

✓  
Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР  
БЕЛОРУССКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

На правах рукописи

БЕЛОУСОВ Анатолий Яковлевич

**Исследование эксплуатации  
мелиоративных установок вертикального  
дренажа орошаемых земель  
(на примере Голодной степи)**

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 06.01.02—мелиорация и орошаемое  
земледелие

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск—1976 г.

*Губернатору  
Хайдару  
от автора,  
Благодарности и  
благодарности  
в знак глубокой  
и искренней  
14.11.77. В. Машков*

Работа выполнена в Среднеазиатском ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательском институте ирригации им. В. Д. Журина (САНИИРИ).

#### НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

кандидат технических наук, старший научный сотрудник  
**В. Н. Машков**

#### ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

Лауреат Государственной премии Узбекской ССР им. А. Р. Беруни, доктор геолого-минералогических наук, профессор **Н. М. Решеткина**.

Кандидат технических наук, доцент **В. П. Старинский**

#### ВЕДУЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ:

Проектный институт „Средазгипроводхлопок“.

Автореферат разослан „\_\_\_“ \_\_\_\_\_ 197 г.

Защита диссертации состоится „28“ ноября 1977 г. на заседании Ученого совета Белорусского научно-исследовательского института мелиорации и водного хозяйства.

Отзывы на автореферат диссертации (в двух экземплярах, заверенные печатью) просим направлять по адресу: 220040, г. Минск, ул. М. Горького, 153, БелНИИМиВХ, ученому секретарю.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

к. т. н.

(**В. Т. КЛИМКОВ**)

#### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время на территории нашей страны имеется около 14 млн. га орошаемых земель, из них почти 40% засолено в большей или меньшей степени, а в хлопкосеющих районах – до 50%.

По ориентировочным подсчетам, около 75% земель, намеченных в перспективе к орошению, подвержено опасности засоления.

В "Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976–1980 гг." в комплексе мероприятий, направленных на устойчивое расселение земель, большое внимание уделяется развитию вертикального дренажа. Количество насосных установок вертикального дренажа в перспективе составит порядка 20 тыс. шт. с суммарной установленной мощностью свыше 700 тыс. кВт.

Насосные установки (АН, А, НА, ВП), применяемые на скважинах вертикального дренажа, имели низкую эксплуатационную надежность и малый к.п.д. Вследствие частых простоев скважин коэффициент их использования составил 0,3–0,5 против проектного 0,8–0,9, а это в свою очередь уменьшало объем откачек и приводило к повышению уровня грунтовых вод и накоплению солей в почвогрунтах.

Для предотвращения вторичного засоления освоенных орошаемых земель в Узбекской ССР повышение эффективности работы системы вертикального дренажа стало актуальным вопросом, к решению которого Советом Министров Узбекской ССР, Минводхозами СССР и УзССР, а также Минхимнефтемашем СССР были привлечены: научно-исследовательские (САНИИРИ, ВИЭСХ) и проектные институты (Узгипроводхоз, Средазгипроводхлопок, Союзгипрорис, Гипроводхоз); конструкторские бюро (ОКБ по бесстанговым насосам, СКБ СЭНВ), насосные заводы (Омский, Кишиневский, "Южгидромаш") и другие организации.

Разработанные и освоенные отечественной промышленностью скважинные насосы ЭЦВ12-255-30, ЭЦВ12-375-30, ЭЦВ10-160-35 и ЭЦВ10-120-40Г не в полной мере соответствовали условиям работы, что снижало мелиоративный эффект вертикального дренажа. Необходимость повышения эффективности работы установок вертикального дренажа и определило выбор темы настоящей диссертации.

Цель работы: Определить рациональные режимы эксплуатации установок вертикального дренажа и разработать технические средства, обеспечивающие требуемый мелиоративный режим работы скважин.

Это потребовало:

- изучения действительных условий работы вертикального дренажа и выявления причин низкого коэффициента использования скважин;
- исследования основных режимов работы установок вертикального дренажа, определяющих работоспособность насосно-силового оборудования, и разработки рациональных способов их эксплуатации;
- разработки более совершенных конструкций технических средств установок вертикального дренажа и выявления рациональных режимов работы.

Методика исследований. Для решения поставленных задач производились экспериментальные и теоретические исследования. Экспериментальные исследования проводились в натуральных и лабораторных условиях.

При проведении экспериментальных исследований в натуральных условиях изучалось пескование скважин при различных переходных процессах работы установок вертикального дренажа с учетом литологического состава отложений водоносных пластов и конструкций скважин. Определялось влияние пескования на долговечность насосно-силового оборудования.

Измерялись давления воды в напорном трубопроводе насосной установки и фильтровой зоне скважины, дебит скважины и частота вращения вала скважинного электронасоса.

Автором были специально запроектированы и изготовлены датчики индуктивного типа, способные измерять небольшие колебания давления воды ( $0-1 \text{ кг/см}^2$ ) при их расположении на значительной глубине под уровнем воды в скважине и частоту вращения вала насоса. Опытные данные сопоставлялись с расчетными.

Лабораторные исследования проводились на специально разработанном нами испытательном стенде с мотор-весами. Опре-

делялись: рабочие характеристики скважинных электронасосов; величина и характер распределения давления воды в полости над верхним подшипником насоса при различных режимах работы насосного агрегата; рациональные режимы работы разработанных технических средств, обеспечивающих защиту верхнего подшипника насоса от попадания в его полость абразивных частиц; гидравлические качества внутренней полости погружного электродвигателя и характер распределения температуры воды при различной величине ее циркуляции; рациональный способ подрезки рабочих колес.

Для измерения подачи и напора насоса использовались диафрагма и образцовые манометры. Перепады давлений определялись с помощью ртутных и водяных дифманометров. Измерение температуры в полости погружного электродвигателя производилось посредством термосопротивлений.

Производственные испытания насосных установок на надежность проводились по общепринятой методике (ВНИИГидромах, СКБ СЭНВ) с учетом специфических условий работы скважин вертикального дренажа.

В работе использовались методы расчетно-аналитические и математической статистики. Погрешность проведения экспериментов составляла  $0,5-3,5\%$ .

Объектом исследования являлись установки вертикального дренажа, расположенные в различных гидрогеологических условиях Голодной степи и построенные в соответствии с проектной документацией.

Научная новизна. Определены гидравлические явления в системе "насосная установка - скважина" при пусках и отключении электронасоса и установлена их взаимосвязь с пескованием скважины в послепусковой период ее работы.

Применительно к существующим конструкциям скважин вертикального дренажа разработаны рациональные режимы эксплуатации, заключающиеся в плавном, с определенной закономерностью, нарастании дебита скважин после пуска насоса посредством применения специального автоматического дроссельного устройства.

Определено распределение отказов скважинных электронасосов в зависимости от интенсивности пескования скважин; подобраны математические модели отказов.

Установлены величина и характер распределения температуры в полости погружных электродвигателей в зависимости от интенсивности циркуляции охлаждающей жидкости.

Выявлено влияние способа обточки лопаток рабочего колеса на рабочую характеристику скважинного насоса.

Разработан специальный испытательный стенд с мотор-весами, позволяющий раздельно определять потери энергии в насосной части и погружном электродвигателе скважинного электронасоса.

Практическая ценность. Рекомендованные рациональные режимы эксплуатации установок вертикального дренажа позволяют, практически, исключить при пуске и отключении насоса влияние переходных процессов его работы на интенсивность пескования скважины и уменьшить аварии насосного агрегата и напорного трубопровода, что значительно увеличивает долговечность работы насосной установки и повышает мелиоративный эффект дренажа.

Полученные закономерности распределения отказов скважинных электронасосов позволяют улучшить обслуживание и установить время проведения профилактических ремонтов насосно-силового оборудования.

Разработанные применительно к серийно выпускаемым скважинным электронасосам типа ЭЦВ новые конструкции устройств защиты верхнего подшипника насоса от попадания в его полость абразивных частиц (вертикальный отстойник и обратный поплавковый клапан); способ принудительной циркуляции воды в полости погружного электродвигателя, позволяющий выравнивать и снижать температуру в обмотке статора, а также скважинный капсульный электронасос, максимально удовлетворяющий требованиям, предъявляемым к насосно-силовому оборудованию, работающему в специфических условиях Средней Азии, обеспечивают требуемую работоспособность насосной установки и необходимый мелиоративный режим работы скважины.

Исследования показали, что подрезка колес позволяет расширить диапазон применения каждого типоразмера скважинных насосов и производить более экономичный подбор насосного оборудования к скважинам вертикального дренажа.

Реализация работы. Опытные насосные установки в количестве 32 шт. внедрены на скважинах вертикального дренажа в Голодной степи в Сырдарьинской области УзССР и Чимкентской области Каз.ССР. В настоящее время по заказу Минводхоза УзССР изготовлена опытно-промышленная партия автоматических дроссельных устройств в количестве 60 шт., которые в настоящее время проходят испытания в хозяйственных условиях в Узбекской ССР.

Результаты исследований были использованы в ряде проектов и конструкторских разработок проектных, научно-исследовательских и заводских организаций.

Апробация и публикация. Результаты исследований апробированы на скважинах вертикального дренажа в Голодной степи длительными производственными испытаниями опытных модернизированных установок.

Основные положения диссертационной работы докладывались и получили одобрение: на техническом совещании по улучшению проектирования, строительства и эксплуатации систем вертикального дренажа (г.Москва, 1968г.); Всесоюзной конференции по качеству и надежности скважинных электронасосов для водоподъема (г.Кишинев, 1968г.); конференции молодых ученых САНИИРИ (г.Ташкент, 1971г.); XXXIV научно-технической конференции Новочеркасского инженерно-мелиоративного института (г.Новочеркасск, 1974г.); техническом совещании насосного завода "Южгидромаш" (г.Бердянск, 1974г.); техническом совещании при Джетысайском управлении эксплуатации вертикального дренажа (г.Джетысай, Казахская ССР, 1975г.); техническом совещании при Главном управлении науки Минводхоза СССР по вопросу разработки устройства плавного пуска скважинных электронасосов для водоподъема (г.Москва, 1975г.); XXXV научно-производственной конференции ТИИМСХ (г.Ташкент, 1976г.).

По теме диссертации опубликованы 9 статей общим объемом 2,0 печатных листа.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и предложений. Она содержит: 133 страницы машинописного текста, 66 рисунков, 12 таблиц в тексте и 72 страницы приложения. Всего 282 страницы.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе - "Обследование установок вертикального дренажа и анализ их работы в условиях Голодной степи" - проанализированы условия работы установок вертикального дренажа, выявлены причины низкого коэффициента использования скважин и разработаны технические мероприятия, повышающие эффективность их работы.

С началом развития вертикального дренажа в Узбекской ССР (1956г.) в САНИИРИ проводились исследования, направленные на повышение эффективности работы насосно-силового оборудования (В.А.Баранов, Н.Н.Омелин, С.К.Переверзев). Были разработаны и испытаны в хозяйственных условиях скважинные насосы ВП24х5 и ВП-8.

Впоследствии в ОКБ по бесштанговым насосам и СКБ СЭНВ были разработаны и освоены промышленностью для вертикального дренажа скважинные электронасосы ЭЦВИ2-255-30, ЭЦВИ2-375-30, ЭЦВИО-160-35 и ЭЦВИО-120-40Г.

Автором проводились в течение 1966-1975гг. экспериментальные исследования в натурных условиях на установках вертикального дренажа в старой зоне орошения Голодной степи (в период с 1966 по 1968 год - под научным руководством канд.техн. наук С.К.Переверзева). Обследовано около 500 скважин и проведены детальные исследования на 30 скважинах.

Выявлено, что существующие скважинные электронасосы по конструктивному исполнению, а также подачам и напорам не в полной мере соответствовали качеству откачиваемой воды, дебитам скважин и динамическим понижениям воды в них.

При переходных процессах в насосах (пуск, перерегулирование) у большинства скважин наблюдался интенсивный вынос песка, концентрация которого в откачиваемой воде составляла 0,3-1,5% по весу. Пескование продолжалось от 5-10 мин. до 1-1,5 ч. после

изменения режима работы скважин. Минерализация откачиваемой воды достигала 17 г/л.

Результаты проведенных исследований показали, что при таких условиях работы наработка до отказа скважинных электронасосов типа ЭЦВ составляет в среднем 2000-3500 ч. что в 2-3 раза меньше проектной величины.

Частый выход из строя насосных установок является основной причиной низкого коэффициента использования скважин, величина которого составляет 0,3-0,5 против проектного 0,8-0,9, что снижает мелиоративный эффект вертикального дренажа. Затраты на ремонт установок вертикального дренажа составляют около 50% от общих эксплуатационных затрат.

Определены основные недолговечные детали, которые приводят к отказу машины. К ним относятся: рабочее колесо, подшипники насоса и обмотка статора погружного электродвигателя. Специальными исследованиями выявлены причины преждевременного выхода их из строя.

Для старой зоны орошения Голодной степи дебиты скважин в основном составляют 40-100 л/с при динамическом понижении 10-20 м. Рабочий диапазон скважинных электронасосов для вертикального дренажа, выпускаемых отечественной промышленностью, составляет по подаче 25-115 л/с, а по напору 28-48 м.вод.ст.

Соответствие дебита скважины подаче насоса обеспечивается дроссельным регулированием, осуществляемым с помощью задвижки, установленной над устьем скважины. Избыток напора, развиваемого насосом, гасится задвижкой, что ведет к значительному перерасходу электроэнергии и снижению к.п.д. установки. Выполнившие расчеты показали, что среднеэксплуатационный к.п.д. насосных установок, работающих на скважинах вертикального дренажа в Голодной степи, составляет около 27%, что более чем в 2 раза ниже нормальной величины.

На основании анализа результатов обследований и испытаний насосных установок были разработаны технические требования, которые должны предъявляться к насосно-силовому оборудованию для вертикального дренажа.

Во второй главе - "Современное состояние вопроса и задачи

исследований" - дан литературный обзор по фильтрам скважин и насосно-силовому оборудованию и проанализированы особенности их конструкций и режимов работы применительно к условиям вертикального дренажа.

Для предотвращения пескования при сохранении дебита скважин обычно стремятся к увеличению их диаметра и применению искусственного гравийно-песчаного обсыпного фильтра с оптимальными коэффициентами межслойности и неоднородности.

В условиях вертикального дренажа на орошаемых землях Средней Азии необходимо производить значительный объем откачек подземных вод, чтобы изменить ранее сложившийся их гидродинамический режим и уменьшить напорность, и таким образом создать требуемое снижение уровня грунтовых вод.

В скважинах, каптируемых водоносный пласт, сложенный из тонко- и мелкозернистых песков, построить такой идеальный фильтр, который бы обеспечивал заданные объемы откачек и предотвращал пескование, в настоящее время затруднительно.

В работах Г.Т.Овнатанова, А.А.Шахназарова, К.К.Карапетова, В.П.Гаврилко, О.К.Киселева, Н.М.Решеткиной, Х.И.Якубова, Л.Корелис, А.В.Надарейшвили, О.П.Татур и др. отмечается, что при переменном режиме работы скважин структура естественного фильтра с каждым пуском нарушается и вынос мелких частиц возобновляется. Однако в этих работах не показана взаимосвязь гидравлических явлений в скважине и выноса механических частиц при переходных режимах работы насоса.

В насосных установках для вертикального дренажа пуск насоса производится обычно при полностью открытой, частично открытой или полностью закрытой задвижке, установленной выше устья скважины. Обратный клапан в напорном трубопроводе отсутствует и при пуске насоса часть напорного трубопровода, расположенная выше статического уровня воды в скважине, не заполнена и находится под атмосферным давлением.

В работах И.А.Чарного, Л.Н.Смирнова, А.Г.Джваршеншвили, В.С.Алексеева, А.Д.Гуриновича, Н.Н.Омелина, Л.Д.Терехова и др. отмечается повышение давления в напорном трубопроводе при его заполнении водой. Предлагаемые различными авторами расчетные

формулы не позволяют с достаточной точностью получить величину повышения давления в системе "насосная установка - скважина".

При переходных процессах работы насосной установки вертикального дренажа не выявлены гидравлические явления, происходящие непосредственно в скважине, и их влияние на устойчивость призабойной зоны. Не определен характер пескования скважин и влияние этого процесса на надежность насосно-силового оборудования.

При перекачивании чистой воды или с небольшим содержанием в ней механических примесей (не более 0,01% по весу) в отечественных и зарубежных конструкциях скважинных насосов широко применяются резиновые подшипники в паре со стальными втулками. При повышенном содержании в откачиваемой воде механических примесей некоторые зарубежные фирмы, например, "Гриндфоос" (ФРГ), "Вестингаузен" (США) и др. применяют в подшипниках вместо стали сверхтвердые материалы такие, как карбид вольфрама и др.

Опыт эксплуатации гидротурбин (Б.П.Дульнев, Н.И.Пылаев, И.В.Дмитровский и др.), а также насосов (данные ВНИИГидромаш, СКБ СЭНБ и др.) показывает, что из материалов, применяемых для изготовления деталей проточной части, высокой абразивной и коррозионной износостойкостью обладают нержавеющие стали.

В качестве привода насосов для вертикального дренажа широкое распространение получили асинхронные погружные электродвигатели водозаполненные мокрого типа. Анализ условий их работы и опыт эксплуатации свидетельствуют о неравномерности нагрева различных элементов обмотки статора и более интенсивном накоплении продуктов окисления в пазах статора.

Известные схемы циркуляционной системы охлаждения (Г.Ф. Голованов, авт. свид. - 203487 от 28.09.67г.; В.Ф.Федоров авт. свид. № 450031 от 20.04.71г.; *Bottoms Harry Simister*, англ. патент № 1308315 от 23.06.70г. и др.) целесообразно использовать в погружных электродвигателях, работающих в скважинах вертикального дренажа с повышенным пескованием.

Результаты обследования установок вертикального дренажа и анализ современного состояния изучаемого вопроса позволили поставить задачи исследования:

1. Выявить влияние гидравлических явлений в установке вертикального дренажа на устойчивость призабойной зоны скважины при пуске и отключении насоса.

2. Определить рациональные способы эксплуатации и разрабатывать технические средства, повышающие эффективность работы установок вертикального дренажа.

В третьей главе - "Исследование неустановившихся режимов работы установок вертикального дренажа" - рассматривается пескование скважин, связанное с изменением режима работы насосной установки при пуске и отключении насоса.

Опыты выполнялись в натуральных условиях на действующих скважинах вертикального дренажа, расположенных в трех зонах Голодной степи, имеющих различный литологический состав отложений водоносных песков (от тонкозернистых до крупнозернистых с преобладанием гравия). Скважины вертикального дренажа были построены с диаметром бурения, равным  $\Phi$  1000 мм, имели одноколонную конструкцию обсадных труб  $\Phi$  426 мм и гравийную обсыпку с межслойным коэффициентом  $\frac{d_{50}}{d_{50}} = 28+50$

Исследовались переходные процессы при пуске насоса ЭЦВ12-255-30М с закрытой, частично открытой и полностью открытой задвижкой, как наиболее часто встречающиеся при эксплуатации установок вертикального дренажа. Измерялись: давление воды в напорном трубопроводе и фильтровой части обсадной колонны скважины; скорости движения воды в напорном трубопроводе и снижения уровня воды в обсадной колонне, частота вращения вала насоса и длительность протекающих процессов. При измерении перечисленных параметров в качестве датчиков использовались сконструированные автором датчики давления и оборотов, а также электрические рейки. Регистрация названных параметров производилась восьмиканальным светолучевым осциллографом МПО-8. Одновременно с регистрацией давления и скорости движения воды производился отбор проб на пескование.

При включении насоса и повышении оборотов вала от нуля до номинальных значений давление во всасывающей части насосного агрегата резко снижается до 2-2,7 м вод.ст. и распространяется в призабойную зону скважины в виде волны понижения, приводящей к кратковременному увеличению притока воды к насосу. Причем, величина и характер снижения давления в скважине практически одинаковые при различных способах пуска насосной установки: с полностью закрытой, открытой или частично приоткрытой задвижках.

Величина и характер повышения давления в напорном трубопроводе и скважине, а также пескование скважины в значительной мере зависят от способа заполнения участка напорного трубопровода, расположенного между статическим уровнем воды в скважине и задвижкой, которая находится выше устья скважины (рис.1).

Если задвижка закрыта полностью, то при заполнении водой напорного трубопровода сжимаемый воздух играет роль демпфера, что способствует относительно плавному изменению давления как в напорном трубопроводе (рис.1 а, кривая 1), так и в обсадной колонне скважины (рис.1 б, кривая 1). Величина повышения давления в напорном трубопроводе лишь в 1,3 раза превышает максимальный напор, развиваемый насосом при установившемся режиме работы.

Пескование скважины имеет переменный характер с диком кривой концентрации песка через 1,5-4 мин. после пуска и с последующим снижением интенсивности пескования до нормальной (механических примесей менее 0,01% по весу) величины (рис. 1 в, кривая 1).

Наиболее максимальные повышения давления в напорном трубопроводе и скважине были зарегистрированы при пуске насосной установки, когда задвижка была приоткрыта примерно на 5%. При таком пуске заполнение напорного трубопровода происходило с одновременным вытеснением воздуха. Давление в напорном трубопроводе достигало 130 м.вод.ст. (рис.1 а, кривая 2), что почти в три раза превышало максимальный напор, развиваемый насосом при установившемся режиме работы. В данном случае насос переходил в режим работы с отрицательной

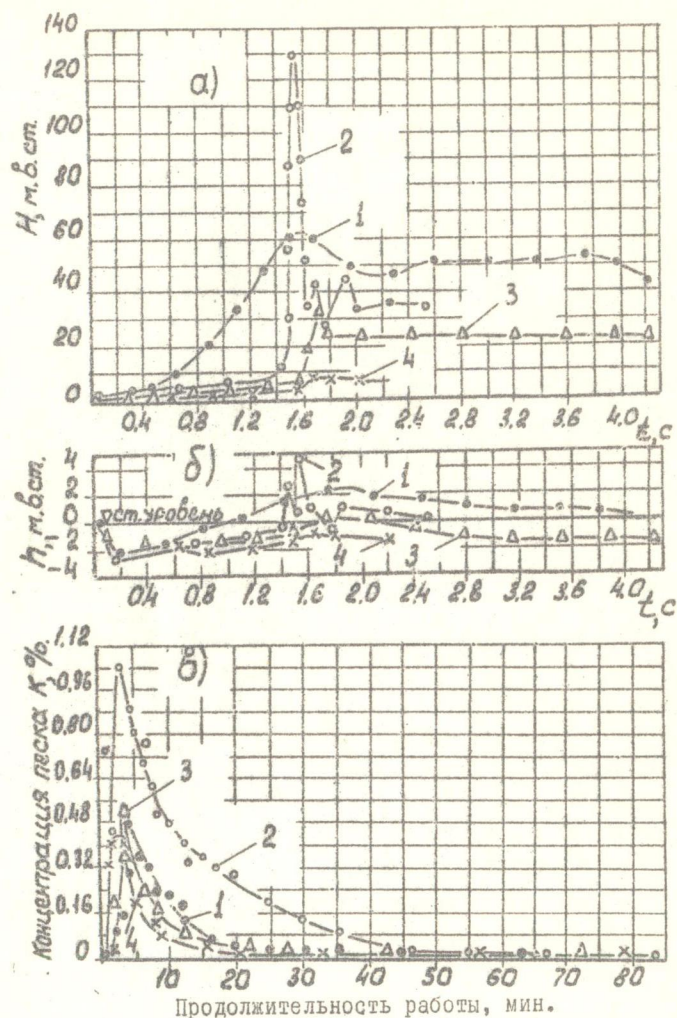


Рис. I. Зависимость переходных процессов в системе "насосная установка-скважина" от способа пуска насоса (ЭЦВ12-255-30М).

а - давление в напорном трубопроводе;  
 б - то же в фильтровой зоне обсадной колонны скважины;  
 в - пескование скважины.

- 1 - пуск при полностью закрытой задвижке;
- 2 - пуск при частично открытой задвижке, (5%);
- 3 - пуск при полуоткрытой задвижке (50%);
- 4 - пуск при полностью открытой задвижке.

подачей, с образованием кратковременного обратного тока воды из напорного трубопровода в скважину. При этом давление в скважине превышало статическое давление более чем на 4 м. вод.ст. (рис. I б, кривая 2) и являлось причиной кратковременного обратного тока воды из скважины в пласт.

При таком пуске наблюдалось наибольшее пескование скважины (рис. I в, кривая 2), что свидетельствует о значительном нарушении устойчивости призабойной зоны скважины.

С увеличением величины открытия задвижки при пуске насоса величина гидравлического удара уменьшается (рис. I а и б, кривые 3). При этом устойчивость призабойной зоны нарушается в меньшей степени и величина пескования снижается (рис. I в, кривая 3).

При пуске насоса с полностью открытой задвижкой практически не наблюдается ударного давления в напорном трубопроводе и скважине (рис. I а и б, кривые 4).

Однако, повышенный отбор воды из скважины и связанное с этим быстрое переформирование фильтра приводило к увеличению пескования скважины (рис. I в, кривая 4).

Идентичность величины пескования скважины наблюдалась при пусках с открытой и закрытой задвижками лишь в случаях, когда продолжительность открытия задвижки составляла 5-6 мин. (рис. I в, кривые 1 и 4).

При увеличении времени открытия задвижки пескование уменьшалось. При этом пики кривых концентрации песка сдвигались в сторону большего времени открытия, а их вершины становились более пологими (рис. 2 - сплошные линии).

Следовательно, задаваясь временем открытия задвижки, становится возможным в некоторой степени управлять процессом пескования скважины, что исключается при пуске с открытой задвижкой.

Результаты исследований показали, что даже при увеличении времени открытия задвижки до двух-трех часов вынос песка полностью не исключается, а уменьшается лишь на 20-40% по сравнению с пуском при открытой задвижке.

Применяемые в настоящее время системы автоматического управления установками вертикального дренажа не предусматри-



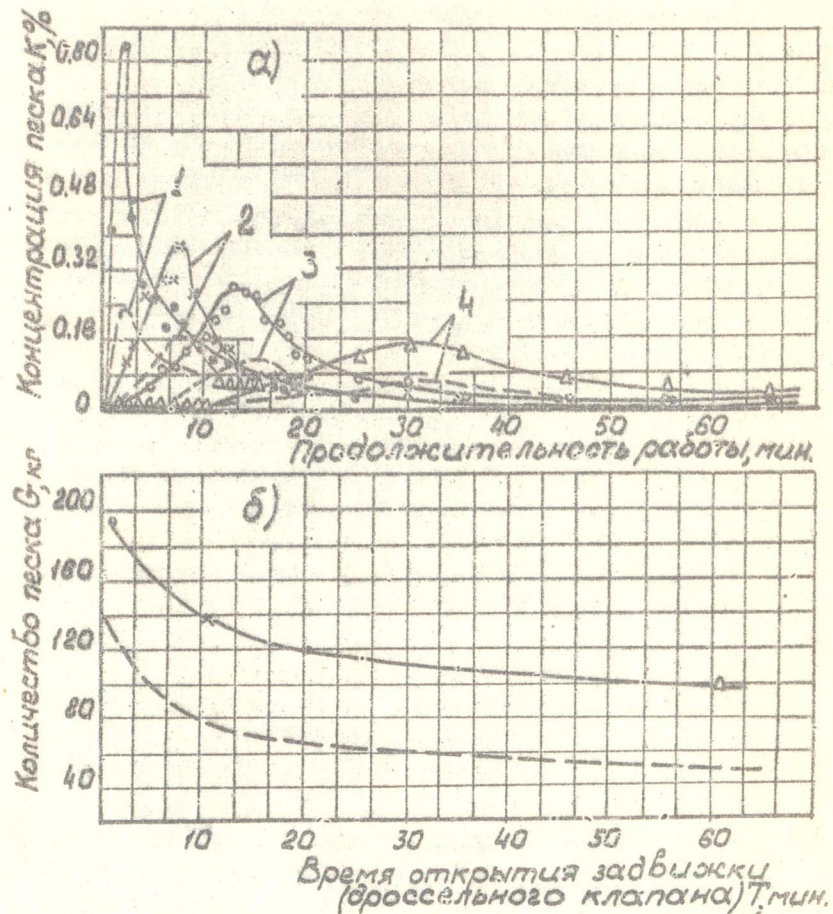


Рис.2. Зависимость пескования скважины при пуске насоса от времени открытия задвижки и дроссельного клапана.

- а) концентрация песка при открытии задвижки (дроссельный клапан) в течение: 1 - 1 мин; 2 - 10 мин; 3 - 20 мин; 4 - 60 мин;
- б) количество вынесенного песка из скважины в послепусковой период работы.  
 \_\_\_\_\_ задвижка; - - - дроссельный клапан.

вают контроля за работой задвижки.

При отключении электроэнергии обратный ток воды в насосной установке вращает рабочее колесо в обратном направлении. Исследованиями установлено, что при динамическом понижении воды в скважине, равном 18,5 м (наиболее распространенная величина), частота обратного вращения рабочего колеса достигает около 80% номинальной величины и продолжается почти 20 с. В практике эксплуатации наблюдаются случаи кратковременного отключения электроэнергии, при которых повторный пуск электронасоса (в системе автоматического управления) происходит в тот момент, когда вал еще вращается в обратную сторону. В этом случае продолжительность увеличения оборотов вала электронасоса до номинальных значений возрастает в 1,5-1,8 раза по сравнению с нормальным пуском, а детали привода и обмотка статора работают в перегрузочном режиме, о чем свидетельствует, например, частая поломка консольной части вала ротора погружного электродвигателя.

Для предотвращения нарушения сформировавшейся структуры грунта в прифильтровой зоне скважины необходимо:

- а) обеспечить плавный пуск скважины, т.е. медленное нарастание ее дебита от нуля до номинальной величины;
- б) при отключении насоса обеспечить медленное опорожнение напорного трубопровода, предотвращающее обратное вращение вала насоса.

Для выявления рационального режима плавного пуска скважины изучались процессы с различными закономерностями и временем нарастания подачи насоса. Эксперименты проводились с помощью управляемого дроссельного устройства, расположенного под динамическим уровнем воды в скважине за напорным патрубком насоса.

Исследованиями установлено, что при плавном нарастании подачи скважинного насоса от нуля до нормальной величины наблюдаются незначительные изменения давления в системе "насосная установка-скважина", которые практически очень слабо нарушают структуру грунта в прифильтровой зоне скважины. В этом случае песка выносится меньше по сравнению с ранее описанными пусками при управлении подачей насоса с помощью задвижки, установленной выше устья скважины.

Наименьшая величина пескования скважины наблюдается при нарастающем ускорении движения воды. Некоторое повышение пескования происходит при линейном нарастании подачи насоса и убывающем движении воды.

Все исследованные закономерности нарастания подачи насоса при плавном пуске показали, что с увеличением времени пуска пескование скважины уменьшается. При этом, аналогично управлению задвижкой, пики кривых концентрации песка также уменьшаются и сдвигаются во времени, а их вершины становятся все более пологими (рис.2 - пунктирные линии).

Рациональное время плавного пуска (нарастания дебита скважины) зависит, с одной стороны, от принятого закона нарастания дебита, с другой - от конструкции и качества изготовления фильтровой зоны скважины и прилегающих к ней водонесных грунтов. Результаты исследований показали, что время плавного пуска установок вертикального дренажа в Голодной степи различно: для тонко- и мелкозернистых песков оно составляет 80-90 мин., для среднезернистых - 60-70 мин. и крупнозернистых - 30-40 мин. Это позволило уменьшить общее количество вынесенного песка в послепусковой период работы на 55-70% по сравнению с широко применяемым пуском при открытой задвижке.

Применяемый метод пуска электронасоса положен в основу разработки автоматического дроссельного устройства конструкции САНИИРИ (рис.3), устанавливаемого в скважине вертикального дренажа за напорным патрубком насоса.

В данной конструкции открытие эксцентричного дискового клапана (рис.3, поз.2) происходит под действием потока воды в напорном трубопроводе, а время его поворота определяется продолжительностью вытекания жидкости из цилиндра (рис.3, поз.3).

В четвертой главе - "Исследование работы основных элементов установок вертикального дренажа" - даны результаты разработки и исследований новых технических средств, обеспечивающих повышение эффективности работы насосно-силового оборудования.

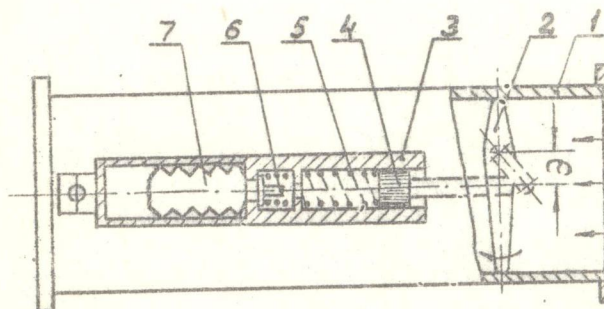


Рис.3. Автоматическое дроссельное устройство

- 1 - патрубок; 2 - Дисковый клапан;
- 3 - цилиндр; 4 - поршень; 5 - обратная пружина; 6 - обратный клапан;
- 7 - диафрагма. Э - эксцентриситет.

Частые нарушения в подборе состава гравийной обсыпки, расслоение гравия при засыпке в забой при строительстве скважины, неправильное освоение скважин, коррозионное разрушение фильтра, наличие песчаных пробок и др. не позволяют полностью исключить пескование.

Содержание механических примесей в откачиваемой воде в незначительных количествах (0,01-0,05% по весу в пусковой период) заметно снижает надежность насосов.

С целью определения конструктивных недостатков насосно-силового оборудования и разработки более совершенных технических средств, повышающих его долговечность, были проведены специальные работы.

1. Исследованы и разработаны средства защиты верхнего подшипника насоса от попадания в его полость абразивных частиц.
2. Определены величина и характер распределения темпера-

туры в полости погружного электродвигателя и разработаны средства, обеспечивающие выравнивание и снижение температуры.

3. Разработана конструкция скважинного электронасоса с требуемой надежностью.

4. Определены величина и способ целесообразной подрезки рабочих колес при регулировании насосной установки.

Для проведения лабораторных исследований разработан и изготовлен специальный стенд с мотор-весами, конструкция которого предусматривала определение потерь энергии в насосной части и погружном электродвигателе скважинных электронасосов. При его создании использован опыт проектирования стендов во ВНИИГидромаше, ВИАСХ, СКБ СЭНВ и на насосных заводах.

Исследования проводились по разработанной методике с учетом рекомендуемых ВНИИГидромаш и СКБ СЭНВ методик по испытаниям насосов. Применяемые методы и приборы для измерения обеспечивали получение результатов с погрешностями при определении расхода и давлений не более 1,5%, а температуры не более 3,5%.

В результате проведенных исследований установлено, что при подачах, несколько превышающих номинальную, конструкция обратного шарикового клапана, применяемого в серийно выпускаемых электронасосах для вертикального дренажа, не обеспечивает защиты верхнего подшипника насоса от попадания в его полость абразивных частиц. В связи с этим разработаны и испытаны вертикальный отстойник (авт.свид. № 363813 от 13 апреля 1971г.), обеспечивающий переток очищенной воды через верхний подшипник насоса, и обратный поплавковый клапан, предотвращающий переток откачиваемой насосом воды через верхний подшипник.

В результате полевых и лабораторных исследований установлено, что в процессе эксплуатации погружных электродвигателей наиболее интенсивное накопление окислов происходило в пазах статора. Это уменьшало их живое сечение и ухудшало теплопередачу. Повышенный нагрев наблюдался в пазах обмотки статора и верхней лобовой части, температура в которых, например, у электродвигателя 6ПЭДВ32-230 достигала 50°C при температуре воды, перекачиваемой насосом, равной 22-23°C. Коэффициент не-

равномерности нагрева обмотки статора  $K_{н.н.} = \frac{t_{max}}{t_{cp}}$  составлял 1,09-1,10.

С целью снижения неравномерности нагрева обмотки статора автором предложена принудительная система циркуляции воды в полости погружного электродвигателя, создаваемая с помощью упорного подшипника или сквозной винтовой канавки, нарезанной на цилиндрической поверхности ротора. Установлена целесообразная величина принудительной циркуляции, равная 25-30 см<sup>3</sup>/с. При этом максимальная температура в обмотке статора не превышала 40°C, что увеличивало ее долговечность.

Результаты лабораторных исследований разработанного скважинного капсульного электронасоса (рис.4) показали возможность его безотказной работы в течение требуемого мелиоративного режима работы скважины.

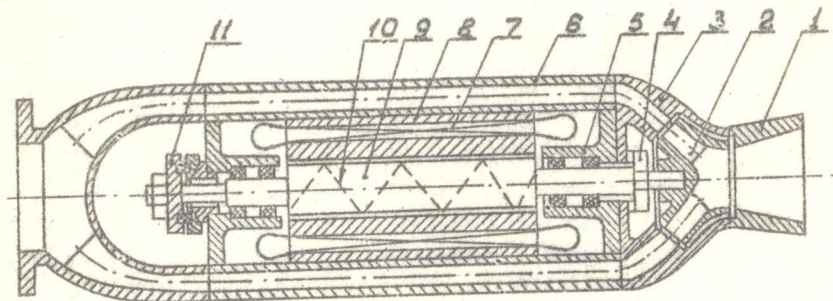


Рис.4. Скважинный капсульный электронасос.

- 1. Входной патрубок; 2. Рабочее колесо;
- 3. Выправляющий аппарат; 4. Торцовое уплотнение; 5. Подшипниковый щит; 6. Кожух;
- 7. Обмотка статора; 8. Статор; 9. Ротор;
- 10. Винтовая канавка; 11. Упорный подшипник.

Основные отличия этой конструкции от серийно выпускаемых скважинных электронасосов:

- а) в насосной части агрегата отсутствуют подшипниковые узлы;

б) погружной электродвигатель встроен в напорную магистраль насоса, вследствие чего обеспечены расчетные скорости обтекания наружной поверхности корпуса при работе в обсадной колонне, диаметр которой выше номинального, и в отстойнике скважины;

в) в полости электродвигателя осуществлена принудительная циркуляция воды с помощью винтовых канавок, нарезанных на цилиндрической наружной поверхности ротора.

С целью повышения к.п.д. насосных установок были проведены исследования по регулированию скважинных насосов посредством подрезки рабочих колес. Результаты исследований показали, что подрезка только лопаток рабочего колеса при сохранении покровных дисков нормальных размеров повышает к.п.д. насоса на 1,5-2% по сравнению с общепринятой обточкой лопаток совместно с покровными дисками. Применение подрезки рабочих колес позволит повысить среднее эксплуатационное к.п.д. насосных установок в Голодной степи в среднем с 27 до 42%.

В пятой главе - "Производственные испытания опытных насосных установок" - приведены результаты полевых испытаний опытных модернизированных установок, работающих в различных гидрогеологических условиях Голодной степи.

Программа работ включала проведение в полевых условиях сравнительных испытаний на надежность серийно выпускаемых электронасосов ЭЦВ12-255-30М (испытано 281 шт.), модернизированных заводом "Южгидромаш" электронасосов 2ЭЦВ12-255-30Г (испытано 10 шт.) и электронасосных агрегатов, модернизированных в САНИИРИ (испытано 20 шт.).

Электронасосные агрегаты, модернизированные в САНИИРИ, состояли из серийных скважинных электронасосов ЭЦВ12-255-30М, оборудованных следующими устройствами:

- 1) автоматическим дроссельным устройством, обеспечивающим плавный пуск скважины;
- 2) вертикальным отстойником для подачи очищенной воды в верхний подшипник насоса;
- 3) обратным клапаном поплавкового типа для защиты верхнего подшипника насоса от попадания в его полость абразивных частиц и теплообменником с принудительной циркуляцией в электродвигателе, создаваемой с помощью упорного подшипника;

4) обратным клапаном поплавкового типа в насосе и принудительной циркуляцией воды в полости электродвигателя, создаваемой винтовой канавкой на роторе.

Кроме того, были испытаны 12 скважинных электронасосов с подрезанными рабочими колесами.

Методика проведения испытаний на надежность предусматривала работу опытных скважинных электронасосов до отказа.

В испытаниях принимали участие СКБ СЭНВ (г. Кишинев), насосные заводы "Южгидромаш" (г. Бердянск) и им. Котовского (г. Кишинев), эксплуатационные организации Минводхозов УзССР и КазССР.

Результаты испытаний показали следующее:

а) наиболее низкую надежность имели электронасосы ЭЦВ12-255-30, выпускаемые Ошским насосным заводом (рис. 5, кривые 1, 2). Их средняя наработка до отказа составляла 1500-2800 ч. Электронасосы ЭЦВ12-255-30М (рис. 5, кривые 1', 2', 3), модернизированные в СКБ СЭНВ, имели среднюю наработку до отказа 3500-4500 ч. Электронасосы 2 ЭЦВ12-255-30Г имели наработку до отказа в среднем 5800-6200 ч. (рис. 5, кривая 4).

б) автоматическое дроссельное устройство обеспечивало плавный пуск скважины и снижало ее пескование в послепусковой период работы. При этом наработка до отказа электронасосов ЭЦВ12-255-30М, оборудованных автоматическим дроссельным устройством, увеличилась в среднем в 1,5 раза;

в) электронасосные агрегаты с устройствами защиты подшипников насоса от попадания в их полость абразивных частиц и системой принудительной циркуляции воды в полости электродвигателя имели наработку до отказа в среднем 7000-8000 часов (рис. 5, кривая 5).

Срок службы рабочего колеса, изготовленного из нержавеющей стали 4Х13Л, по сравнению с ранее применявшимся из серого чугуна, увеличился в среднем с 4000-6000 до 12000-30000 часов.

Составлены математические модели распределения отказов скважинных электронасосов.

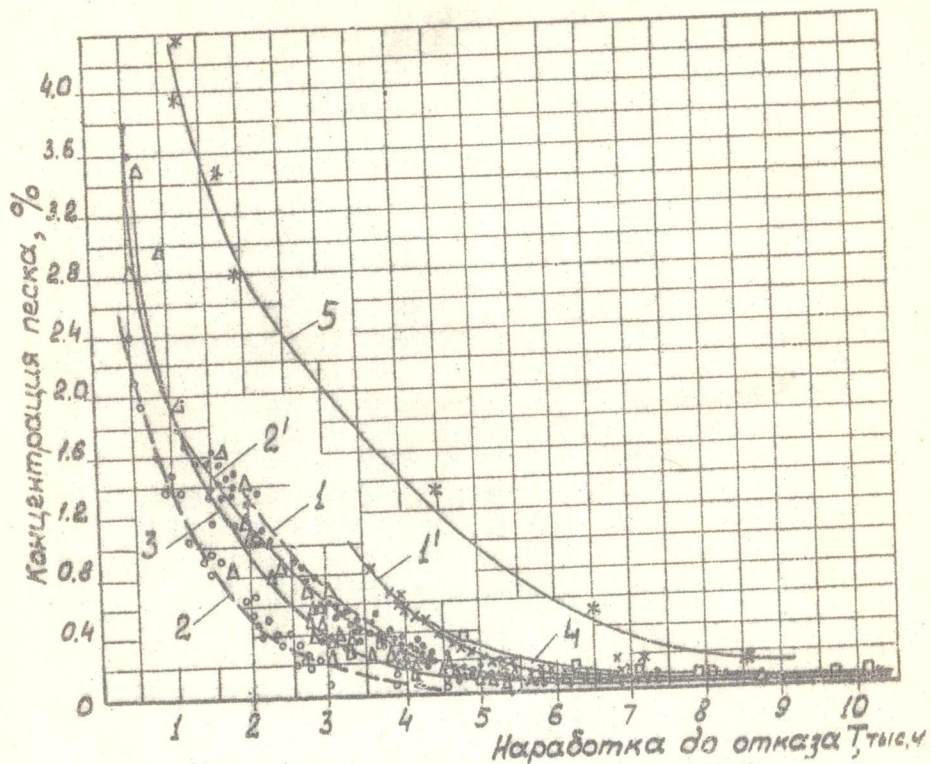


Рис. 5. Зависимость наработки до отказа скважинных электронасосов от максимальной концентрации механических примесей в откачиваемой воде при пуске насоса.

ЭЦВ12-255-30

1, 2 - Шурузянский и Пахтааральский массивы.

ЭЦВ12-255-30М

1', 2', 3 - Шурузянский, Пахтааральский и Сардобинский массивы.

ЭЦВ12-255-30Г

4 - Сардобинский массив.

НАСОСНЫЕ АГРЕГАТЫ САНИИРИ

5 - Пахтааральский и Сардобинский массивы.

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Установленный в результате предварительных исследований коэффициент использования скважин, равный 0,30-0,50, свидетельствует о недоиспользовании проектной мощности вертикального дренажа, что приводит к снижению его мелиоративного эффекта. Основная часть простоев скважин (свыше 50%) вызвана частым выходом из строя насосно-силового оборудования, главным образом, вследствие пескования скважин. Величина и характер пескования в некоторой степени предопределяются переходными процессами, происходящими в скважине при пуске и отключении насоса.

2. Отсутствие необходимого числа типоразмеров скважинных насосов для вертикального дренажа приводит к необходимости осуществления глубокого регулирования подачи насосов с помощью дросселирования задвижкой, что ведет к значительному перерасходу электроэнергии и снижению к.п.д. установок (например, в Голодной степи до 27%).

3. Результаты экспериментальных исследований переходных процессов в напорном трубопроводе и скважине при пуске и отключении насоса в основном соответствуют нашим теоретическим предположениям:

а) наиболее неблагоприятный режим наступает при пуске с частично открытой задвижкой. При этом в системе "насосная установка-скважина" образуется гидравлический удар, вызывающий усиленное пескование с пиком концентрации песка до 1,0-1,5% по весу;

б) наилучшим режимом при пуске является плавное увеличение дебита скважин от нуля до эксплуатационной величины с нарастающим ускорением движения воды. Рациональное время нарастания дебита скважин зависит от способа пуска, конструкции и качества изготовления фильтровой зоны скважин, а также от литологического состава отложений водоносных пластов. Для условий Голодной степи это время составляет: для тонко- и мелкозернистых песков - 80-90 мин; для среднезернистых - 60-70 мин. и крупнозернистых - 30-40 мин. При этом общее количество вынесенного песка в послепусковой период работы на

55-70% меньше по сравнению с широко применяющимся пуском с полностью открытой задвижкой;

в) для обеспечения разработанных оптимальных режимов пуска и остановки насосов, максимально уменьшающих пескование скважин, разработано, изготовлено и испытано в лабораторных и производственных условиях автоматическое дроссельное устройство. Конструкция устройства позволяет при пуске изменять время нарастания дебита скважин и тем самым обеспечивать пуск насосов с минимальным пескованием при работе в различных гидрогеологических условиях, и при отключении предотвращать обратный ток воды из напорного трубопровода в скважину. Применение автоматического дроссельного устройства повысило наработку до отказа насосных агрегатов более чем в 1,5 раза и увеличило срок службы скважин.

4. Разработаны и испытаны вертикальный отстойник и обратный поплавковый клапан, которые обеспечили защиту верхнего подшипника насоса от попадания песка. Исследования показали, что их применение увеличивает долговечность подшипника с 2500-3500 часов до 7000-9000 часов.

5. Разработан способ принудительной циркуляции воды в полости погружного электродвигателя, уменьшающий неравномерность нагрева отдельных его элементов и снижающий максимальную температуру в среднем с 50°C до 40°C. Данный способ позволяет увеличить долговечность обмотки статора с 4000-4500 часов до 6500-10000 часов.

6. С целью повышения эффективности работы насосной установки целесообразно при подборе насосов для скважин производить подрезку рабочих колес. Применение подрезки в условиях Голодной степи позволяет по сравнению с дросселированием с помощью задвижки при ограниченном числе типоразмеров насосов повысить среднеэксплуатационный к.п.д. насосных установок с 27 до 42%. При этом рекомендуется производить обточку лишь лопаток рабочего колеса, сохраняя покровные диски нормальных размеров.

7. Экономическая эффективность от внедрения результатов исследований в Голодной степи для одной скважины составила свыше 1000 рублей, а экономический потенциал от внедрения на

скважинах вертикального дренажа в условиях Средней Азии составляет порядка 1,5-2 млн. рублей.

Основные результаты исследований по теме диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Исследование насосно-силового оборудования установок вертикального дренажа в Узбекской ССР (в соавторстве). Обзорная информация № 5, М., ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1969.

2. К вопросу подрезки колес погружных насосов типа ЭЦВ для вертикального дренажа (в соавторстве). Труды САНИИРИ, вып. 133, Ташкент, 1972.

3. Влияние способов пуска в работу погружных электронасосов на пескование скважин вертикального дренажа. Труды САНИИРИ, вып. 135, Ташкент, 1972.

4. Некоторые вопросы повышения надежности погружных электронасосов типа ЭЦВ на скважинах вертикального дренажа в Узбекской ССР. Труды САНИИРИ, вып. 135, Ташкент, 1972.

5. Особенности эксплуатации насосных установок для вертикального дренажа. Сборник научных трудов САНИИРИ, вып. 142, часть I, Ташкент, 1974.

6. Скважинный капсульный электронасос СКЭН16-315-30 конструкции САНИИРИ для вертикального дренажа. Механизация хлопководства, № 10, 1975.