а) воздух не полностью вытеснил воду из соединительной трубки;

б) полностью вытеснил ее.

Первый случай подобен рассмотренному выше — $\Delta h_1 < h_1$. Он характеризуется тем, что через некоторое время подсос воздуха через кран А прекращается. После закрытия крана А в соединительной трубке находится столб воды, а мановакуумметр дает нулевое показание. Замеры давления на стенки в сечении 1—1 невозможны.

Второй случай подобен $\Delta h_1 > h_1$, так как атмосферный воздух полностью вытесняет воду из соединительной трубки. При открытом кране А он постоянно протягивается через насос; после прекращения доступа воздуха через кран А давление станет ниже атмосферного и мановакуумметр покажет давление на стенки трубы в расчетном сечении.

Следовательно, пуск атмосферного воздуха не дает возможности надежно измерять давление во всасывающих трубах насосов, находящихся под заливом, хотя диапазон замеров расширяется.

Во время испытаний насосов возможны различные комбинации рассмотренных случаев. Например, при значительном заглублении точки подключения трубки мановакуумметра к всасывающей трубе (свыше 4 м) всегда будет только первый случай, а при измерениях разрежения на входе в обычный горизонтальный насос, установленный на поверхности, будут недостатки третьего случая, когда производительность насоса уменьшается от максимальной до минимальной.

Таким образом, измерять давление во всасывающей трубе насоса, находящейся под заливом, указанным выше способом нельзя. В этих случаях измерение его лучше производить или по давлению воздуха, нагнетаемого в трубку мановакуумметра (рис. 3), или по способу „сифона“, заполнением трубки мановакуумметра водой (рис. 4).

Первый способ измерения (по давлению нагнетаемого воздуха) следует применять при больших превышениях нуля мановакуумметра над поверхностью воды — h_2 . В этом случае давление в расчетном сечении определяется по формуле

$$P_1 = P_0 \pm \Delta h \gamma_{\text{рт}}. \quad (7)$$

В формуле знак „плюс“ берется при показаниях избыточного давления и знак „минус“ — при разрежении. Иными словами, знак „плюс“ берется при малых производительностях и малых разрежениях, когда приходится вытеснять воду из трубки мановакуумметра, знак „минус“ — когда столб воды в трубке отсутствует.

При больших заглублениях насоса прокачка воздуха становится затруднительной, а точность измерений понижается. В данном случае давление лучше измерять по способу „сифона“, особенно, если пре-

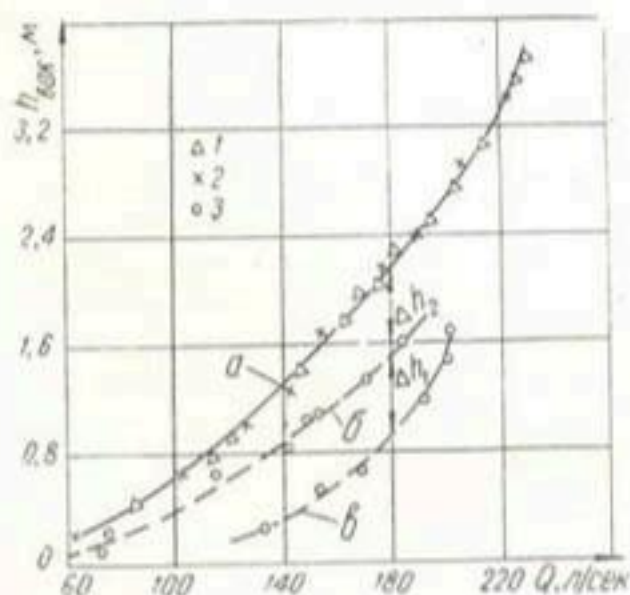


Рис. 5. Результаты замеров давления на всасывании у насосов ВП-24x5, находящихся под заливом.

1 — по способу продувания воздуха, 2 — по способу „сифона“, 3 — непосредственным подключением.

вышение оси прибора над поверхностью зеркала воды небольшое — h_2 . Измерения производятся по формуле

$$P_1 = (\Delta h_t - \Delta h_0) \gamma_{рт}, \quad (8)$$

где Δh_t — показание прибора после зарядки во время работы насоса;
 Δh_0 — после зарядки при неработающем насосе.

Этот способ наиболее прост. Однако он не применим, если ось прибора расположена высоко над уровнем воды, так как при максимальном разрежении может разорваться столб воды в трубке.

На рис. 5 даны результаты замеров, проведенных описанными выше способами.

Из графика видно, что способы нагнетания воздуха и „сифона“ дают одинаковые результаты, так как точки, построенные по замерам, лежат на одной кривой a . Способ непосредственного включения, представленный на рис. 5 двумя группами замеров (кривые b и a), имеет большие расхождения как с первыми двумя способами, так и между группами. Необходимо отметить, что разница ординат при принятой производительности — Δh_0 и Δh_v представляет высоту столба воды в соединительной трубке, т. е. слагаемое $h_v \gamma_w$ в уравнении (1), которое невозможно замерить во время опытов.

При проведении заводских и производственных испытаний насосов давления во всасывающих трубах, находящихся под заливом, необходимо измерять по способам „сифона“ или нагнетания воздуха. Способ непосредственного подключения мановакуумметра не применим.

Способ „сифона“ рекомендуется применять в тех случаях, когда превышение оси прибора над поверхностью воды в источнике небольшое, а заглубление штуцера отбора давления велико, способ нагнетания воздуха — при большом превышении оси прибора над поверхностью воды и небольшом заглублении штуцера отбора давления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурьев В. П. Испытание гидравлических машин, М. — Л., Госэнергоиздат, 1953.
2. Жоховский М. К. Техника измерения давления и разрежения, М., Машгиз, 1952.
3. Инструкция по испытанию центробежных насосов, М., 1960.
4. Павловский А. И. Измерение расхода и количества жидкостей, газа и пара, М., Машгиз, 1951.

М. П. САЛЬНИКОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕГМЕНТНОЙ ДИАФРАГМЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДОВ ВОДЫ НА МЕЛИОРАТИВНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ

Промышленных водомеров для мелиоративных насосных станций не имеется, а характеристика оросительной воды (наносы, плавающие тела и т. д.) не позволяет использовать водомеры для чистой воды.

В 1960 г. в Гидрометрической лаборатории Института водных проблем и гидротехники АН УзССР изучались условия работы водомера на мелиоративной насосной станции. В результате сформулированы требования, которым он должен отвечать:

- 1) производить измерение, запись и интегрирование во всем диапазоне расчетных расходов с погрешностью не более $\pm 5\%$;
- 2) пропускать наносы, плавающие тела и воздух;
- 3) иметь простую и надежную в действии конструкцию.

Для измерения расходов воды в трубопроводах применяются в основном скоростные водомеры и водомеры переменного перепада давления с сужающими устройствами.

Принцип действия скоростных водомеров основан на измерении числа оборотов вращающегося элемента (крыльчатки или турбинки), скорость которого пропорциональна средней скорости движения воды.

Из скоростных водомеров наибольшее распространение получили турбинные водомеры типа «ВВ», которые можно устанавливать в горизонтальном или вертикальном (восходящем) направлении в непосредственной близости к фасонным частям и трубопроводной арматуре. Однако посторонние механические примеси в оросительной воде не позволяют использовать на мелиоративных насосных станциях скоростные водомеры вследствие быстрого износа их трущихся частей и повреждения вращающегося элемента.

Действие водомеров с сужающими устройствами основано на измерении вызываемого этими устройствами перепада давления. Водомеры такого типа состоят из четырех основных элементов:

- а) приемника переменного перепада давления — сужающего устройства, устанавливаемого внутри трубопровода и создающего перепад давления, величина которого зависит от расхода протекающей жидкости;
- б) соединительного устройства, передающего перепад давления от приемника к измерительному прибору;
- в) измерительного прибора — дифференциального манометра, измеряющего перепад давления и градуированного в единицах расхода;

г) вспомогательных устройств — предохранительной и запорной арматуры.

В качестве сужающего устройства применяют диафрагмы, сопла и расходомерные трубы. Каждое из этих устройств имеет много разновидностей.

В СССР применяется четыре типа сужающих устройств: диафрагмы нормальные, сопла нормальные, сопла Вентури нормальные и трубы Вентури нормальные. Основные геометрические размеры их, материал и технические условия на изготовление назначаются согласно ГОСТу, а монтаж и измерение расхода выполняются в соответствии с правилами Комитета стандартов, мер и измерительных приборов [2].

Наибольшее распространение из сужающих устройств получила диафрагма нормальная, основные преимущества которой — простота в изготовлении, низкая стоимость, небольшие габариты по длине, легкость монтажа и смены. Однако такая диафрагма препятствует прохождению грязи или осадка по трубопроводу и поэтому для измерения загрязненных жидкостей не применяется. Поэтому в качестве сужающего устройства для водомера мелиоративной насосной станции принята ненормализованная сегментная диафрагма, форма которой позволяет беспрепятственно пропускать плавающие механические примеси. Она представляет собой металлическую перегородку с сегментным вырезом внизу, устанавливаемую перпендикулярно к оси трубопровода. Отверстия для отбора давлений располагаются в потолке трубы непосредственно у плоскостей диафрагмы.

Однако при таком расположении отверстий в них может попасть воздух в период запуска насосной станции или начального заполнения трубопровода. В период нормальной эксплуатации он может поступать во всасывающую линию насосной станции из атмосферы или, будучи растворенным в воде (при водозаборе из открытого канала), вместе с водой двигаться по трубопроводу и попадать в отверстия для отбора давлений.

Скапливаясь в соединительных линиях водомера, воздух будет вносить дополнительную погрешность измерения расхода воды.

В подобных условиях работы воздухоотборники не дают положительных результатов, в то время как эксплуатация водомера сильно усложняется, а достоверность измерения, записи и интегрирования величин расхода резко снижается.

С целью устранения этого недостатка в сужающем устройстве водомера (рис. 1), схема которого разработана в 1960 г. в Гидрометрической лаборатории, сегментную диафрагму расположили сбоку, а отверстия для отбора давления — в плоскости горизонтального диаметра трубопровода.

Для создания свободного прохода загрязнений и воздуха относительная высота сегментного отверстия должна быть

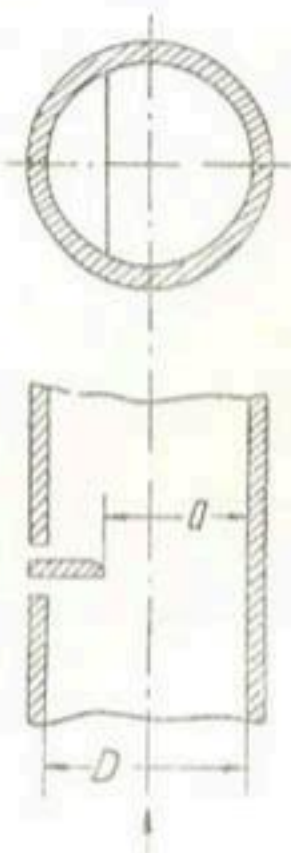


Рис. 1. Расположение сегментной диафрагмы сбоку трубопровода.

$$n = \frac{a}{D} \geq 0,55 \div 0,60,$$

где a — высота сегментного отверстия;
 D — внутренний диаметр трубопровода.

Исследования модели сужающего устройства с боковым расположением сегментной диафрагмы показали его хорошие эксплуатационные качества.

УРАВНЕНИЕ РАСХОДА

Для вывода основного уравнения расхода обычно рассматривают сечение I—I, расположенное перед диафрагмой в области подхода ненарушенного течения жидкости, и сечение II—II — в области с наибольшим сжатием струи (рис. 2).

Точное уравнение Бернулли для движения несжимаемой жидкости

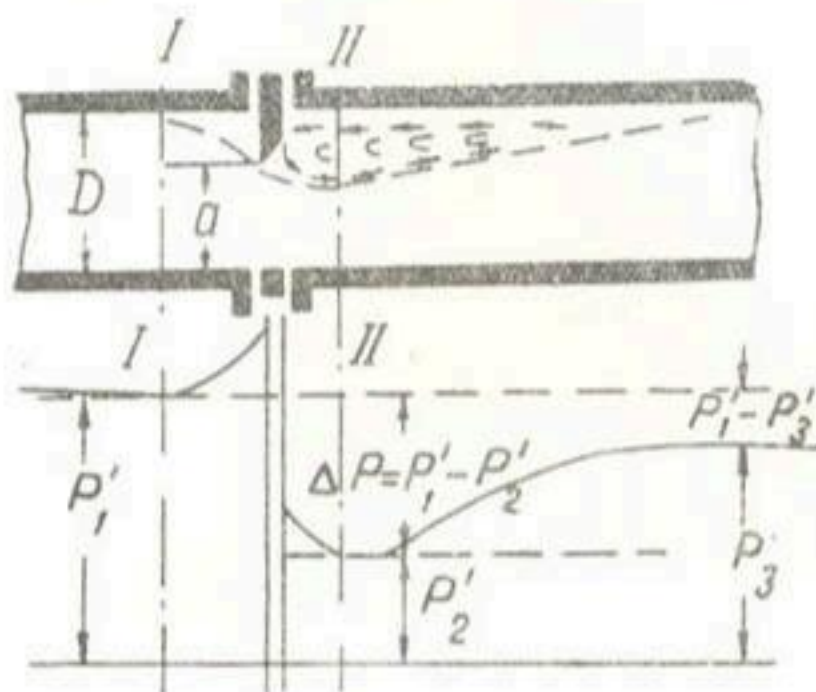


Рис. 2. Распределение давлений у сегментной диафрагмы.

с учетом гидравлических потерь на трение и неравномерности распределения скоростей на участке I—II имеет вид:

$$\frac{P'_1}{\gamma} + \frac{\alpha' V_1^2}{2g} = \frac{P'_2}{\gamma} + \frac{\alpha'' V_2^2}{2g} + \zeta \frac{V_2^2}{2g}, \quad (1)$$

где P'_1 и P'_2 — абсолютные давления соответственно в сечениях I—I и II—II;

V_1 и V_2 — средние скорости струи соответственно в сечениях I—I и II—II;

α' и α'' — поправочные коэффициенты на неравномерность распределения скоростей соответственно в сечениях I—I и II—II;

ζ — коэффициент потерь на трение в сужающем устройстве;

γ — удельный вес жидкости;

g — ускорение силы тяжести.

Уравнение непрерывности струи для сечений I—I и II—II имеет вид:

$$Q = V_1 \cdot \omega_1 = V_2 \cdot \omega_2 = \varepsilon V_2 \cdot \omega_0, \quad (2)$$

где Q — объемный расход жидкости;

ω_1 — площадь поперечного сечения трубы в сечении I—I;

ω_0 — площадь сечения сегментного отверстия;

ε — коэффициент сжатия струи;

ω_2 — площадь поперечного сечения струи в сжатом сечении II—II.

Решая уравнения (1) и (2) совместно и вводя обозначение $m = \frac{\omega_0}{\omega_1}$, найдем значение скорости V_2 :

$$V_2 = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon + \alpha'' - \alpha' \varepsilon^2 m^2}} \cdot \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (P'_1 - P'_2)}. \quad (3)$$

Для учета местоположения точек отбора давлений, которые обычно не совпадают с сечениями I—I и II—II, вводят обозначение

$$\psi = \frac{P'_1 - P'_2}{P_1 - P_2},$$

где P_1 и P_2 — абсолютные давления в точках отбора. Тогда уравнение (3) принимает вид:

$$V_2 = \sqrt{\frac{\psi}{\varepsilon + \alpha'' - \alpha' \varepsilon^2 m^2}} \cdot \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (P_1 - P_2)}. \quad (4)$$

Подставляя в уравнение (2) значение V_2 из уравнения (4), получим формулу объемного расхода несжимаемой жидкости через сужающее устройство

$$Q = \sqrt{\frac{\psi}{\varepsilon + \alpha'' - \alpha' \varepsilon^2 m^2}} \cdot \omega_0 \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (P_1 - P_2)}. \quad (5)$$

Обозначая через α коэффициент расхода сегментной диафрагмы, получим

$$Q = \alpha \cdot \omega_0 \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (P_1 - P_2)}, \quad (6)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{\psi}{\varepsilon + \alpha'' - \alpha' \varepsilon^2 m^2}}. \quad (7)$$

Коэффициент расхода α учитывает:

- 1) коэффициент неравномерности распределения скоростей α' и α'' ;
- 2) потерю энергии на трение (коэффициент ε);
- 3) коэффициент сжатия ε ;
- 4) выбор места измерения перепада давления (коэффициент ψ);
- 5) величину относительного сечения m .

Первые три фактора зависят от числа Рейнольдса R_e . Эта зависимость проявляется до определенного значения R_e , и дальнейшее увеличение его практически не влияет на величину коэффициента расхода.

Наименьшее значение числа Рейнольдса, при котором наступает постоянство коэффициента расхода, называется предельным и обозначается $R_{eD \text{ прел}}$. Оно является нижней границей квадратичного закона зависимости перепада давления от скорости.

Процессы, происходящие при протекании жидкости через сужающие устройства, отличаются большой сложностью, и поэтому коэффициенты расхода их определяют экспериментальным путем.

Ниже даются численные значения коэффициентов расхода сегментной диафрагмы при угловом отборе давлений и предельные значения чисел Рейнольдса для различных m .

$\alpha = \frac{a}{D}$	$m = \frac{\omega_0}{\omega_1}$	γ	$R_{ед\text{ пред}}$
0,50	0,5000	0,6790	100 000
0,55	0,5635	0,7000	125 000
0,60	0,6264	0,7243	160 000
0,65	0,6881	0,7522	200 000
0,70	0,7476	0,7841	240 000
0,75	0,8043	0,8214	280 000
0,80	0,8575	0,8685	320 000
0,85	0,9060	0,9244	360 000

Для удобства практических расчетов площадь сегментного отверстия в формуле (6) выражают через площадь поперечного сечения трубопровода

$$\omega_0 = m \cdot \omega_1 = m \cdot 0,785D^2.$$

Тогда формула (6) принимает следующий вид:

$$Q = 0,785 \cdot \alpha \cdot m D^2 \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \Delta p}, \quad (8)$$

где α — коэффициент расхода берется по таблице в зависимости от m ;

m — относительное сечение сужения;

D — диаметр трубопровода;

Δp — перепад давления, измеренный непосредственно у плоскостей диафрагмы;

γ — удельный вес жидкости.

Невозвратимая потеря давления, вызываемая сегментной диафрагмой, может быть определена по формуле:

$$P_n = (1 - m) \Delta p, \quad (9)$$

где Δp — перепад давления, соответствующий расчетному расходу.

При оценке невозвратимой потери давления следует иметь в виду, что в большинстве случаев действительный расход не достигает максимального расчетного. Обычные 70% расхода по шкале расходомера соответствуют 50% максимального перепада давления, а невозвратимая потеря давления составляет только долю действительного перепада, равную $(1 - m) < 0,45$.

Невозвратимые потери давления, вызываемые сегментной и нормальной диафрагмами, при одних и тех же значениях m одинаковы.

Коэффициент расхода при малых значениях m у сегментной диафрагмы больше, чем у нормальной; при $m \approx 0,3$ коэффициенты расхода для этих диафрагм одинаковы; а для больших значений m коэффициент расхода у сегментной диафрагмы несколько меньше, чем у нормальной (при $m = 0,7$ примерно на 5%).

Предельные числа Рейнольдса $R_{ед\text{ пред}}$ для одинаковых значений m у сегментной диафрагмы значительно меньше, чем у нормальной (при $m = 0,7$ в 5,5 раза), т. е. сегментная диафрагма имеет больший диапазон измерений без дополнительной погрешности от влияния вязкости. Из этого следует, что при одинаковом диапазоне измерений расхода величину m для сегментной диафрагмы можно брать боль-

шей, чем для нормальной, и следовательно, невозвратимая потеря давления у водомера с сегментной диафрагмой будет меньше, чем у водомера с нормальной диафрагмой.

ОПИСАНИЕ СХЕМЫ ВОДОМЕРА

Водомер, схема которого показана на рис. 3, состоит из сужающего устройства с боковым расположением сегментной диафрагмы, измерительного прибора — дифманометра-расходомера, соединительных линий с запорными вентилями, отстойных сосудов и воздухоотборников с продувочными вентилями.

В водомере может быть использован один из промышленных дифманометров-расходомеров, предназначенный для местного или дистанционного измерения, записи и интегрирования расходов жидкости.

При выборе типа дифманометра-расходомера для измерения расходов воды на мелиоративной насосной станции следует основываться на анализе будущей эксплуатации прибора.

В тех случаях, когда диспетчеризация контроля расхода не нуж-

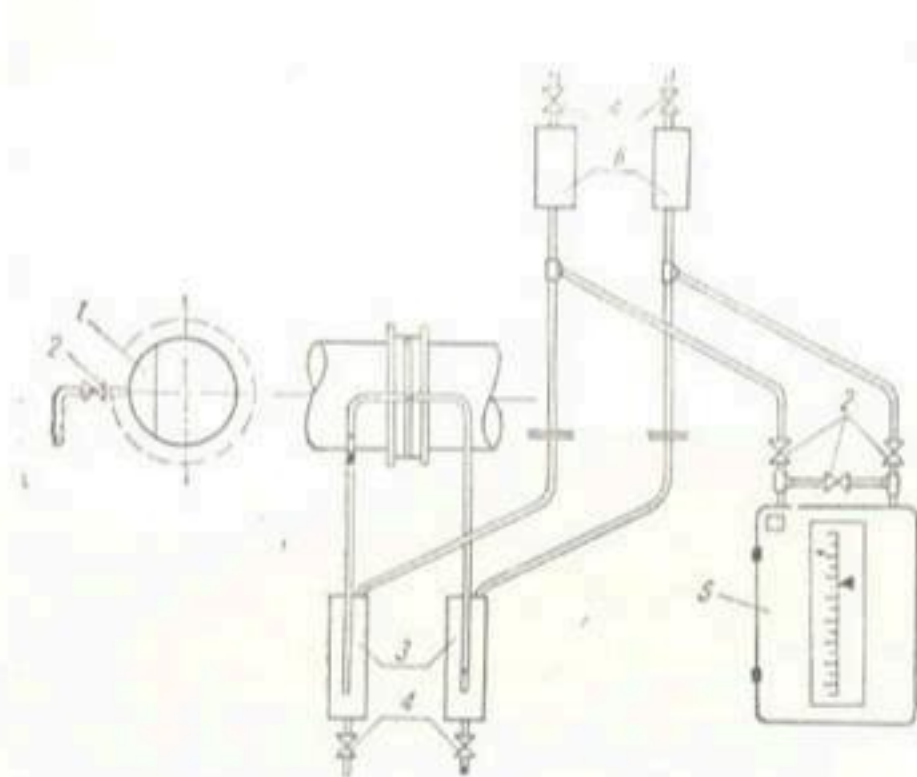


Рис. 3. Схема водомерного узла мелиоративной насосной станции.

1 — сегментная диафрагма, 2 — запорные вентили, 3 — отстойные сосуды, 4 — продувочные вентили, 5 — дифманометр, 6 — воздухоотборники.

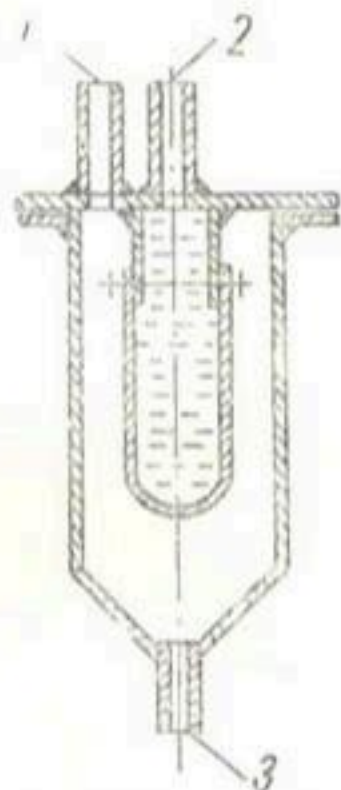


Рис. 4. Отстойный сосуд с разделительным мешком.

1 — штуцер для присоединения к сужающему устройству, 2 — к дифманометру, 3 — штуцер для промывки.

на или по каким-либо соображениям желательно иметь прибор, не требующий электропитания, следует применять механические кольцевые дифманометры-расходомеры с ртутным заполнением типа ДК или механические поплавковые дифманометры типа ДП.

Для диспетчеризации контроля расхода следует использовать кольцевые дифманометры-расходомеры с ферродинамическим датчиком и ртутным заполнением типа ДК-Ф с вторичным прибором типа ВФ. Отличительная особенность этих приборов — возможность суммирования показаний нескольких дифманометров на общем вторичном

приборе, что делает удобным их использование на насосных станциях с несколькими агрегатами.

Кроме того, к приборам типа ДК-Ф разработана система телеизмерения типа ТРТ-1, дальность действия которой составляет $10 \div 15$ км.

Соединительные линии водомера мелноративной насосной станции выполняются из медных, латунных или стальных трубок диаметром $15 \div 20$ мм с прокладкой их вертикально или с уклоном $1:10$. Трубки должны быть прямолинейными, изгибы — плавными, соединительные линии и арматура на них — герметичными, защищенными от замерзания и нагрева, а длина — не больше $50 \div 70$ м.

Конструкция соединительных линий должна исключать возможность образования воздушных мешков. В самых высоких точках их устанавливаются воздухоотборники с продувочными вентилями, а в самых низких — отстойные сосуды (рис. 3).

Когда вода очень сильно загрязнена, следует применять сосуды с тонкостенным разделительным мешком (рис. 4), а в местах поворотов соединительных линий устанавливать крестовины для возможности прочистки линий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кремлевский П. П. Расходомеры, М., 1955.
 2. Правила 27—54 по применению и проверке расходомеров с нормальными диафрагмами, соплами и трубами Вентури, М., Машгиз, 1955.
 3. Лобачев П. В., Шевелев Ф. А. Водомеры для водопроводов и канализаций, М., 1957.
 4. Топерверх Н. И., Шерман М. Я. Теплотехнические измерительные и регулирующие приборы на металлургических заводах, М., Металлургиздат, 1951.
-

И. А. САМОЙЛОВ

О ВЫБОРЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПО ПРОВОДНЫМ КАНАЛАМ СВЯЗИ ПРИ ТЕЛЕМЕХАНИЗАЦИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Широкое внедрение средств автоматики и телемеханики в ирригации налагает большую ответственность на научные и проектные организации при подходе к выбору в каждом конкретном случае рациональных систем передачи информации и методов построения телемеханических систем. К сожалению, общие принципы телемеханизации оросительных систем выявлены относительно слабо. В рамках данной статьи мы делаем попытку дать общее направление в решении частного вопроса по выбору рациональных систем передачи информации по проводным каналам связи при телемеханизации оросительных систем.

Телеизмерительная аппаратура на оросительных системах позволяет измерять неэлектрические величины (расход, уровень, положения гидротехнического затвора, уставки автотелерегулятора и др.) на значительном расстоянии (до 100 км) от места измерения контролируемых величин, а также контролировать состояние автотелерегулируемых объектов, как это сделано нами на Куйганярском гидроузле (рис.1). Технически эта задача решается при помощи измерительных приборов, преобразующих измеряемую величину в другую, удобную для передачи ее по каналу связи и измерения на приемном пункте. Преобразования измеряемой величины имеют конечную цель — полностью устранить или сделать незначительными добавочные погрешности от изменения параметров канала связи, в чем и состоит отличие телеизмерения от других измерений, в которых также широко применяются преобразования измеряемой величины, как, например, в измерениях неэлектрических величин электрическими методами.

На оросительных системах решаются отдельные вопросы телеизмерения: телепередача показаний измерительных и других приборов и устройств, т. е. телеизмерение угла поворота подвижной части, угловой скорости или линейного перемещения измерительного механизма. В телемеханике выбор рационального метода передачи сообщения для данных конкретных условий определяется в основном помехоустойчивостью самого метода и технических средств (приемной аппаратуры), реализующих его. В первом случае рассматривается влияние помех при одновременном приеме сигнала и помех без учета схемных решений, которые могут быть выбраны для данного метода передачи (это может наблюдаться на магистральных линиях связи и при совместной навеске на одних и тех же опорах как высоковольтной ЛЭП, так и линии связи). Во втором случае рассматривается реальная помехо-

устойчивость с учетом схемных решений. Такое разделение позволяет сравнить и выбрать сначала метод передачи сообщения, который обладает для данных условий наиболее высокой помехоустойчивостью, а уже затем принять соответствующее схемное решение.

До последнего времени в ирригации при выборе рациональных систем телеизмерения исходили не из условия необходимости передачи информации, а из условия обеспечения с заданной точностью передачи сообщения. На первый план выступало принятие рационального схемного решения преобразователей сообщения, обеспечивающих заданную

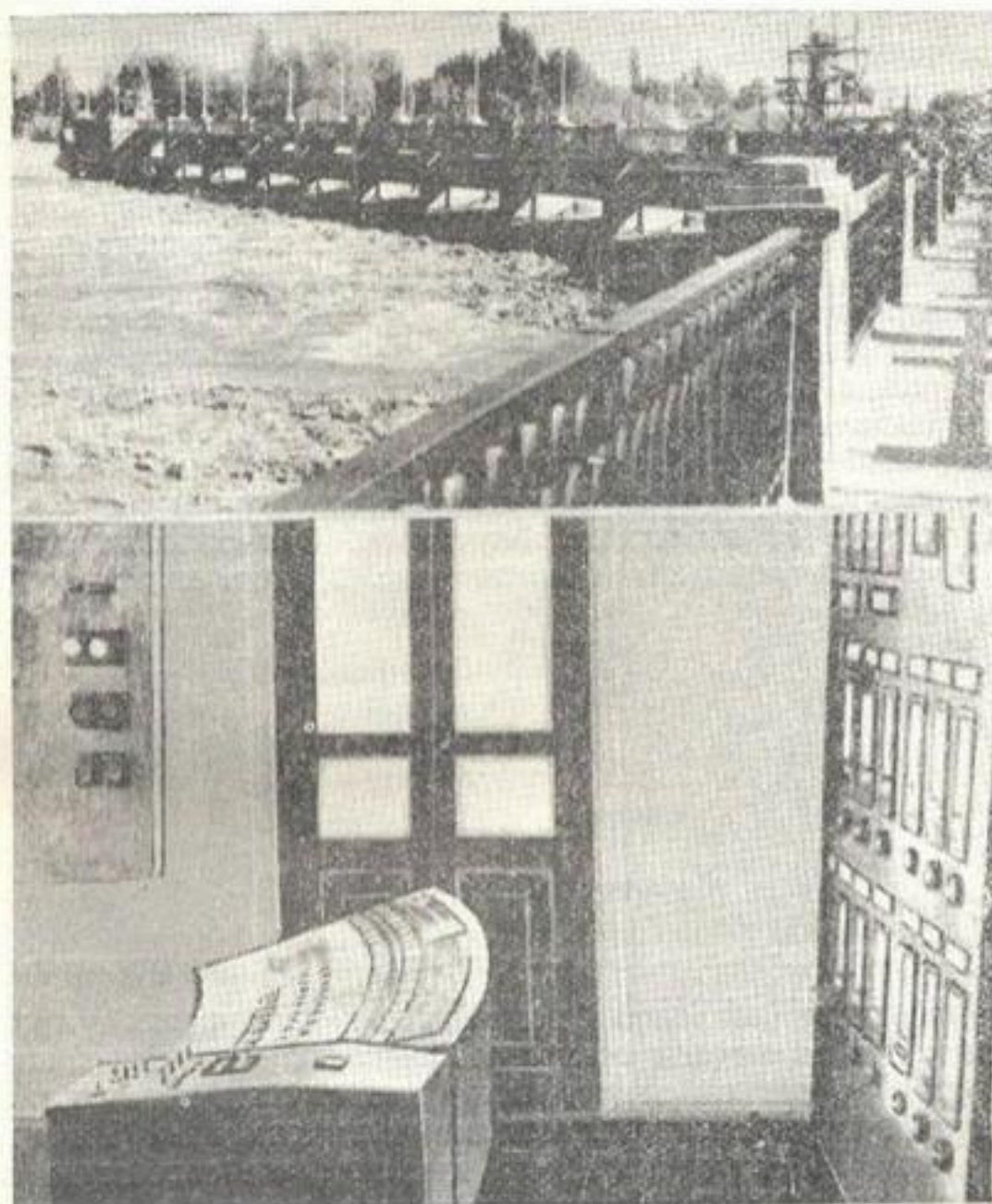


Рис. 1. Установка телемеханического управления Куйганярским гидроузлом, разработанная научными сотрудниками САННИРИ И. А. Самойловым, С. А. Бабаянцем и В. И. Кноррингом.

точность преобразования параметра, которое обуславливает принятие той или иной системы передачи сообщения, находящейся в прямой зависимости от помехоустойчивости метода передачи сообщения и помехоустойчивости технических средств (приемной аппаратуры).

Точность телеизмерительных устройств и степень влияния внешних факторов характеризуются значениями соответствующих погрешностей. Таким образом, главной характеристикой телепередающей аппаратуры считалась основная погрешность, обусловленная конструктивным несо-

вершенством отдельных элементов устройства, трением в опорах подвижных частей, а также недостаточной тщательностью сборки, регулировки и градуировки приборов. В результате такого подхода к оценке телепередающей аппаратуры более точными передатчиками считались те, которые на большем диапазоне измерения обеспечивали более высокую, заранее заданную, точность преобразования контролируемой величины. При этом влияние чисто эксплуатационных характеристик оросительных каналов во внимание не принималось. Например, из двух передатчиков, обеспечивающих преобразование измеряемой величины — уровня с точностью до 1 см в диапазонах измерения уровней для первого A_1 — 2 м, для второго A_2 — 1 м, более точным считался первый, так как класс точности его при такой оценке равен 0,5, а второго — 1. Это привело к тому, что для телеизмерения горизонтов воды на магистральных каналах, где диапазон изменения горизонтов задан МВХ УзССР равным 2 м, стали рекомендоваться кодо-импульсные системы телеизмерения, как единственные, способные обеспечить телепередачу сообщения с заданной погрешностью. Подобный подход к рассмотрению вопроса объяснялся тем, что точность передатчика (при выборе) оценивалась отдельно от системы телеизмерения. Точность же систем определялась по отношению к разрешающей способности системы по количеству возможной передачи сообщений, а не по количеству действительно передаваемой информации.

Следует отметить, что понятия «информация» и «сообщение» не тождественны. Информацией являются содержащиеся в сообщении сведения, заранее не известные получателю. В системе передачи информации на ирригационном объекте (рис. 2) источником сообщения

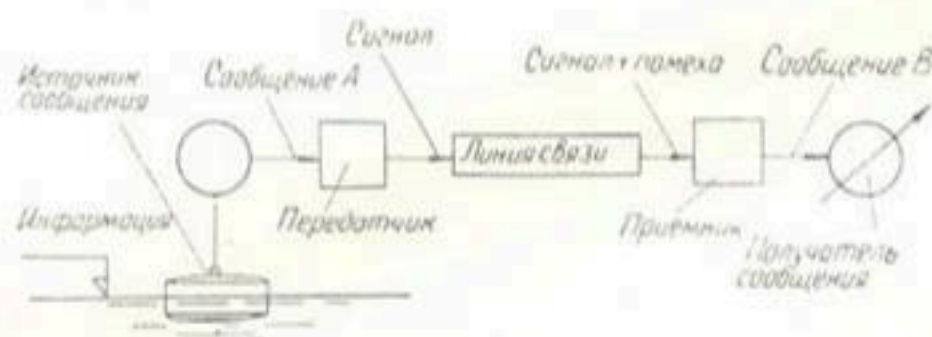


Рис. 2. Схема системы передачи информации на оросительном канале.

является, например, поплавков (при телеизмерении уровня), а сообщением — отклонение стрелки приемного прибора. Количественная оценка сообщения (в данном случае отклонения стрелки приемного прибора) не характеризует содержащуюся в ней информацию. Это происходит, во-первых, по той причине, что при передаче сообщения в него вносятся искажения, порожденные действием помех в канале связи (атмосферные, или помехи от влияния других каналов связи данной линии, или соседних линий связи), передающей и приемной аппаратуре (аппаратурные помехи), и, во-вторых, потому, что количество передаваемой информации никогда не совпадает с разрешающей способностью системы по количеству передаваемых сообщений (т. е. по его емкости). Искаженное сообщение содержит меньше информации, чем первоначальное, а количество передаваемой информации всегда меньше емкости передатчика по количеству возможной передачи сообщений.

Рассмотрим, как зависит точность телепередающих систем от количества передаваемой информации на следующих примерах.

1-й пример — для случая применения кодо-импульсных систем телеизмерения. Если общее число различных сообщений N и возник-

новение любого из них равновероятно, то вероятность данного сообщения

$$p = \frac{1}{N}.$$

Если каждое из N сообщений передается комбинацией из n элементов сообщения (знаков), то, чтобы составить N различных комбинаций из n знаков, каждый из n элементов должен иметь одно из нескольких возможных состояний. Если число этих состояний — m , а вероятность появления любого из m состояний одинакова, то общее число возможных сообщений составит

$$N = m^n.$$

Количество информации принято оценивать логарифмом числа возможных сообщений

$$I = \log_2 N = n \log_2 m. \quad (1)$$

Это соотношение справедливо при равновероятности всех m возможных состояний элемента сообщения. В более общем случае, когда вероятности этих m состояний соответственно

$$p_1, p_2, p_3, \dots, p_i, \dots, p_m,$$

количество информации определяется формулой

$$I = -n \sum_{i=1}^m p_i \log_2 p_i. \quad (2)$$

Формула (1) представляет собой частный случай общей формулы для количества информации (2) при

$$p_1 = p_2 = \dots = p_i = \dots = p_m = \frac{1}{m}.$$

Действительно, при этом

$$I = -n \sum_{i=1}^m p_i \log_2 p_i = -nm \left(\frac{1}{m} \log_2 \frac{1}{m} \right) = n \log_2 m.$$

Исходя из определения понятия информации, можно характеризовать количество информации как степень неопределенности данного сообщения до того, как сообщение было получено. Очевидно, наибольшая неопределенность будет в том случае, если все возможные состояния элементов сообщения имеют равные вероятности появления. Если передатчик рассчитан на передачу $N = 256$ (рис. 3) возможных различных сообщений, а для передачи всех возможных сообщений используются сигналы одинаковой длины, имеющие два возможных состояния (импульсных признаков — полярность), т. е. применяем двоичный код $m = 2$ (для четкости различения импульсных признаков используется большей частью только два ($m = 2$) значения параметра), число элементов кода n для данного случая равно:

$$N = m^n; \quad n \log_2 = \log_2 256; \quad n = 8.$$

Определим количество информации в двух случаях:

а) вероятности обоих состояний элемента равны —

$$p_1 = p_2 = \frac{1}{2};$$

б) вероятность появления одного состояния в три раза больше другого —

$$p_1 = \frac{3}{4}; \quad p_2 = \frac{1}{4};$$

в случае „а“

$$I = 8 \log_2 2 = 8 \text{ дв. ед.}; \quad N_1 = 256 \text{ сообщениям};$$

в случае „б“

$$I = -8 \left(\frac{3}{4} \log_2 \frac{3}{4} + \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} \right) =$$

$$= -8 \left(\frac{3}{4} \log_2 3 - \frac{3}{4} \log_2 4 - \frac{1}{4} \log_2 4 \right) =$$

$$= -8 \left(\frac{3}{4} \cdot 1,585 - \frac{3}{4} \cdot 2 - \frac{1}{4} \cdot 2 \right) = 6,49 \text{ дв. ед.}; \quad N_2 = 89 \text{ сообщениям.}$$

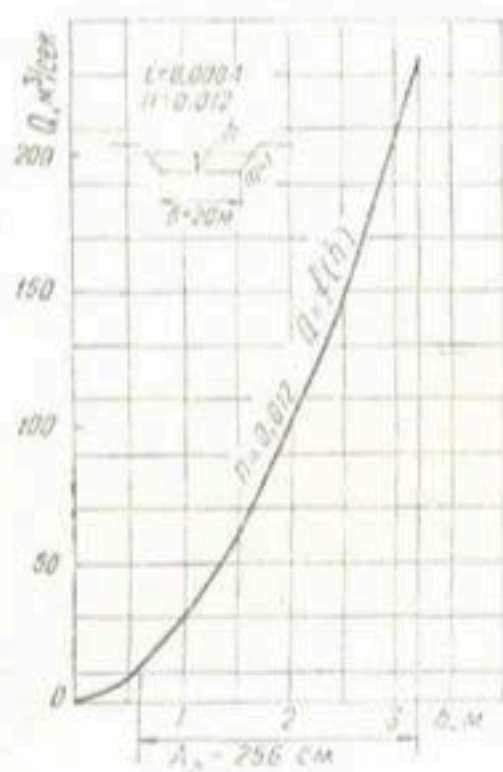


Рис. 3. Кривая зависимости расхода от наполнения в пункте установки теледатчика уровня на магистральном оросительном канале.

Таким образом, во втором реальном случае количество передаваемой информации меньше, чем в первом, а класс точности системы в целом для случаев „а“ и „б“

$$z_a = \frac{100}{256} = 0,39 \quad \text{и} \quad z_b = \frac{100}{89} = 1,13.$$

Отсюда ясно, что класс точности, присвоенный телеизмерительной аппаратуре в целом, зависит от количества передаваемой информации и для второго случая может быть принят меньше. Следовательно, выбирая класс точности передатчиков и диапазон измерений, нужно исходить из условий обеспечения передачи реального количества информации.

2-й пример — для случая применения частотных систем телеизмерения. В теории связи емкость источника информации выражается как

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \quad \text{или} \quad H = \log_2 N,$$

где p_i — вероятность каждого N состояния. В случае измерений $N = \frac{100}{z}$, где z — класс точности прибора или измерительной аппаратуры. Количество информации, полученной от источника сообщений (пропускная способность), равно nH , где n — число передач в секунду

(мы принимаем $n=1$). В случае измерений $n < \frac{1}{T}$, где T — „время ответа“ измерительной аппаратуры.

Отсюда

$$H = \log_2 N = \log_2 \frac{100}{\epsilon}.$$

Обозначим через ϵ_n класс точности измерительного прибора передатчика и примем его для передатчика телеизмерительной системы 0,5. Для датчика количество информации о самой величине, или его емкость, будет:

$$H_n = \log_2 \frac{100}{\epsilon_n} = \log_2 \frac{100}{0,5} = \log_2 200 = 7,64.$$

Рассматривая приемный измерительный прибор как источник информации, можно определить его емкость:

$$H_n = \log_2 \frac{100}{\epsilon_n} = \log_2 89 = 6,49,$$

при наличии погрешностей в промежуточных звеньях $\Delta z = 0,624\%$
 $\epsilon_n = \epsilon_n + \Delta z = 0,5 + 0,624 = 1,124.$

Если $\Delta z = 1,5\%$, то

$$\epsilon_n = \epsilon_n + \Delta z = 0,5 + 1,5 = 2$$

и

$$H_n = \log_2 \frac{100}{\epsilon_n} = \log_2 \frac{100}{2} = \log_2 50 = 5,64.$$

Таким образом, при прохождении сигнала по тракту от измерительного прибора передатчика до приемника происходит потеря информации, т. е.

$$\Delta H = H_n - H_n.$$

Для случая $\epsilon_n = 0,5$, $\Delta z = 0,624\%$ имеем $\Delta H = 7,64 - 6,49 = 1,15$;

для случая $\epsilon_n = 0,5$, $\Delta z = 1,5$ имеем $\Delta H = 7,64 - 5,64 = 2.$

Таким образом, из рассмотренных примеров применения кодоимпульсной и частотной систем для телеизмерения уровня видим, что обе системы в конкретных условиях на реальном оросительном канале по количеству передаваемой информации примерно равноценны, конструктивно частотные передатчики решаются значительно проще кодоимпульсных, более надежны в работе и дешевле. Применение в данном случае частотного передатчика не уменьшает точности принятой системы телеизмерения по количеству передаваемой информации. Следовательно, при выборе рациональных систем передачи информации на оросительных системах необходимо учитывать, что важнейший показатель системы — количество передаваемой информации. Поэтому, прежде чем решать, какую из рациональных систем телепередачи информации нужно принять для данных конкретных условий, необходимо с позиций теории вероятности и математической статистики определить оптимальное количество передаваемой информации на телемеханизируемом ирригационном канале. Более точно, чем на рассмотренном выше примере, можно определить потерю информации через передачу ее:

$$\Delta H = H_n - I_{x,y}.$$

Значение $I_{x,y}$ вычисляем по формуле

$$I_{x,y} = \int p(y) \left[\int p_y(x) \log_2 \frac{p_y(x)}{p(x)} dx \right] dy,$$

где $p(x)$ и $p(y)$ — соответственно вероятности передаваемого и принимаемого y сигналов;

$p_y(x)$ — условная вероятность сигнала x при заданном сигнале y .

Тогда имеем:

$$p(x) = \frac{1}{N_n} = \frac{\varepsilon_n}{100},$$

где ε_n — класс точности первичного измерительного прибора;
 N_n — соответствующее число различных состояний;

$$p(y) = \frac{1}{N_n} = \frac{\varepsilon_n + \Delta\varepsilon}{100} = \frac{\varepsilon_n}{100},$$

где ε_n — класс точности, присвоенный телеизмерительной аппаратуре в целом;

N_n — соответствующее число состояний.

Для определения вероятности $p_y(x)$, т. е. вероятности передачи определенного сигнала (x), необходимо определить значение скачков между x и y . Для одного достоверного состояния приемника, обозначаемого y , имеется несколько статистических состояний $x_0, x_1, x_2, \dots$ передатчика. Эта вероятность вычисляется по формуле Муавра

$$p_{-s_0}^{+s_0} = \frac{2h}{\pi} \int_0^{s_0} e^{-h^2 s^2} ds = \frac{2}{\pi} \int_0^{\xi} e^{-\xi^2} d\xi = \Theta(\xi),$$

где s_0 — скачок, а значения h и ξ определяются формулами

$$h = \frac{1}{\mu \sqrt{2}}; \quad \xi = hs = \frac{s}{\mu (\sqrt{2})}.$$

Обычно при выборе систем телеизмерения для целей ирригации, при определении передачи информации объединенной системы лучше пользоваться формулой для передачи дискретных сигналов

$$I_{x,y} = \sum_y p(y) \sum_x p_y(x) \log_2 \frac{p_y(x)}{p(x)},$$

определяющей эффективность передачи информации при наличии помех, исходя из тех соображений, что любую непрерывную функцию можно представить в квантованном виде. Определив $p(x)$, $p(y)$, $p_y(x)$, ε_n и ε_n , вычисляем значение $I_{x,y}$, а затем $\Delta H = H_n - I_{x,y}$. Если потеря информации вычисляется через передачу ее, т. е. $\Delta H = H_n - I_{x,y}$, полученный результат будет несколько выше, чем при непосредственном определении ΔH . Однако для определения наиболее выгодной телеизмерительной системы в ирригации вполне достаточно непосредственного определения ΔH , как это сделано в рассмотренных примерах, что значительно упрощает расчеты.

ВЫВОДЫ

1. При выборе рациональных систем передачи информации на оросительных системах необходимо учитывать, что основной показателем системы — количество передаваемой информации.

2. В связи с тем что количество информации, передаваемой кодовой системой телеизмерения (ТИ), в условиях эксплуатации оросительных систем большей частью не превосходит количества информации, передаваемой частотной системой телеизмерения, следует отдавать предпочтение частотным системам телеизмерения, как технически более простым.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теория передачи сообщений, М., ИЛ, 1957.
2. Малов В. С. Телемеханика, Л., ГЭИ, 1960.
3. Modoni V. „Energia elettrica“, 33, N 1, 57—80 (1956).

СОДЕРЖАНИЕ

Л. П. Зайцев. Каналоочистительные машины и возможность их использования на очистке внутрихозяйственной сети	5
В. Н. Бердянский, Э. Ш. Куперман, А. Н. Мирсагатов. Опыт механизированного строительства закрытого горизонтального дренажа в Голодной степи	24
В. Н. Машков. К вопросу о рациональных режимах работы ленточных водоподъемников на шахтных колодцах	32
А. Г. Еременков. К анализу подъема жидкости лентой в направляющей трубе шнурового водоподъемника	40
Н. Н. Омелин. Измерение давлений во всасывающих трубах насосов, находящихся под заливом	55
М. П. Сальников. Использование сегментной диафрагмы для измерения расходов воды на мелиоративных насосных станциях	61
И. А. Самойлов. О выборе рациональных систем передачи информации по проводным каналам связи при телемеханизации оросительных систем	68

Редактор *А. Н. Астахов*
 Технический редактор *Х. У. Карабаева*
 Корректор *Е. Н. Шер*

P08486 Сдано в набор 24/III-62 г. Подписано к печати 10/V-62 г. Бумага 70×108 $\frac{1}{16}$ —2,38 бум. л.—6,51 печ. л. Уч.-изд. л. 5,5 Изд. № 458/62 Тираж 650. Цена 46 к.

Типография Издательства АН УзССР, Хорезмская, 9. Заказ 293
 Адрес Издательства: ул. Куйбышева, 15.