

П-14



ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРШИНСКОГО МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА С КАСКАДОМ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ
КАРШИНСКОГО МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА С КАСКАДОМ
НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Ташкент - "Мехнат" - 1987

ВВЕДЕНИЕ

В работе показан опыт эксплуатации Каршинского магистрального канала с каскадом уникальных насосных станций. Представлена краткая характеристика, структура управления каскадом насосных станций: организация службы эксплуатации, надежности и долговечности оборудования, экономические показатели насосных станций.

Авторами использованы результаты натурных исследований, проведенных на каскаде ведущими научно-исследовательскими, проектными и учебными институтами страны. В книге описан опыт отношений с заводами-смежниками - "Уралгидромаш" и "Уралэлектротяжмаш".

Работа рассчитана на инженерно-технических работников, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией крупных мелиоративных насосных станций и каскадов. Она может быть также использована аспирантами и студентами технических и сельскохозяйственных вузов при изучении курса "Эксплуатация насосных станций".

Работа выполнена И.К.Дуденко, Р.А.Очиловым, О.Я.Гловацким, С.К.Переверзевым, В.М.Некрасовым.

Под редакцией заслуженного ирригатора
Узбекской ССР, канд.тех.наук
С.К.Переверзева

© По заказу Управления эксплуатации Каршинского магистрального канала и насосных станций, 1987 г.

Октябрьским (1984г.) Пленумом ЦК КПСС предусматривалось довести орошаемые площади в стране к 2000 году до 30-32 млн.га. В Узбекской ССР планировалось оросить 5,0-5,5 млн.га. В ближайшие 10-15 лет площади с машинным орошением в Средней Азии возрастут примерно в два раза.

В Узбекистане, например, уже сейчас с помощью государственных насосных станций орошается свыше 20% плантаций.

Особенно бурное строительство крупных оросительных систем началось в шестидесятые годы. В это время вводится в эксплуатацию головная насосная станция Шерабадской оросительной системы с шестью агрегатами, осуществляющая подачу 100 м³ воды в секунду на высоту до 28 м, Аму-Бухарский машинный канал с крупными насосными станциями: Куя-Мазарской, Кизил-Тепинской, Хамза-1, Хамза-2.

В этот же период начинается строительство Каршинского магистрального канала с каскадом из шести крупных насосных станций.

А в 1980 г. было орошено уже более 200 тыс.га целинных земель Каршинской степи, на этом завершилась первая очередь по ее освоению. Сдача в эксплуатацию седьмой насосной станции Каршинского каскада позволила наполнить чашу Талимарджанского водохранилища до проектного объема - 1,6 млрд.м³. Используя его регулируемую емкость, а также воду уже построенных Чимкуртанского (500 млн.м³) и Пачкомарского (250 млн.м³) водохранилищ, в ближайшие годы площадь орошаемых земель будет доведена до 350 тыс.га. На этом завершится 2-я очередь освоения Каршинской степи.

В данное время начато проектирование 3-й очереди освоения Каршинской степи со строительством еще более крупных уникальных насосных станций и Шорсайского водохранилища.

Обследование действующих насосных станций в республиках Средней Азии, РСФСР и на Украине показало, что многие из них работают с низкой производительностью. Объясняется это различными причинами, но одна из главных - неудовлетворительный гидравлический режим работы насосного комплекса, подводящих и отводящих каналов и сооружений.

Исследования надежности и эффективности эксплуатации насосных станций, как и других технических объектов, развиваются в

двух основных направлениях: выявление физической сущности происходящих явлений и процессов и разработка математических методов расчетов и количественной оценки вероятности безотказной работы. Второе направление - изучение гидравлических и механических процессов на крупных насосных агрегатах.

В данной работе авторы делают попытку частично восполнить этот пробел, используя богатый материал многолетних натурных исследований Каршинских насосных станций.

Каскад Каршинского магистрального канала из шести насосных станций (КМК) представляет собой уникальный гидротехнический комплекс. Здесь впервые в отечественной практике установлены мощные гидроагрегаты с осевыми насосами, каждый подающий до 40 м^3 воды в секунду на высоту 24 м.

Управление Каршинского магистрального канала и насосных станций (УЗМК и НС) с целью обеспечения бесперебойной эксплуатации организовало комплексные исследования канала и каскада насосных станций с привлечением крупнейших научно-исследовательских и проектных институтов.

Сразу же после пуска (1973г.) на насосных станциях № I и 2 были организованы комплексные натурные испытания головных образцов насосов ОП 10-260Г и ОП II-260Г под руководством ВНИИГидромаш и при участии Гидропроекта, ВНИИГим, МИСИ и заводов-изготовителей насосных агрегатов - "Уралгидромаш" и "Уралэлектротяжмаш". В результате этого были получены рабочие характеристики агрегатов и подготовлены материалы для сдачи станций в эксплуатацию.

Параметрическими, гидромеханическими, виброакустическими и контрольными испытаниями на надежность насосных агрегатов было установлено соответствие их техническим условиям и выданы рекомендации по эксплуатации насосов в установившихся и переходных режимах. На основании результатов испытаний насосы были приняты Государственной межведомственной комиссией и рекомендованы к серийному производству с присвоением им высшей категории качества.

Питание Каршинского каскада насосных станций осуществляется с помощью бесплотинного водозабора из реки Амударья. Суммарный забор воды в течение года составляет 5,1 куб. км.

В подводящий канал поступает 12-16 млн. м^3 наносов в год, которые создают основное препятствие для осуществления бесперебой-

ного водозабора, особенно в летний вегетационный период. Для уменьшения твердых абразивных частиц, поступающих с водой через насосы, в головной части подводящего канала предусмотрено двойное расширение сечения его русла на протяжении 2-х км, где скорость течения воды снижается от I до 0,4 м/с, это обеспечивает интенсивное выпадение наиболее крупных взвешенных частиц (до 60% всего твердого стока). Более мелкие - осаждаются на остальной 13-ти километровой трассе русла подводящего канала. Очистка русла ковша и подводящего канала производится в зависимости от графика водозабора воды в течение всего года, а также из расчета плановой загрузки земснарядов. Поддержание в проектных размерах сечения русла подводящего канала обеспечивает устойчивое постоянство номинальных горизонтов воды у насосной станции № I, что обеспечивает устойчивый режим работы насосов всего каскада, позволяет осуществлять грубую регулировку наносов в забираемой на орошение воде, приспосабливаться к своему характеру Амударьи.

Имеющиеся осложнения с водозабором приводят к резкому снижению уровня воды у головной насосной станции, вызывают нарушения режима ее работы (кавитационные разрушения насосов, снижение подачи воды, перерасход электроэнергии, снижение моторесурсов насосных агрегатов и др.). В этом случае обеспечение высокоэффективной работы каскада зависит, прежде всего, от работы головной насосной станции, режим которой определяется работой водозабора и подводящего канала.

В связи с этим натурные исследования, проводимые различными институтами, были сосредоточены на головной насосной станции № I. В период 1973-1985 гг., такие исследования проводили ВНИИГидромаш, НИС Гидропроекта, МИСИ, ВНИИГим, САНИИИ, СредазВНИИГидромаш, УкрНИИГим, ТИИИМСХ, Союзгипрорис, ЛПИ и др.

Впервые в отечественной практике здесь была применена работа каскада в подпорном режиме с пятью работающими агрегатами, с расчетной подачей $195 \text{ м}^3/\text{с}$ воды. Повышение уровней воды перед насосными агрегатами значительно улучшило условия эксплуатации.

Особое внимание уделялось исследованиям гидравлического режима аванкамеры, который определяет подачу насосной станции и возможность комбинирования ее числом работающих агрегатов. При этом крайние насосы работали, как правило, с меньшими подачами, КПД

и моторесурсом. В результате исследований была разработана конструкция аванкамеры, обеспечивающая реинженерный прямой вход во все насосы с минимальными сопротивлениями, улучшая параметры крайних агрегатов и исключая образование водоворотных зон и воронок.

Впервые в Союзе на каскаде работает I-я очередь системы диагностики агрегатов, позволяющая на высоком техническом уровне осуществлять контроль за работой основных узлов агрегата, прогнозировать допустимый ресурс их работы.

Для обеспечения бесперебойной работы здесь создана хорошо оснащенная ремонтная база, выполняющая большой объем работ, включая капитальный ремонт крупногабаритных узлов насосов и электродвигателей. На каждой насосной станции созданы бригады слесарей ремонтно-механического участка, хорошо освоившие ремонт этих агрегатов. Например, они заменяют рабочее колесо насоса за четверо суток, самый ответственный ремонт производят в кратчайшее время, без нарушения графика полива.

На каскаде также впервые разработано и внедрено гидравлическое устройство для срыва вакуума в сифонных водовыпусках, взамен механических клапанов срыва вакуума (КСВ). Этому способствовало внедрение подпорного режима, при котором колебания воды в канале были строго ограничены в пределах 0,5-1,0 м. Эксплуатация гидравлического устройства в зимних условиях выявила его надежность, эффективность и быстрдействие: здесь роль запорного органа выполняет вода, поэтому обеспечивается абсолютная герметичность сифонов и проектный режим работы насосных агрегатов, что снизило расход электроэнергии на 3%.

Гидравлическое устройство обеспечивает полную автоматизацию работы насосного агрегата, позволяет отказаться от ранее действующей системы автоматики и улучшает эксплуатацию насосных станций.

Комплексные натурные исследования позволили выявить энергетические и кавитационные качества крупногабаритных вертикальных осевых насосов, проверить их прочность, зафиксировать динамические характеристики проточного тракта в стационарных и переходных режимах, дали богатый материал для решения проблемы масштабного эффекта, сложность решения которой обусловлена наличием в проточном тракте вакуумной зоны. Опыт эксплуатации подобного насосного

оборудования в различных режимах и климатических условиях и результаты специальных натурных исследований позволили выработать рекомендации по проектированию еще более мощных насосных станций.

Авторы поставили перед собой задачу - осветить опыт по эксплуатации и результаты научных исследований Каршинских насосных станций. Решение задачи осложняется тем, что:

1. Насосные станции работают в условиях каскадной подачи, что ужесточает условия их эксплуатации, так как график их работы диктуется горизонтами воды в промежуточных каналах каскада.

2. На насосных станциях установлены головные образцы уникальных поворотно-лопастных осевых насосов ОПВ-260Г, которые впервые проходят подконтрольные испытания на каскаде Каршинского магистрального канала.

3. Водозабор осуществляется в труднейших условиях из реки Амударья, постоянно меняющей свое русло, вода которой содержит до 10 кг/м³ взвешенных наносов.

Изучение многолетнего опыта эксплуатации, а также непосредственное участие в проводимых исследованиях и натурных испытаниях позволили авторам сделать некоторые выводы и дать рекомендации по оптимизации режима работы оборудования, сооружений, каналов, улучшению и совершенствованию их эксплуатации.

1. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ И КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАРШИНСКОГО МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА

Каршинский магистральный канал (КМК) расположен на территории Туркменской и Узбекской ССР и предназначен для переброски части стока Амударьи на орошение Каршинской степи.

На юго-востоке Узбекистана, между Заравшанской долиной и Амударьей, расположена обширная по территории Кашкадарьинская область с небольшой орошаемой зоной в бассейне реки Кашкадарья и огромным пространством безводной пустынной степи, занимающей 1 млн. га. В верхней части оазиса земли орошаются из рек Кашкадарья и Гузадарья - всего 85 тыс. га, в Китаб-Шахрисабзском и Гузарском районах. К западу от г. Карши воды Кашкадарьи разбираются полностью.

Кашкадарья - маловодная река со среднегодовым расходом около 25 м³/с, имеет снеговое питание. Максимум, 60 м³/с, приходится

на апрель, а минимум — около 5 м³/с — на август-сентябрь. Весь осенний паводок сбрасывается в пески. Водохранилища — Чимкурганское — емкостью 500 млн. м³, Пачкокарское — 150 млн. м³ и другие позволяют собирать паводковые воды, но в целом проблемы водообеспеченности Кашкадарьинского оазиса не решаются.

Каршинская степь с давних пор используется под пастбища, но по климатическим, почвенным, гидрогеологическим данным является перспективным объектом орошения, где можно производить 1 млн. т высококачественного хлопка-сырца в год.

Климат характеризуется напряженным термическим режимом пустыни со среднегодовой температурой воздуха $15-17^{\circ}$ и со средней температурой теплового полугодия (IV-X месяцы) — $23-27^{\circ}$. Абсолютный максимум температур достигает 48°C , а минимум — 26°C . Наиболее жаркие месяцы — июнь, июль, холодный — январь. Количество осадков неравномерное — от 100 до 250 мм в год. Сблизие света и тепла (безморозный период 200-205 дней) создает благоприятные условия для возделывания тонкобобовистых сортов хлопчатника. Основной сток дождевого характера формируется в горах и поступает в основном по руслам рек.

Рост энергетических мощностей — открытие бухарского газа, строительство Навоийской ГРЭС и Нуракской ГЭС на реке Вахш создали возможность решения грандиозной проблемы орошения Каршинской степи путем переброски вод Амударьи.

По схеме орошения, забор воды из Амударьи предусмотрен около села Кизил-Аяк у Пулизинданных высот. Территория Каршинской степи условно делится существующими Каршинским каналом и проектируемой Шорсайской веткой на две зоны: верхнюю и нижнюю. Годовой расход определен с учетом регулирующего действия Талимарджанского и Шорсайского водохранилищ.

Срошение степи намечено в несколько этапов. Первая очередь — строительство магистрального канала с шестью насосными станциями, идущего в обход Талимардванского водохранилища до реки Кашкадарьи, с бесплотинным подзабором на головной расход 200 м³/с.

Вторая очередь - строительство Талимарджанского водохранилища и его коммуникаций по дальнейшему разводу воды, в том числе дополнительными насосными станциями. Третья очередь - строительство Шарсайской ветки с водохранилищем.

В соответствии с рекомендациями Государственной экспертной

комиссии Госплана СССР, освоение Кершинской степи начинается с земель верхней зоны, находящихся в более благоприятных условиях. Почвы здесь плодородные, объекты строительства и освоения расположены ближе к населенным пунктам и транспортным путям. В контуре этой зоны на валовой площади 257 тыс.га выделяется первая очередь орошения площадью нетто 200 тыс.га (рис.1).



Рис. I. Схема орошения Каршинской степи:

- граница проектируемого орошения - 900 тыс.га;
первая очередь орошения - 200 тыс.га;
вторая очередь орошения - 150 тыс.га;
граница республики;
каналы;
насосные станции;
коллекторы.

По масштабам орошения и освоения Каршинская степь не имеет себе равных в мире. Общие объемы основных работ по водохозяйственному и сельскохозяйственному строительству первой очереди орошения и освоения Каршинской степи следующие:

- выемка грунта - 467 млн. куб. м;
насыпь и обратная засыпка - 237 млн. куб. м;
планировка земель - 184 млн. куб. м;
укладка бетона и железобетона - 4,8 млн. куб. м;
монтаж металлоконструкций - 56 тыс. т.

стоимость работ в ценах 1969г. по утвержденному проекту - 1380,2 млн.руб., в том числе объектов производственного назначения - 1148,7 млн.руб., непроизводственного - 231,5 млн.руб. На массиве организуются 27 новых хлопководческих, 3 садово-виноградских, 2 животноводческих совхоза, а также переустраиваются 3 совхоза и 6 колхозов. Удельная стоимость работ по орошению и освоению 200 тыс.га находится на уровне аналогичных показателей по другим массивам нового орошения с хлопковым севооборотом и составляет 6300 руб./га.

Каршинский магистральный канал, общей протяженностью около 200 км, делится на две части: головную (машинную) и рабочую (самотечную). Головной водозаборный гидроузел головного канала расположен на правом берегу Амударьи близ поселка Кизил-Аяк, оканчивается у Талимарджанского водохранилища. Большая часть канала проходит по территории Чарджоуской области Туркменской ССР, а конечной участок - в Каршинской степи УзССР. Общая длина машинной (головной) части КМК составляет 77,6 км. На этой трассе расположены 6 однотипных насосных станций, подающих 200 кубометров воды в секунду, с общей высотой подъема 132 м. Высота ступеней подъема канала и места расположения насосных станций определены условиями максимального вписывания трассы канала в рельеф местности и применения однотипного оборудования. Начальный самотечный участок канала от Амударьи до насосной станции № I длиной 20,6 км проложен в земляном русле без покрытия, а на всем остальном протяжении (57 км) канал бетонирован.

На стыке головной и рабочей части канала запроектировано Талимарджанское водохранилище, предназначенное для аккумуляции и перераспределения расходов воды. Для его заполнения построена насосная станция № 7.

В вегетационный период вода подается по обходному каналу, минуя водохранилище, в рабочую часть канала, которая одновременно подпитывается из водохранилища. В зимний период вода в основном подается для заполнения водохранилища. Головной регулятор обходного канала имеет шесть пролетов и выполнен из монолитного железобетона. Отверстия пролетов перекрываются плоскими колесными глубинными затворами с помощью подъемников ЗОЗВЛ.

Участок от Талимарджанского водохранилища до р.Кашкалары (73,5 км) является рабочей частью магистрального канала и рас-

считан на расход 350 куб.м/с воды, с учетом орошения 350 тыс.га земель верхней зоны Каршинской степи.

На 22 км рабочей части канала предусмотрена бетонная противофильтрационная облицовка, на 24-ом км - грунтовый противофильтрационный экран толщиной 1,5 м, остальная часть (28,5 км) из-за близкого залегания грунтовых вод облицовки не требует.

Проектный коэффициент полезного действия Каршинского магистрального канала - 0,97. Орошение земель первой очереди на площади 200 тыс.га предусматривалось, в основном, прямым током из Амударьи, поэтому строительство Талимарджанского водохранилища началось после ввода в действие рабочей части магистрального канала. В связи с острым маловодьем в 1973 году, для ускорения подачи воды из Каршинского магистрального канала в зону существующего орошения, был рекомендован вариант строительства левобережного Ульяновского распределителя с подачей воды в него от насосной станции № 4 головной части. В зону этого канала вошло 56 тыс.га условно поливных земель, из которых в связи с недостатком воды, орошалось только 10-14 тыс.га. Строительство левобережного распределителя позволило повысить уровень водообеспеченности земель существующего орошения и начать ввод в сельскохозяйственный оборот новые земли до окончания строительства насосных станций № 5 и 6.

Ульяновский распределитель длиной 105 км, с пропускной способностью 60 куб.м/с, на первых 63 км проходит по пустынной территории в условиях волнистого рельефа, осложненного барханными песками, а затем пересекает массив первой очереди освоения Каршинской степи. Водозабор в распределитель осуществляется из головной части канала между насосными станциями 4 и 5 трехочковым трубчатым сооружением. В настоящее время со строительством второго водозабора Ульяновский канал расширяется.

На каскаде насосных станций впервые в отечественной практике установлены мощные гидроагрегаты с осевыми насосами, с подачей каждого до 40 куб.м/с. Головная насосная станция № I, в отличие от остальных, имеет проектную высоту подачи 17,4 м, остальные пять подают воду на 23-25 м каждая (рис.2).

Каждая из шести насосных станций каскада оборудована шестью насосными агрегатами СНВ-260 ЗГ, из них пять - рабочих и по одному - резервному. Все насосные станции работают последовательно и синхронно. Электроснабжение насосных станций идентичное. Подвод

жание заиливания аванкамеры и для создания нормального гидравлического режима при подаче малых расходов, перед насосной станцией предусмотрена система струнаправляющих стенок (бычков). Вода, пройдя решетки СУС, попадает в приемные камеры насосных агрегатов, оборудованные параллельными подпорными стенками и разделительными бычками. Дно аванкамеры сопрягается с дном всасывающих труб переходным участком, имеющим уклон 1:4. Здание насосной станции - прямоугольное, с учетом монтажной площадки имеет длину 72 м. Расстояние между осями агрегатов - 7,5 м. Вся проточная часть насоса выше камеры рабочего колеса заделана в бетоне, а несущая конструкция машинного зала металлическая.

Насосные станции со стороны аванкамер оснащены каждая комплектом сороудерживающих решеток на 6 агрегатов и тремя комплектами заграждений (затворов-шандор), маневрирование которыми осуществляются с помощью козлового крана грузоподъемностью 30 т. Напорный трубопровод - стальной, с ребрами жесткости, открытый, длиной около 100 м, с двумя температурными компенсаторами сальникового типа у всех шести насосных станций.

Каждая нитка трубопровода имеет свой сифонный водовыпуск, выполненный из монолитного железобетона в виде пустотелой клетки, пригруженной грунтом. Основание сифона доведено до коренных пород. Вода из водовыпускного сооружения поступает в водобойный колодец, ограниченный по бокам вертикальными подпорными стенками. Глубина колодца равна высоте выходного сечения водовыпуска, подпорные стенки заканчиваются откосами, расположенными под углом 45° . Угол конусности сопрягаемого участка колодца с отводящим каналом равен 45° . Колодец водовыпускного сооружения имеет струнаправляющие стенки (бычки), на которые опирается автомобильный мост.

Для пропуска селевых вод на трассе канала сооружено два акведука на ПК 296 и 364, пропускной способностью до $60 \text{ м}^3/\text{с}$. Конструкция их заимствована из типового проекта сборных железобетонных мостов. Длина акведука - 42,24 м, расстояние между стойками опор - 6 м. На железобетонные сваи сечением $30 \times 35 \text{ см}$ установлены насадки, на которые уложены прогоны. Дно лотка выполнено из монолитного бетона толщиной 15 см.

В последние годы, в период вегетации, КМК работал при форсированных режимах, с расходом воды свыше $195 \text{ м}^3/\text{с}$. Акведук на

ПК 364 находился в подтопленном состоянии, создавал подпор до 70 см, затрудняя нормальную эксплуатацию, и был демонтирован. Реконструкция его должна быть завершена в 1986 г.

На головной части КМК, между обеими сторонами канала, построены 2 железнодорожных и 4 автомобильных моста.

На водовыпускных сооружениях каждой насосной станции имеются мостовые переезды, шириной проезжей части 6 м.

2. СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ. СОЗДАНИЕ СЛУЖБЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В декабре 1971 г. Управление "Главсредазирсовхозстрой" издало приказ о создании Управления эксплуатации Кершинского магистрального канала.

"Главсредазирсовхозстрой" ведет комплексное освоение целинных и полупустынных земель в республиках Средней Азии, поэтому было принято решение подключить в эту работу и будущих эксплуатационников. Люди, призванные осуществлять эксплуатацию крупнейшего в нашей стране Кершинского каскада насосных станций, должны были иметь познания в гидравлике, энергетике, гидромеханике и автоматике, а также необходимый стаж и опыт по эксплуатации технологического оборудования, монтируемого на насосных станциях каскада. Получать необходимый опыт и знания можно было только при непосредственном участии эксплуатационников в монтаже, наладке и пуске гидромеханического оборудования, строительно-монтажных работах, и это дало впоследствии хорошие результаты.

Участие эксплуатационного персонала в работе при строительстве насосных станций позволило им не только досконально освоить насосную технику, но и обеспечить досрочный ввод ее в эксплуатацию. 27 марта 1973 года был осуществлен пуск первого агрегата, на год раньше намеченного срока.

Сложившаяся схема Управления эксплуатации магистральным каналом, а впоследствии и Талимарджанским водохранилищем с насосной станцией № 7 представлена на рис. 4. Из нее следует, что все административно-хозяйственные функции, вопросы подбора кадров, планирования, финансирования, материально-технического снабжения, проведения крупных ремонтных работ и другие приняло на себя Управление.

По существу, при централизации административно-хозяйствен-

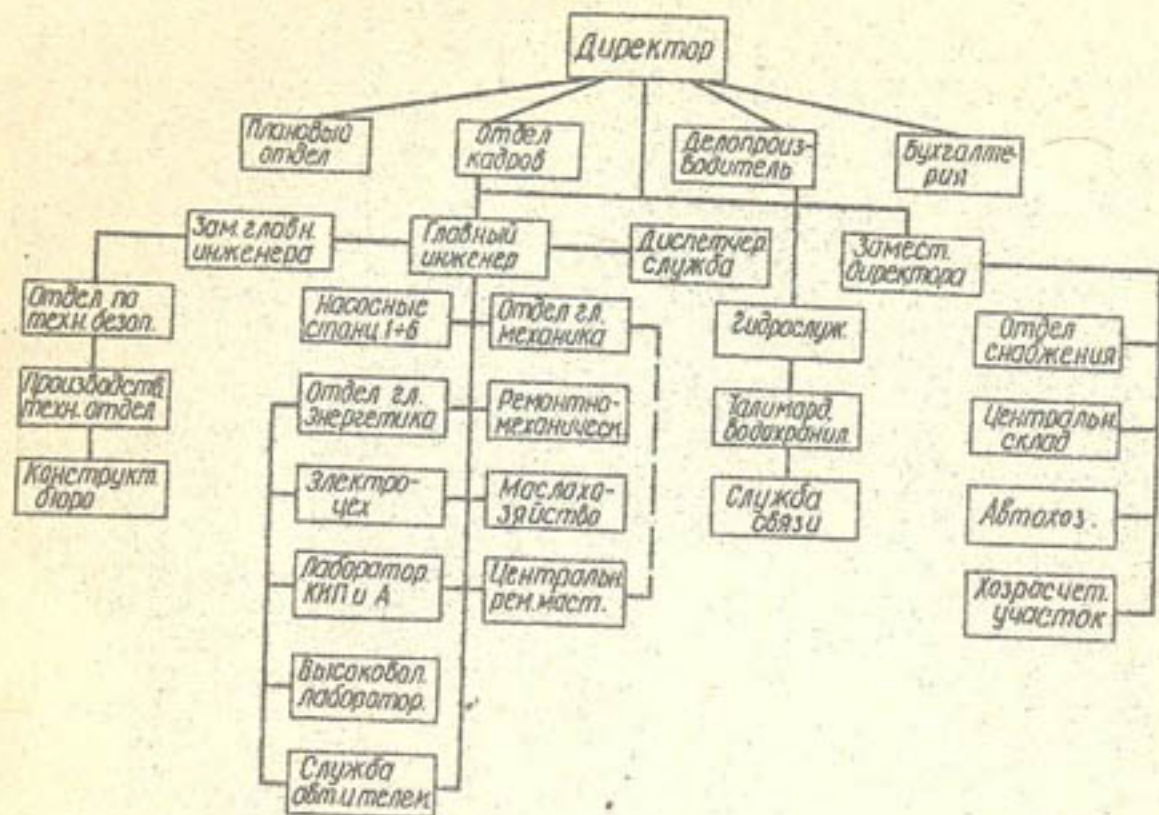


Рис. 4. Структурная схема Управления эксплуатации Каршинского магистрального канала и насосных станций.

ного управления, непосредственно на насосные станции возлагались только эксплуатационные функции. Это привело к повышению общей культуры эксплуатации сооружений при относительно небольшом штате обслуживающего персонала.

В соответствии с этим, эксплуатация оборудования насосных станций осуществляется двумя цехами - электротехническим и гидромеханическим. Начальник станции в большинстве случаев одновременно совмещает должность начальника одного из цехов (по своей специальности). С внедрением автоматизации и телемеханики такое деление на цеха, распространенное в настоящее время, может быть изменено. Практика эксплуатации автоматических насосных агрегатов и гидроэлектростанций подтверждает целесообразность объединения этих подразделений в один электромашиный цех, что практически уже осуществлено на Каршинском каскаде.

Такая организационная структура позволила значительно сократить численность эксплуатационного персонала (1-1,5 чел. на

1000 кВт установленной мощности), что согласуется с общепринятыми нормами.

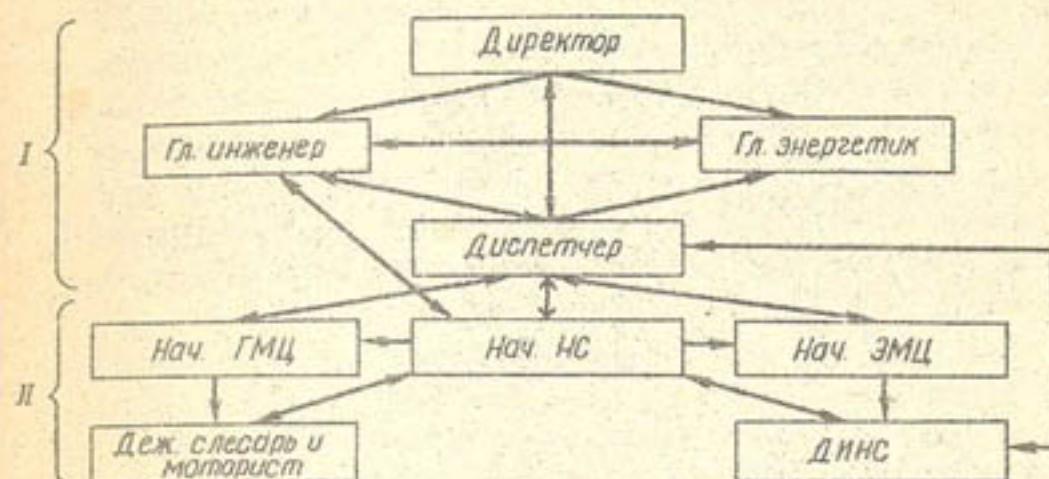


Рис. 5. Структура оперативного обслуживания:

ГМЦ - гидромеханический цех;

ЭМЦ - электромеханический;

Динс - дежурный инженер насосной станции;

I - Управление;

II - насосная станция.

Оперативное управление насосными станциями осуществляется диспетчерской службой (рис. 5.), подчиненной директору, главному инженеру и главному энергетiku, согласующей пуск и остановку насосных агрегатов с диспетчером районной энергосистемы.

Техническое руководство эксплуатацией устройств автоматики, телемеханики, релейной защиты и измерений подчиняется центральной службе контрольно-измерительных приборов. Эта служба имеет лабораторию по испытанию и эксплуатации контрольно-измерительной аппаратуры (КИПиА).

Обслуживание оборудования насосных станций возлагается на:

а) дежурных инженеров, слесарей и мотористов, в обязанности которых входит наблюдение за работой оборудования, производство оперативных переключений, пуск и остановка агрегатов;

б) эксплуатационный персонал цехов, обязанных проводить профилактический уход оборудования и его ремонт;

в) ремонтный персонал цехов или центральную ремонтную бригаду, в обязанности которых входит проведение крупных текущих

и капитальных ремонтов оборудования. В процессе эксплуатации для этих целей был создан хозрасчетный участок.

Безаварийная работа оборудования, наиболее полное, эффективное его использование, достижение максимальной экономичности работы насосных станций и низкой стоимости эксплуатации во многом зависят от подготовки эксплуатационного персонала. Поэтому на Каршинских насосных станциях регулярно проводятся занятия по повышению квалификации и уровню знаний эксплуатационного персонала, практикуется обмен опытом с другими эксплуатационными персоналами, например, Каховской насосной станцией.

Как правило, вновь поступающие работники, проходят специальную подготовку, специальная комиссия проверяет их знания по правилам техники безопасности, эксплуатации оборудования.

Осуществляемая многоступенчатая подача воды значительно усложнила работу диспетчерской службы, которая является центральным командным пунктом каскада. Обязанность диспетчера - постоянно и квалифицированно наблюдать за гидравлическим и энергетическим режимом каскада, осуществлять регулировку и согласованность уровней верхнего и нижнего бьефов, уточнять и знать время заполнения рабочих объемов - каналов между насосными станциями. Он должен осуществлять синхронную работу насосных агрегатов по всему каскаду, знать время пиков и провалов в энергосистеме, порядок пуска агрегатов после погашения нагрузки в энергосистеме. В период простоя сохранять оптимальные уровни бьефов.

Нормальная работа диспетчерской службы с периода ее организации, в основном, обеспечивалась двусторонней телефонной связью. В настоящее время внедрена первая очередь системы телеавтоматики, позволяющая централизованно вести контроль, а также автоматизировать работу водовыпускных сооружений.

Все команды диспетчера осуществляются на насосных станциях через оперативный персонал, который ведет обслуживание по трехсменному графику. Ежемесячный структурный состав оперативного персонала составлен следующим образом:

- старший дежурный инженер - начальник смены;
- дежурный инженер;
- моторист и слесарь;
- дежурный электрик.

I. На оперативный персонал возложены операции, связанные с соб-

людением режима:

- а) пуск и остановка агрегата;
 - б) контроль за режимом работы;
 - в) перевод агрегата с одного режима на другой;
 - г) оперативные переключения.
2. Операции, связанные с ремонтом оборудования и сооружений:
- а) допуск к работе (по наряду или распоряжению);
 - б) переключения в схемах, при выводе оборудования в ремонт или на профилактику;
 - в) устранение мелких неполадок;
 - г) мероприятия по технике безопасности.

Дежурный инженер, в соответствии с инструкцией Минводхоза СССР от 1975 года, имеет документацию:

- типовую и местную инструкцию;
- чертежи и схемы по оборудованию и сооружениям;
- номера телефонов и адреса сотрудников связанных по работе;
- приспособления и соответствующие средства по технике безопасности;
- оперативный журнал;
- суточная ведомость;
- журнал дефектов и аварий;
- журнал распоряжений;
- журнал приема телефонограмм;
- журнал допуска к работе;
- папка хранения нарядов по допуску;
- журнал инструктажа;
- журнал противаварийной тренировки;
- пусковой журнал;
- журнал учета наработки насосного агрегата;
- журнал Рельевой защиты;
- журнал проверки песколовков;
- книжки по ТБ и ИТБ.

На каскаде насосных станций Каршинского магистрального канала многое было запроектировано, построено и смонтировано впервые. Ряд факторов проектировщики не могли учесть, так как не имели аналогов в проектировании и опыта эксплуатации подобных насосных станций.

Эксплуатация насосных агрегатов производилась на основе ве-

домственных правил технической эксплуатации с учетом местных условий их работы, инструкций заводов-поставщиков оборудования. В связи с этим при вводе насосных станций в эксплуатацию комплексная экспедиция ВНИИГидромах провела испытания головных образцов насосных агрегатов. На основании гидроэнергетических, виброакустических и контрольных испытаний на надежность было установлено соответствие насосов ОПЮ-260 ЗГ и ОПИ-260 ЗГ техническим условиям и выданы рекомендации по эксплуатации насосов в установившихся и переходных режимах.

3. ИСПЫТАНИИ ГОЛОВНЫХ ОБРАЗЦОВ НАСОСОВ ОПЮ-260Г и ОПИ-260Г

Для проведения испытаний головных образцов насосов была организована комплексная экспедиция ВНИИГидромах с участием заводов-изготовителей "Уралгидромах" и "Уралэлектротяжмаш", а также научно-исследовательских институтов, принимавших участие в лабораторных исследованиях по определению оптимальной формы сифонного водовыпуска. В исследованиях принимали участие сотрудники кафедр МИСИ. Испытания проводились по договору с Управлением эксплуатации Каршинского магистрального канала на насосных станциях №1 и 2 по программе - методике, согласованной "Главсредазирсовхозстроем", Куйбышевским филиалом Гидропроект, заводами-изготовителями.

В состав испытаний входили:

1. Ревизия проточной части насоса и проверка работоспособности его узлов в соответствии с программой-методикой натурных испытаний и программой проведения подконтрольной эксплуатации насосов.
2. Гидравлические (энергетические) испытания.
3. Виброакустические испытания.
4. Гидромеханические (динамические) исследования.
5. Исследования в угонных режимах.
6. Испытания электродвигателя (за исключением тепловых и вибрационных испытаний).
7. Испытания сифонного водовыпуска.

Проведенный объем исследований позволил оценить соответствие параметров насосов техническим условиям и дать рекомендации по режимам их эксплуатации.

На основании этих исследований головные образцы насосов были приняты Государственной межведомственной комиссией в постоянную эксплуатацию.

3.1. Краткая характеристика насосного оборудования

В головной части канала (проект его с шестью насосными станциями разработан Куйбышевским филиалом Гидропроект) расположено шесть однотипных насосных станций, осуществляющих общий подъем воды на высоту 132 м. Расчетный расход канала 175 куб.м., форсированный - 195 куб.м/с. Суммарная установленная мощность - 450 мВт.

Насосные станции канала оборудованы унифицированными насосами ОПЮ-260Г и ОПИ-260Г. Насосы осевые, одноступенчатые, вертикальные с гидравлическим приводом поворота лопастей (рис.6).

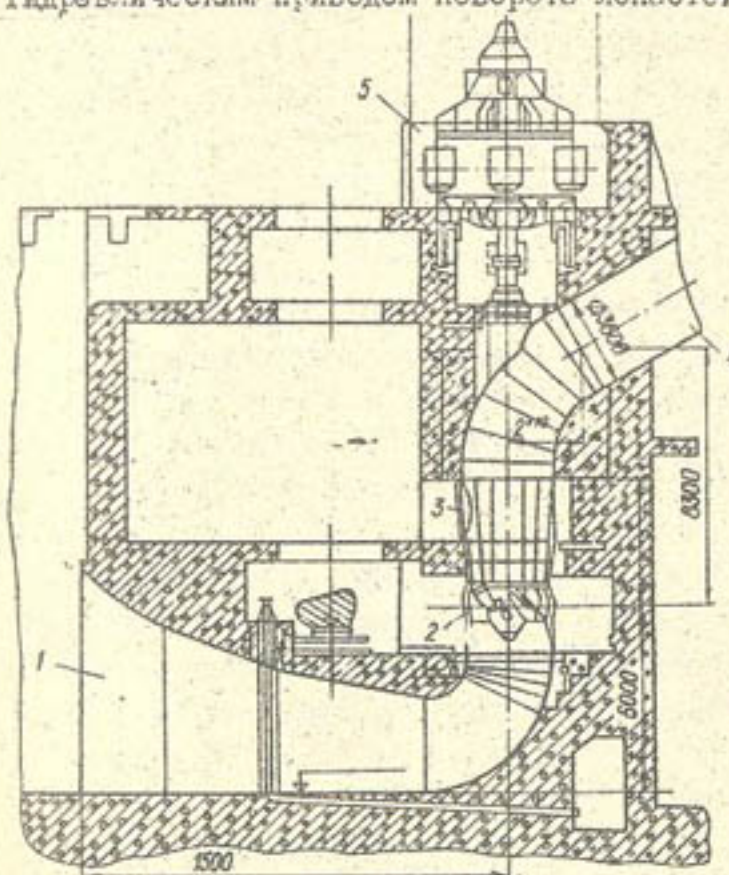


Рис.6. Общий вид насосного агрегата:

1 - всасывающая труба, 2 - камера рабочего колеса (рабочее колесо), 3 - выправляющий аппарат (диффузор с люком), 4 - напорный трубопровод, 5 - электродвигатель.

Основные параметры насосов

Насос ОПЮ-260Г (ТУ 137-68)

подача.....26,4-39,0 куб.м/с
напор24-24,5 м
частота вращения.....250 об/мин
мощность на валу насоса.....11500 кВт

Насос ОПИ-260Г (ТУ 2606-655-70)

подача.....30-40 куб.м/с
напор.....17,5 м
частота вращения.....250 об/мин
мощность на валу насоса.....8000 кВт

Электродвигатель ВДС-375/130-24

(ТУ ОБП.612.047 - з/д УЗТМ)

мощность - 12500 кВт напряжение - 10000 Вт
ток статора - 825 а коэффициент мощности = 0,9
частота вращения - 250 об/мин
угловая частота вращения - 450 об/мин.

3.2. Проверка работоспособности узлов насоса

Испытания насосов ОПЮ-260Г и ОПИ-260Г проводились в соответствии с программой проведения подконтрольной эксплуатации насосов, разработанной ВНИИГидромашем.

Целью этих испытаний являлось определение работоспособности рабочего колеса, направляющих подшипников, гидропровода поворота лопастей.

Ревизия всасывающих труб агрегатов 1 и 2 насосной станции № 2 (НС-2) и агрегатов 5 и 6 НС-1 проводилась совместно со специалистами ВНИИГидромаша и Каршистройа. Установлено, что отклонения размеров и форм всасывающих труб находятся в допустимых пределах и не превышают 10-20 мм. По результатам ревизии были составлены формуляры.

Проверка рабочего колеса (РК), его работоспособности включала: опрессовку для определения утечек через уплотнения, установление величины перестановочных усилий (перепада давления масла в сервомоторе), диапазона углов установки лопастей рабочего колеса и т.д. Установлено, что протечки масла отсутствуют; перепад давления масла равен 10 кг/кв.см, идентичность установки лопастей соответствует требованиям технических условий (ТУ).

Монтаж и центровка ротора агрегатов и выверка зазоров в подшипниках проводилась ГМК-24 под наблюдением шеф-инженеров НПО Гидромаш. Зазоры в подшипниках находились в пределах 0,06 - 0,2 мм. На смонтированном насосе перед пуском была произведена тарировка механизма поворота лопастей рабочего колеса насоса. Определялось соответствие между углом установки лопастей и ходом зубчатой рейки, связанной с сельсином датчика указателя положения лопастей. Угол установки лопастей определялся по замерам ординат входной и выходной кромки периферийного сечения лопасти, развернутой на плоскость. Замеры показали, что зависимость хода зубчатой рейки от угла установки лопастей - линейная. Полный ход поршня сервомотора на насосе ОПЮ-260Г (агрегат №1 НС-2) составляет 46,5 мм, а диапазон углов поворота лопастей - 12°50'. Полный ход поршня сервомотора на насосе ОПИ-260Г составляет 35,9 мм или 9°30' (рис.7). Зазоры между лопастями РК и камерой насоса проверялись пластинчатым щупом (ГОСТ 88-64) в трех точках по длине периферийной кромки лопасти, на расстоянии 150-200 мм от входной и выходной кромки и в средней части. Величина зазоров находилась в допустимых пределах-2,4-4,4 мм.

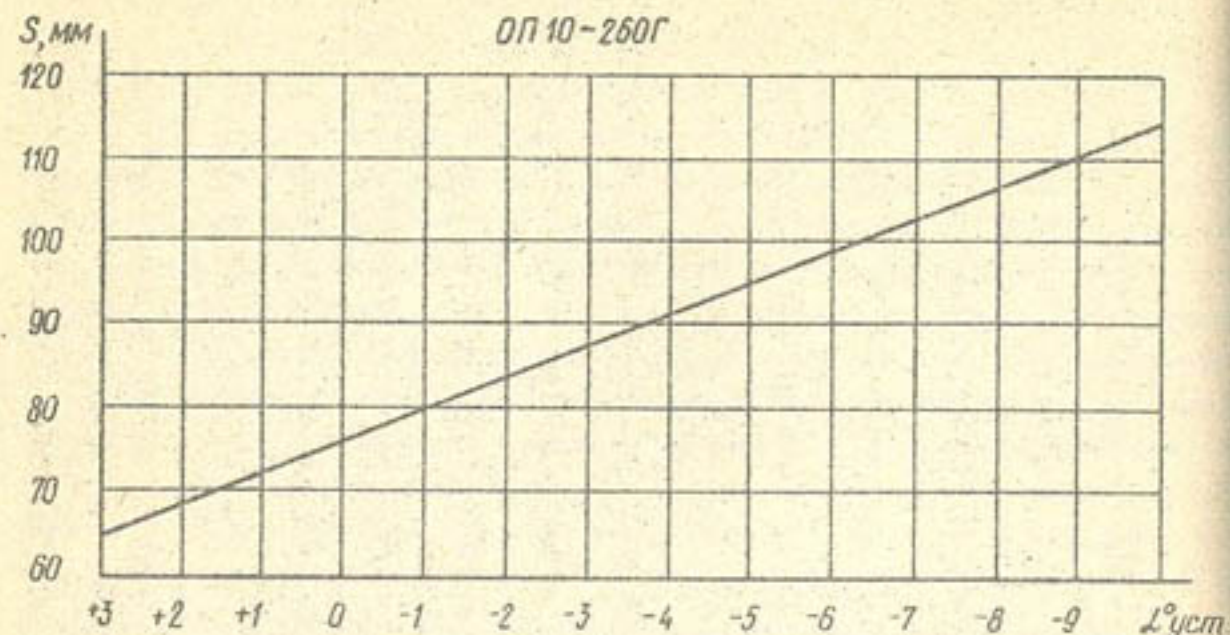
Испытания на надежность проводились на восьми насосах, которые за май-сентябрь 1973г. наработали от 722 до 2289 часов. За этот период обнаружены лишь отдельные небольшие недостатки работы гидропривода, устраненные НПО „Уралгидромаш“ в модернизированном гидроприводе, установленным и испытанном на насосных агрегатах №6 НС-1 в октябре 1973г. и №2 НС-2. Произведены замеры подачи технической воды на смазку направляющих подшипников при различных режимах работы насосов, разных углах разворота лопастей РК, уровней НБ и ВБ, при заряженном и разряженном сифоне. Полученные величины подачи технической воды достаточно близки к проектным (табл.1).

Таблица 1

Насос	Верхний подшипник, л/с	Нижний подшипник, л/с
ОПЮ-260Г	3,1 - 4,2	2,3 - 2,4
ОПИ-260Г	2,1 - 3,3	2,1 - 2,4

Зазоры в подшипниках определялись путем перемещения вала при отжатии его домкратом, установленным перпендикулярно валу, который поочередно отжимался по четырем направлениям. Перемещение вала измерялось индикатором часового типа (табл.2).

ОП 10-260Г



ОП 11-260Г

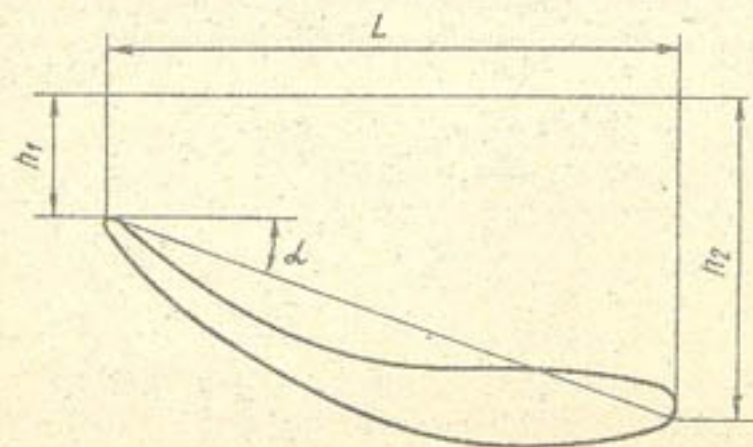
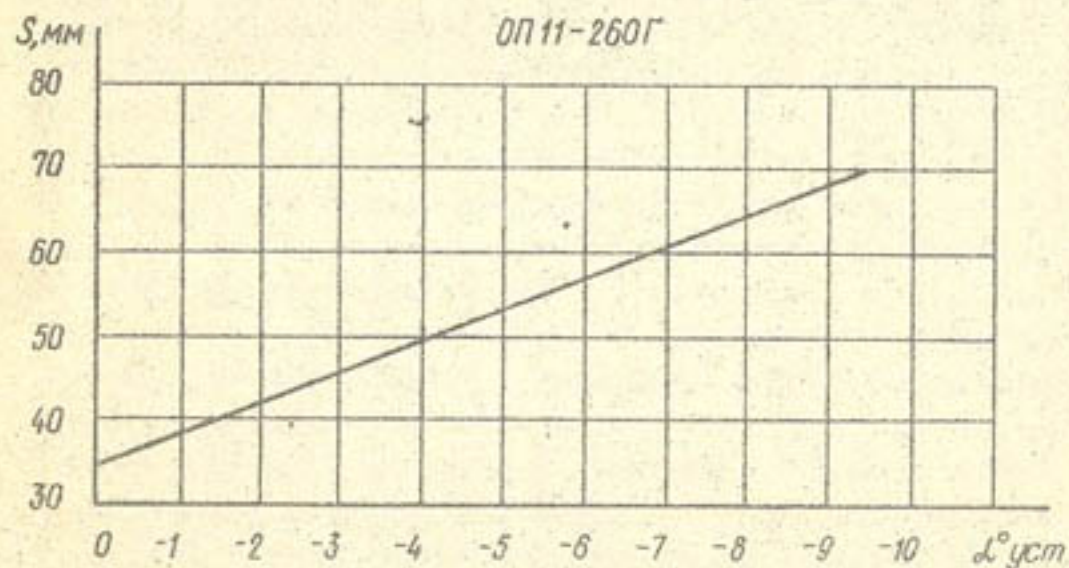


Рис. 7. Тарировочные зависимости угла разворота лопастей рабочего колеса насосов ОП 10-260Г и ОП 11-260Г от хода штока гидропровода.

Таблица 2

НС	№ агрегатов	число пусков и остановок	максимальный зазор, мм		начальный зазор		наработка
			в верхнем подшипнике	в нижнем подшипнике	в верхнем подшипнике	в нижнем подшипнике	
1	5	78	0,4	1,1	0,1	0,1	2217
	6	36	0,5	0,45	0,15	0,15	734
2	1	-	-	-	-	-	-
	2	28	0,12	0,68	0,1	0,15	723
3	1	28	0,2	0,4	0,1	0,15	1287
	2	48	0,4	0,4	0,1	0,1	1576
4	1	16	0,35	0,45	0,15	0,15	578
	2	20	-	-	-	-	1952

Максимальная величина износа наблюдалась со стороны верхнего бьефа. В процессе испытаний смазка подшипников осуществлялась перекачиваемой водой по системе, которая не исключала попадания в подшипники абразивных частиц.

Расчет показателей надежности насосов производился с целью установления соответствия их внесенным в ТУ на эти насосы. За исходные данные были приняты наработки двух насосов ОП 11-260Г и шести насосов ОП 10-260Г, полученные за период контрольных испытаний на надежность (табл. 3).

Таблица 3

№ насосной станции	1	1	1	2	1	3	1	4
станционный № агрегата	5	6	1	2	1	2	1	2
наработка	12217	734	12289	723	11287	1576	1578	1953

Расчет произведен по ГОСТу 6132-71 "Насосы динамические, методы испытаний № 4.17.3. "За время проведения контрольных испытаний на надежность отказов насосов не наблюдалось. Общая наработка на отказ равна:

$$t_n = \sum_{i=1}^N t_i = 11357 \text{ час.}$$

Нормированная наработка:

$$t_{\text{н.н.}} = \frac{t_n}{T_{\text{о.г.}}} = \frac{11357}{2000} = 5,6$$

где $T_{0.ср.}$ - подтверждаемая наработка на отказ.

Оценка результатов производилась по графику (черт.8 ГОСТ 6134-74), согласно которому величина нормированной наработки $t_{нн}=5,6$, находится в зоне приемки и подтверждает наработку на отказ $T_{0.ср.}=2000$ час.

Опыт эксплуатации показал, что при одновременной работе более двух агрегатов и, особенно, пяти-шести, мутность перекачиваемой воды и скорость потока увеличиваются, зазоры подшипников изменяются. В табл.4. приведена зависимость между зазорами и часами наработки тех же агрегатов в поливной сезон 1977-80 гг. Начальный зазор на верхнем и нижнем подшипниках принимался 0,1 мм.

Таблица 4

НС	Номер агрегата	Максимальный зазор, мм		Год	Средняя наработка между заменами подшипника, час	Примечания
		верхний	нижний			
1	5	0,8	4,1	1977	1700	
	6	1,3	7,2		1250	
2	1	1,1	5,1		1400	
	2	0,7	3,2		1900	
4	1	0,9	6,5		1500	
	2	0,8	3,5		2100	
1	5	0,7	3,8	1980	2300	На станциях установлены более мощные насосы технического снабжения
	6	0,8	4,5		1800	
2	1	-	5,9		1500	
	2	-	2,8		2440	
4	3	0,6	2,9		2290	
	2	0,5	2,4		2840	
6	3	0,2	1,1		4200	На насосе установлена замкнутая система смазки

В дальнейшем из-за ненадежности сальниковых уплотнений на

Таблица 5

Результаты энергетических испытаний насосных агрегатов ОП10-260Г и ОП11-260Г

№ ре- жима	Положение	Угол установ- ки лопа- ток °	Мощ- ность двигат- еля кВт	НБ м	Поддача м/с	Напор насоса	КПД агрегата- та в %	КПД двигат- еля %	КПД насоса в %	Примечание
ОП11-260Г										
1	закр	0	8,87	4,8	43,6	19,5	80,0	96,4	83,0	Приведенные в таблице значе- ния подачи сред- ние по замерам вертушками в тру- бопроводе и шары- ми зондами в кор- пусе всасывающей трубы.
2	откр	0	9,83	4,8	37,3	24,8	80,0	96,6	83,0	
3	закр	-2	8,54	4,6	41,0	19,9	80,0	96,2	83,0	
4	откр	-2	9,31	4,6	31,0	25,0	0,9	69,0	72,0	
5	закр	-4	8,13	4,2	37,5	20,8	82,0	96,2	85,0	
6	закр	-6	7,63	4,3	34,5	20,7	78,0	96,0	81,0	
7	закр	-8	7,30	4,30	31,1	21,1	75,0	95,7	78,0	
8	закр	0	8,96	4,1	42,6	20,4	85,0	96,3	88,0	
9	закр	-2	8,55	4,1	40,4	20,4	84,0	96,1	87,0	
ОП10-260Г										
1	закр	-3,5	9,61	6,9	39,5	27,2	84,8	96,3	88,0	
3	закр	-3,5	10,17	5,45	35,8	29,2	83,0	96,5	86,0	
5	закр	0	11,40	4,35	39,5	29,2	86,5	96,6	89,5	
6	закр	-6,5	9,45	4,90	28,0	30,2	74,5	96,2	77,5	
7	закр	-9	8,55	4,95	25,0	30,0	72,5	96,0	75,5	
8	закр	-6,5	9,11	6,70	34,8	27,2	78,0	96,2	81,0	
9	закр	0	10,80	6,70	39,7	27,6	84,5	96,7	87,5	
10	закр	0	11,66	6,60	35,7	33,8	83,6	96,7	86,5	

подшипниках насоса, недостаточности давления и расхода в системах смазки подшипников, отсутствия надежных приборов контроля, возникла необходимость в коренной реконструкции системы смазки. Были заменены индивидуальные насосы техдоснабжения типа 2К-20/30 (72 шт. на каскаде) на насосы 6К-8 (12 шт.), подающие воду уже в общий коллектор. Установили индикаторы расхода струи (ИРС) в качестве дискретных расходомеров, вместо ненадежных в эксплуатации реле протока типа РП-2. В 1980 г. началось внедрение замкнутой (циркуляционной) системы смазки подшипников (рис. 8). Эти мероприятия позволили значительно увеличить ресурс подшипников.

3.3. Энергетические испытания

Испытания проводились на насосных станциях №1 и №2, которые входили в состав пускового комплекса. При этом испытывались по два агрегата каждого типа, установленные в крайнем и среднем пролетах блока станции. В первую очередь испытаниям подлежали агрегаты №6 (НС-1) и агрегат №1 (НС-2).

Действительные параметры насосов определялись с целью проверки гарантий завода-изготовителя и для оценки максимальных эксплуатационных значений подачи и КПД в рабочем диапазоне напоров. В объем испытаний входило:

1. Измерение напора насоса - H (м)
2. Измерение подачи насоса - Q (куб.м/с)
3. Измерение потребляемой мощности электродвигателем $N_{дв.}$ - кВт.
4. Определение КПД электродвигателя $\eta_{дв.}$ - %
5. Определение КПД насоса $\eta_{н.}$ - %
6. Определение КПД агрегата $\eta_{а.}$ - %

Результаты измерений параметров насоса ОП10-260Г и ОП10-260Г сведены в табл. 5, а их характеристики представлены на рис. 9 и 10. Максимальные значения КПД были получены в следующих режимах (табл. 6).

Таблица 6

Насос	Напор м	Подача м³/с	Максимальный КПД		Примечание
			насоса, %	агрегата, %	
ОП10-260Г	25,5	39,5	89,5	86,5	
ОП11-260Г	18,1	42,6	88,0	85,0	

Полученные значения максимальных КПД насосов на 2-2,5% превышают значения максимальных КПД, гарантированных ТУ (на основе модельных

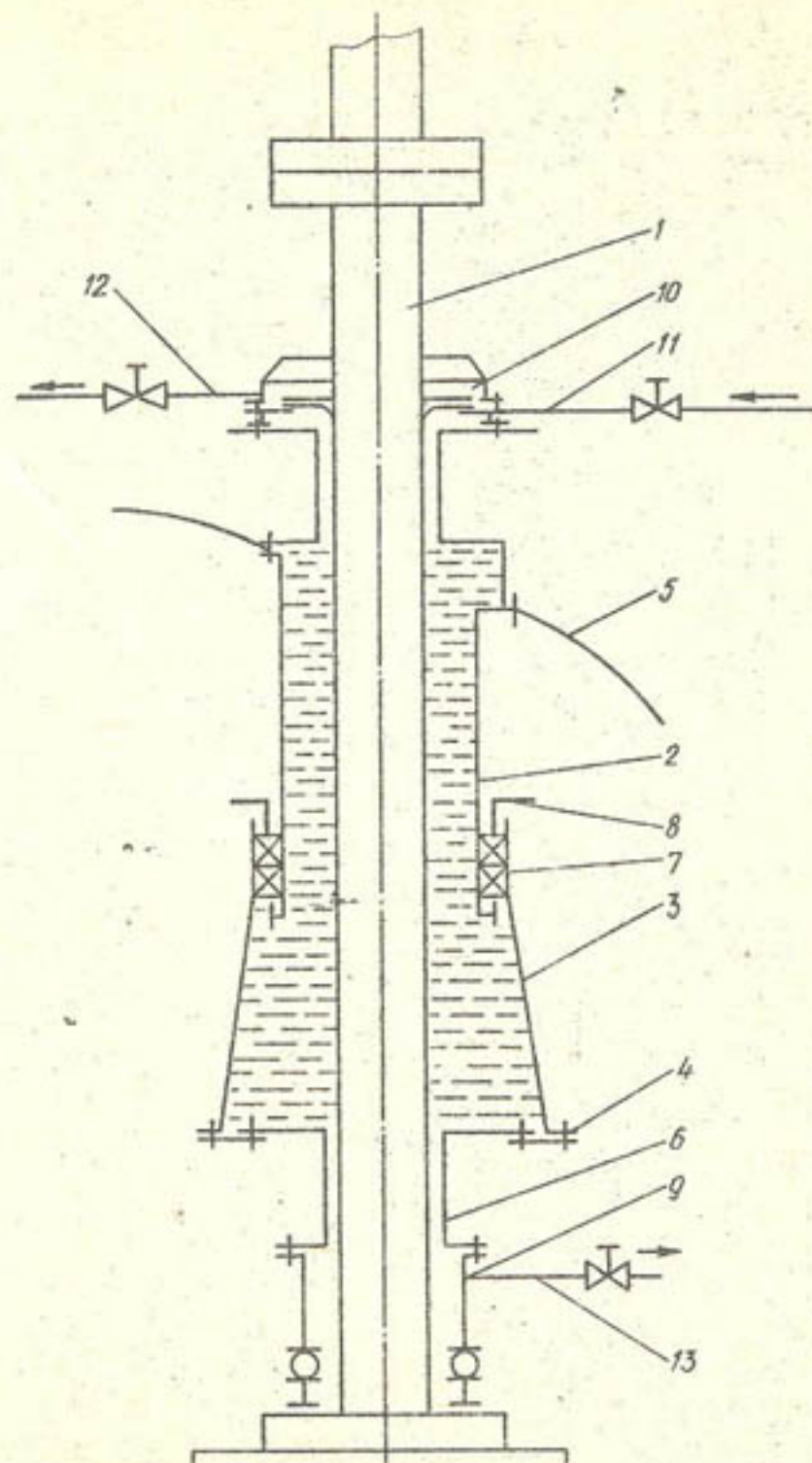


Рис. 8. Замкнутая система смазки подшипников насосов:

1 - вал насоса, 2 - верхняя труба, 3 - обтекатель, 4 - крепление к вытравливающему аппарату, 5 - корпус насоса, 6 - направляющий подшипник, 7-10 - сальниковые уплотнители, 8 - Grundbox, 9 - торцевое уплотнение, 11 - труба подводящая смазочную воду, 12, 13 - трубы отводящие воду.

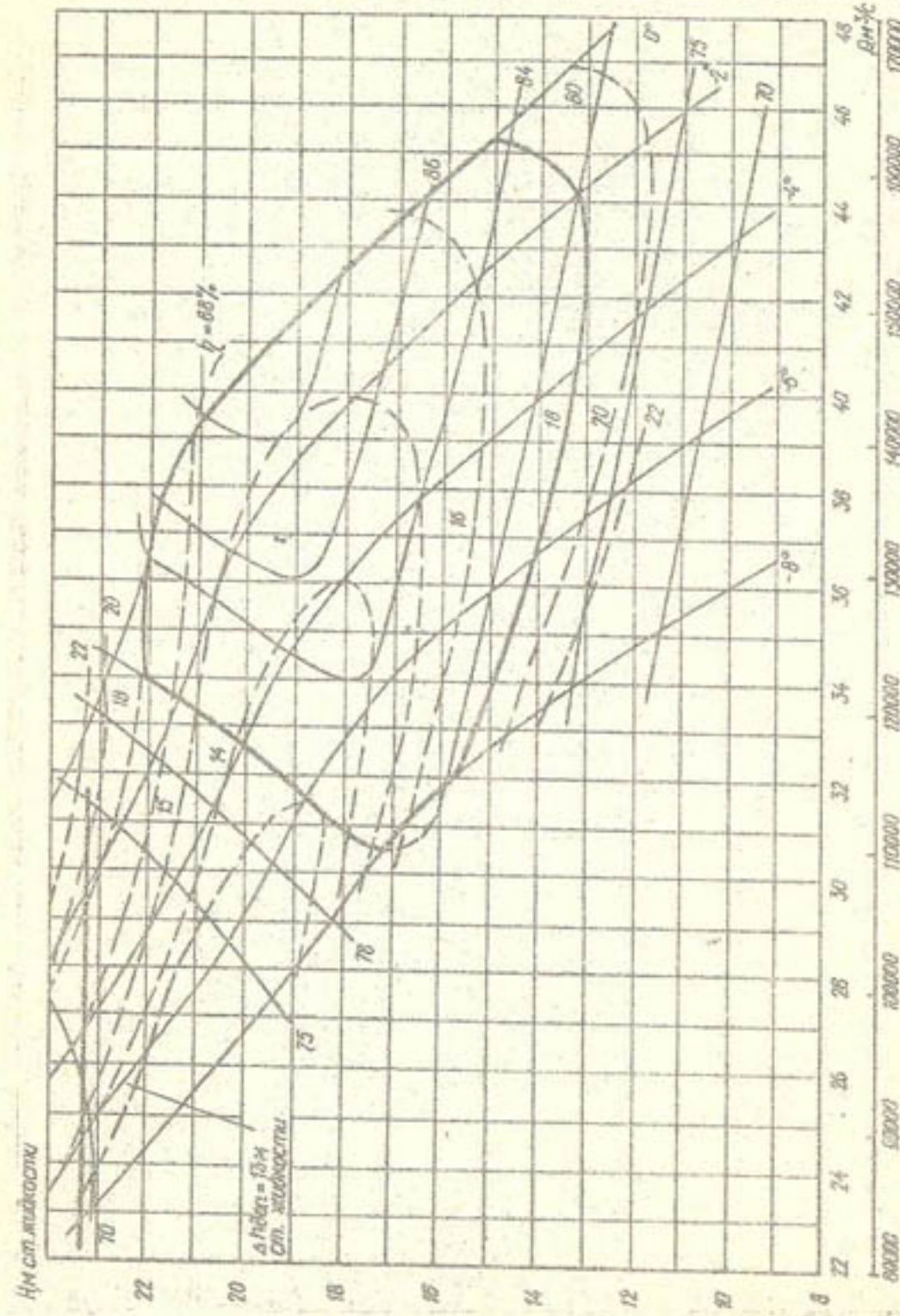


Рис. 9. Универсальная характеристика насоса ОПИ-260. $n = 250$ об/мин Др.к. = 2600 мм

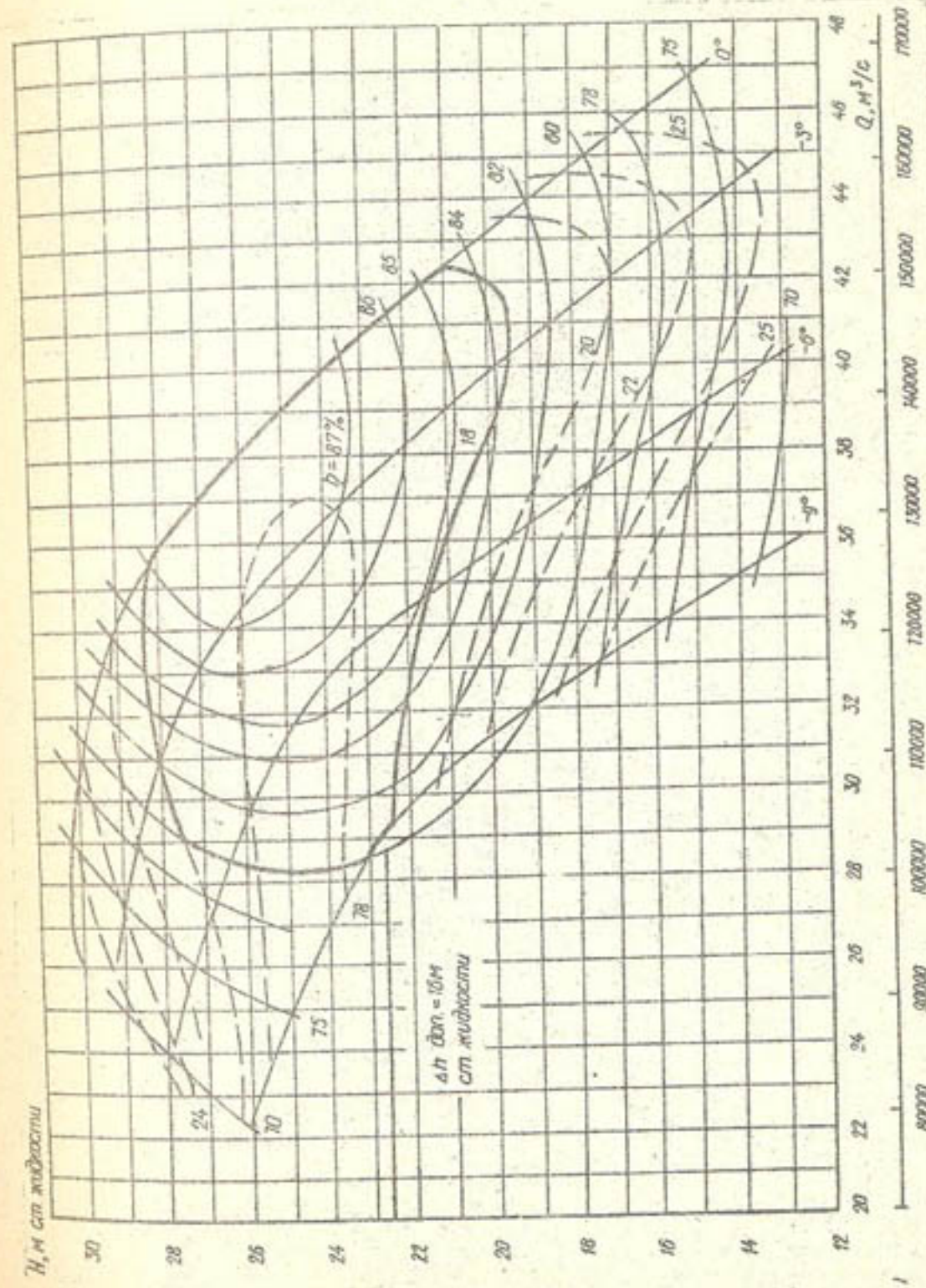


Рис. 10. Универсальная характеристика насоса ОПИ-250. $n = 25$ об/мин Др.к. = 2600 мм.

испытаний). Это объясняется тем, что влияет масштабный эффект, возникающий при достаточно большом соотношении диаметров - натурального и модельного, рабочих колес.

В нашем случае $\frac{D_n}{D_m} = 7,36$.

3.4. Тарировка расходомерных створов

Одновременно с проведением энергетических испытаний насосов проводилась тарировка мерного створа расходомера. В качестве его выбрана всасывающая труба между конусом, подходящим к рабочему колесу и входом во всасывающую трубу или нижним бьефом. Тарировка заключалась в определении зависимости между подачей насоса и перепадом давления в расходомерных створах с одновременными замерами подачи насосов гидрометрическими вертушками и шаровыми зондами.

Достоинством данного створа являются стабильно устойчивые величины перепада давления при изменении подачи насосов от 25 до 40 куб.м/с, изменяющиеся от 1,2 до 4 м вод.ст. Одновременно следует отметить большие потери напора во всасывающих трубах, что указывает на гидравлическое несовершенство их конструкций.

При испытании проектного расходомерного устройства с отбором давления на колесе всасывающей трубы на обоих типах насосов было обнаружено, что стабильная зависимость перепада давления от подачи отсутствует. По нашему мнению это вызвано, прежде всего, неудачно выбранной в проекте схемой пьезометрических выводов.

Таким образом, по результатам натурных испытаний, было рекомендовано осуществлять эксплуатационный контроль подачи по перепаду давления между конусом всасывающей трубы и нижним бьефом. В том случае, если на всех агрегатах выводы от конуса всасывающей трубы будут выполнены одинаковыми в плоскости расположенной ниже оси рабочего колеса на 880 мм, дополнительной тарировки не требуется и расход можно определять по тарировочным кривым (рис.II).

В 1973-74 гг. при вводе в эксплуатацию агрегатов насосных станций №3-6, измерение подачи в контрольных испытаниях проводилось целикомым способом, т.е. измерением перепада давления между НБ и конусом всасывающей трубы. Подача определялась по формуле

$$Q = 19,4 \sqrt{\Delta h},$$

где Δh - перепад давления в м.вод.ст.

Проведенные испытания подтвердили достоверность тарировочных коэффициентов, полученных в результате натурных испытаний.

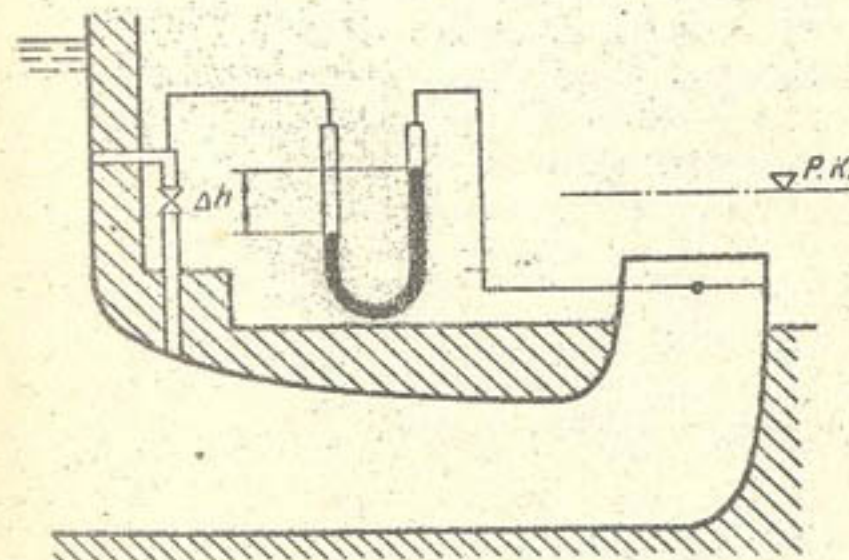
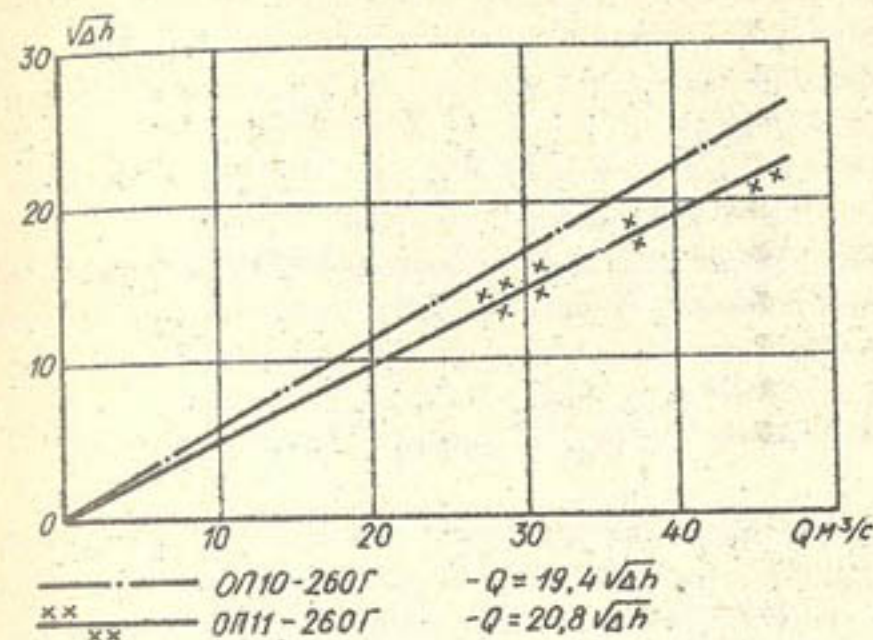


Рис.II. Схема установки расходомерного устройства и его тарировочные кривые.

3.5. Виброакустические испытания

Виброакустические испытания включали:

определение уровней и спектрального состава вибраций узлов агрегата, которые замерялись на корпусе насоса в области расположения рабочего колеса;

определение уровней и спектрального состава шума в точках под РК и на верхней крестовине двигателя.

Измерение вибрации и шума производилось в децибелах соответственно по эффективному (среднеквадратичному) значению ускорения и звукового давления. За нулевой уровень принято ускорение равное $3 \cdot 10^{-2} \text{ см/с}^2$ и звуковое давление $2 \cdot 10^{-4} \text{ н/м}^2$.

Целью виброакустических испытаний головных образцов насосов являлось:

получение исходных акустических данных для внесения виброшумовых показателей в техдокументацию на насосы данной партии;

оценка вибрационного состояния агрегата для назначения оптимальных режимов эксплуатации.

Испытания проводились в два этапа: в апреле 1973 г. на НС-2 и в апреле 1974 г. на НС-4, НС-5 и НС-1.

В результате испытаний установлено:

1. В диапазоне низких частот 3-50 гц основными причинами вибрации являются - остаточная неуравновешенность вращающихся масс ротора, неравномерность подвода воды к рабочему колесу, неравномерное распределение давления жидкости в межлопастных каналах рабочего колеса. В связи с тем, что насосы ОП10 и ОП11 аналогичны по конструктивному исполнению, измерение виброускорений в диапазоне низких частот производилось только на насосе ОП10-260Г. Характерными частотами, на которых наблюдаются максимальные уровни вибрации являются оборотная частота $f_{об} = \frac{n}{60}$ и лопаст-

ная $f_{л} = \frac{n \cdot z}{60}$, где n - частота вращения вала насоса; z - число лопастей рабочего колеса.

В большинстве случаев наблюдаются вариации с частотой, кратной этим частотам.

2. В диапазоне частот 50-800 гц вибрации обусловлены гидродинамическими явлениями: вихреобразованием, турбулентными пульсациями потока, возбуждением собственных колебаний конструкций.

3. Вибрации с частотой свыше 800 гц также гидравлического происхождения, причем преобладающие значения оказывают кавита-

ционные явления. В этом диапазоне максимальный уровень вибрации часто наблюдается на камере рабочего колеса. Влияние режима работы насоса на уровень вибрации проявляется следующим образом. Уровень вибрации возрастает с увеличением угла установки лопастей РК от -9° до 0° примерно на 10 дб в диапазоне частот 3-50 гц; на 6-8 дб в диапазоне частот 50-800 гц и на 4-6 дб в диапазоне частот свыше 800 гц. Максимальные виброускорения на камерах РК насосов ОП10 и ОП11 наблюдаются при угле установки лопастей РК $\varphi = 0^\circ$ (табл.7).

Таблица 7

Насос	Угол	Напор Н, м	Подпор Н, м	Диапазоны частот, гц		
				30+50	50+800	свыше 800
ОП10-260Г	0	25	5	68	93	81
ОП11-260Г	0	17	4,6	57	76	84

Уровень вибрации возрастает при увеличении напора (открытии КСВ), причем для насоса ОП10-260Г на 2-4 дб, а для ОП11-260Г на 1-2 дб. Шумовые характеристики насосного агрегата замерялись на расстоянии 1 м от камеры РК и также от возбудителя электродвигателя. Максимальный уровень шума у насосов соответствует углу установки лопастей рабочего колеса $\varphi = 0^\circ$ (табл.8).

Таблица 8

Насос	В диапазоне частот 125-500 гц	
	У электродвигателя, дб	У насоса, дб
ОП10-260Г	86	96
ОП11-250Г	96	100

3.6. Гидромеханические (динамические) исследования

В процессе испытания насосов ОП11-260Г было выполнено шесть пусков осушенного агрегата, семь прямых асинхронных пусков с выводом агрегата под нагрузку и три реакторных пуска. Соответственно было произведено 16 остановок: шесть на осушенном агрегате и десять с водой. Три остановки были проведены без открытия КСВ, т.е.

с выводом агрегата в разгон.

В процессе испытаний насосов ОП10-260Г было проведено 10 пусков под нагрузку, один реакторный и одиннадцать остановок, часть которых была незапланированной, вызванной кратковременным отключением электроснабжения.

Пуск насосов ОП10 и ОП11 производится на опорожненный трубопровод. Основной целью испытаний в пусковых режимах являлось:

определение параметров насоса в момент достижения им номинальной частоты вращения;

определение параметров насоса к моменту заполнения трубопровода водой и перелива ее через гребень сифона (режим работы насоса с открытыми КСВ).

Согласно предварительным расчетам, в момент достижения насосом номинальной частоты вращения напор насоса составляет 25-30% от рабочего и одновременно многократно увеличивается нагрузка на механизм поворота лопастей. Отсюда в первую задачу испытаний входило определение параметров насоса в момент синхронизации агрегата.

Второй основной задачей испытаний являлось определение условий по подпорам на всасывании и углам установки лопастей, обеспечивающих устойчивую работу насоса ОП10-260Г в момент заполнения трубопровода и зарядки сифона (рис.12).

Частота вращения от момента включения электродвигателя до достижения подсинхронных оборотов проходит при прямом пуске 9,8 с, при реакторном - 12,6 с (при сухом пуске, без воды). При нормальном пуске: 10-12 с - при прямом и 14-18 с - при реакторном.

Напор насоса к моменту достижения подсинхронных оборотов достигает 7,5 - 8,5 м для обоих типов насосов.

После заполнения трубопровода при работе насоса ОП10-260Г с открытыми КСВ напор равен 27,4 м; при подпоре на всасывании - 7,0 м; 27,55 при подпоре 6,85 м; 27,85 при подпоре 6,6 м.

Насос уверенно пускался при $\alpha_f = -3^\circ$ и подпоре 7 м. При угле -6° и том же подпоре насос попадал в неустойчивую зону характеристики и отключался.

Таким образом, минимальная величина подпора при пуске с $\alpha_f = -3^\circ$ составит 7 м, при угле установки менее -3° пуск можно производить при условии увеличения подпора из расчета 0,5 м на каждый градус изменения угла поворота лопастей рабочего класса (РК).

Основной целью испытаний при остановках насосного агрегата

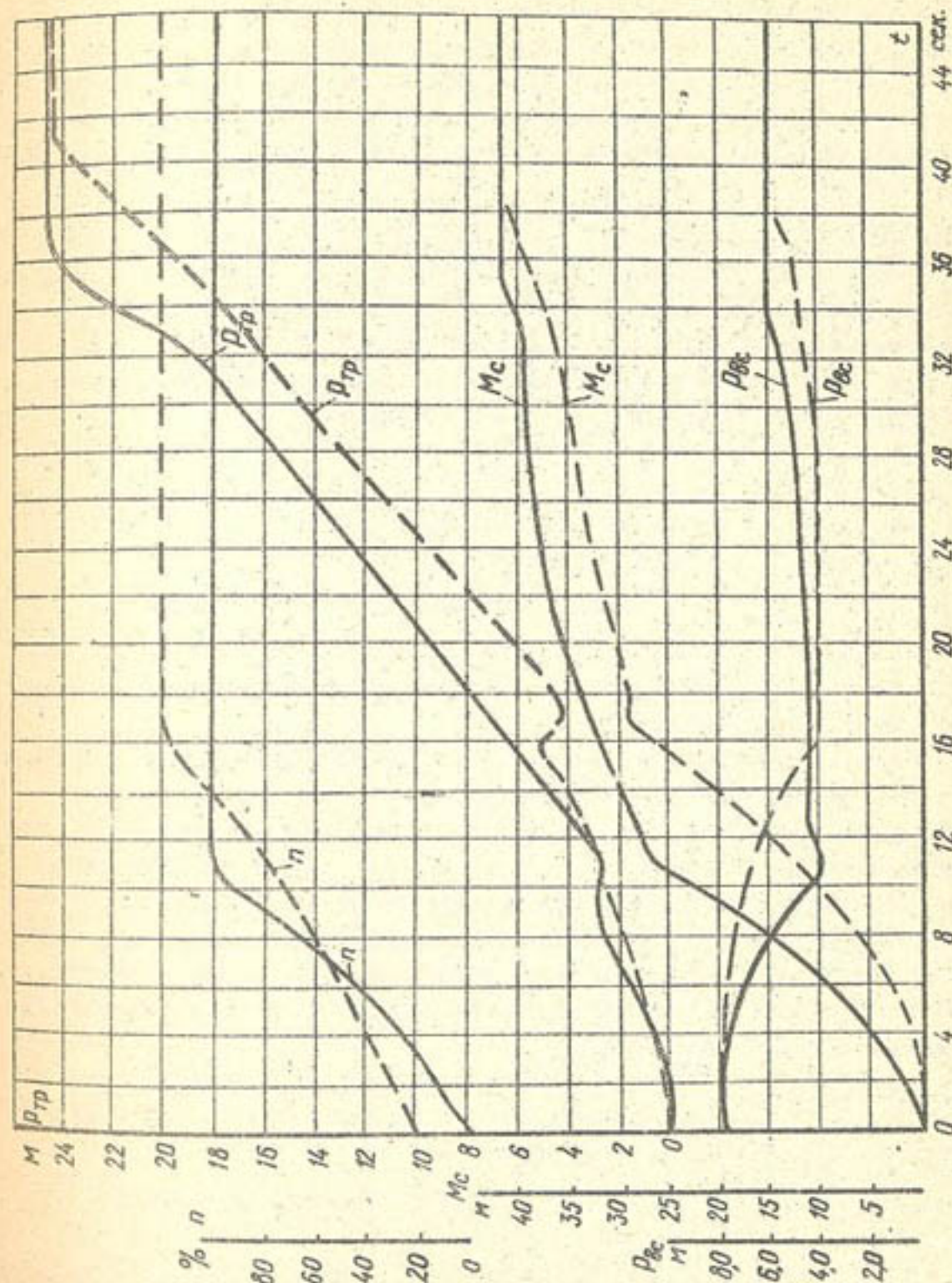


Рис.12. Характеристика пусконасосного агрегата ОП10-260Г.

являлось определение максимального повышения частоты вращения насосного агрегата в обратном направлении (рис.13 и 14).

Общая продолжительность процессов от момента отключения двигателя до опорожнения трубопровода продолжалась 50-60 с, после чего примерно такой же промежуток времени ротор вращается по инерции.

Насос	$T_{q=0}$	$T_{n=0}$	$T_{разг.}$
ОП10-260Г	3,8+4,2	9,4+10,8	25+34
ОП11-260Г	4,6+9,0	11,5+15,5	39+64

Нижние пределы приведенных значений $T_{q=0}$ и $T_{n=0}$ соответствуют начальному напору 28 м для ОП10 и 23 м для ОП11.

В процессе останова повышение частоты вращения при обратном вращении ротора агрегата составляло (табл.9):

Таблица 9

Насос	! Нормальная остановка	! Задержка сырья вакуума
ОП10 -260Г	(1,1-1,15) n ном.	1,5 n ном.
ОП11-260Г	(1,06-1,08) n ном.	1,44 n ном.

Продолжительность работы агрегата с оборотами свыше 100% изменяется от 15 до 17 с.

В некоторых режимах работы насосов на камере рабочего колеса отмечалось периодическое снижение давления до глубокого вакуума (давления насыщенных паров жидкости). Частота проявления вакуума соответствует лопастной частоте, причем зона вакуума расположена у тыльной стороны каждой лопасти и занимает часть межлопастного канала. Следует отметить, что появление зон вакуума на камере рабочего колеса не позволяет судить о процессах кавитации внутри потока и, вероятнее всего, является следствием щелевой кавитации в зазоре между лопастью и камерой.

Для насосов ОП10 максимальные зоны вакуума возникают при работе с открытыми КСВ. Для насоса ОП11 наиболее неблагоприятные режимы при подпорах на всасывании менее 4 м.

3.7. Вибрационное состояние агрегатов ОП10-260Г и ОП11-260Г

В установившихся режимах вибрации агрегаты имеют основную частоту 16,7 гц, соответствующую лопастной частоте и частоту 4,17 гц, соответствующую оборотной.

Величина вибросмещений стенок камеры рабочего колеса с частотой колебания носят характер упругих, облегающих камеру по перимет-

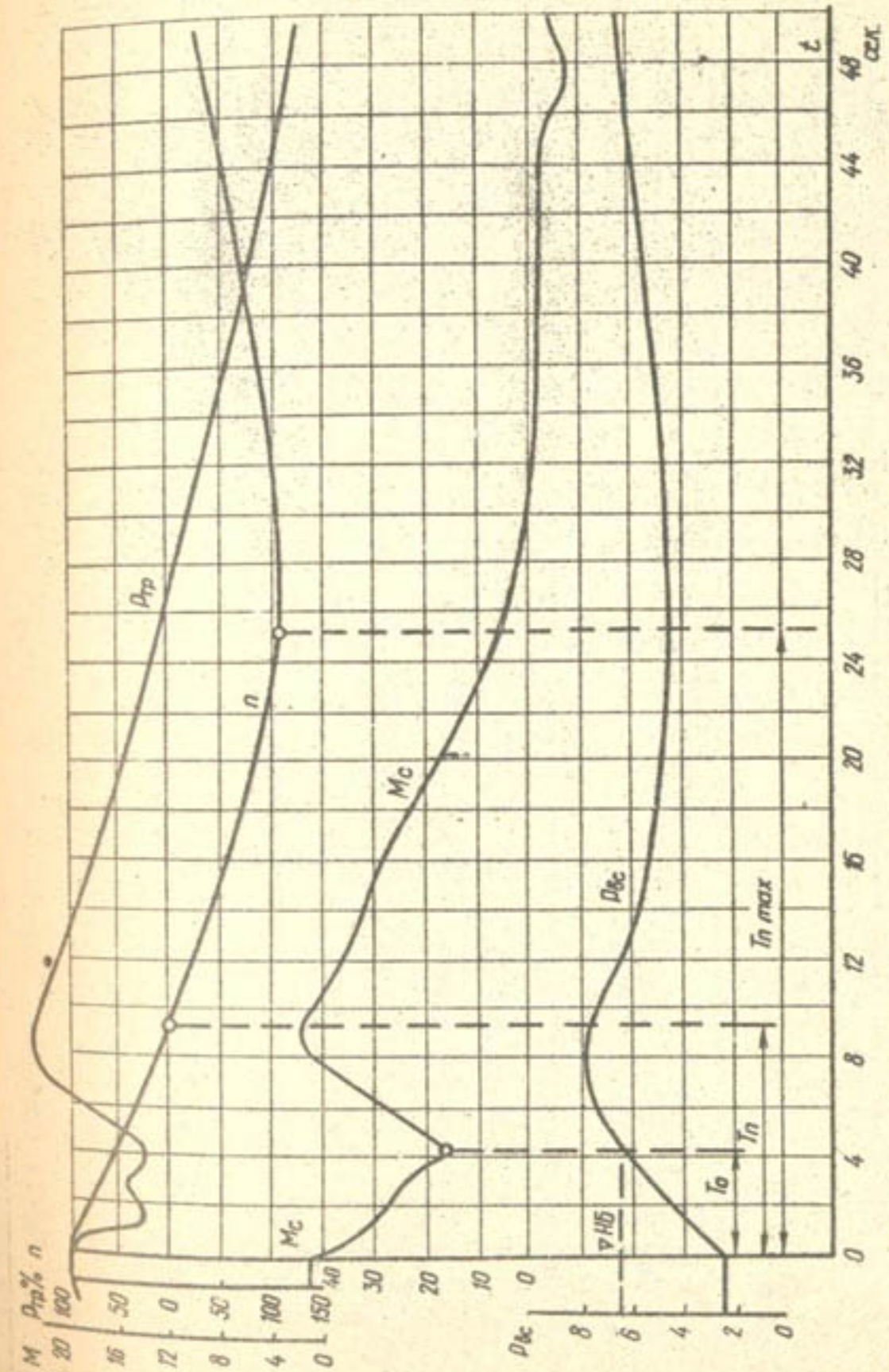


Рис.13. Характеристика остановки насосного агрегата ОП10-260Г.

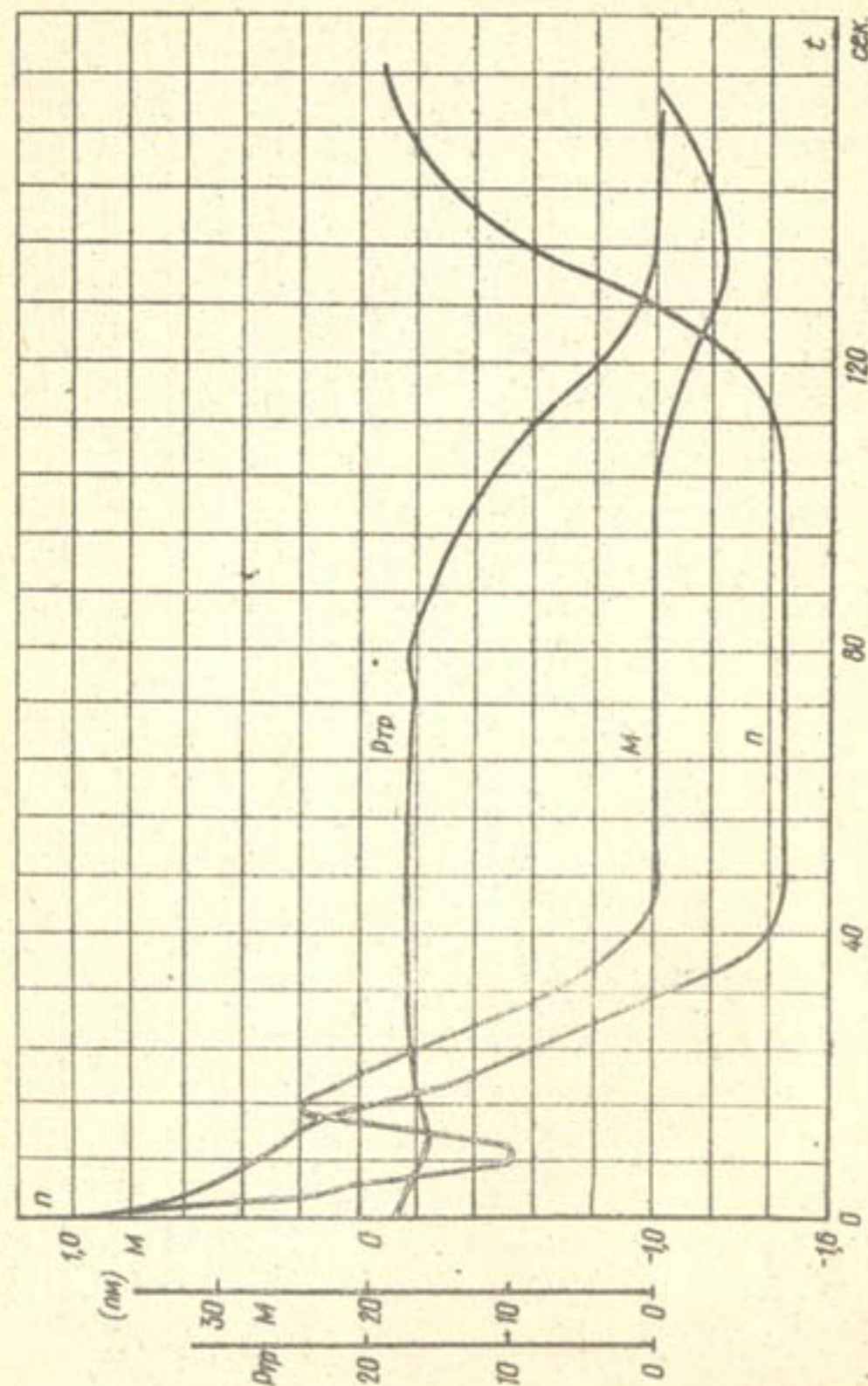


Рис. 14. Остановка с разгоном насосного агрегата ОП10-260Г.

ру с лопастной частотой. Вибрация конуса всасывающей трубы – 60 мкм при закрытых КСВ, и 400 мкм при открытых.

Радиальная вибрация верхней крестовины двигателя составляет 170 мкм с частотой 4,17 гц. Вертикальная вибрация не превышает 30 мкм. В переходных режимах максимальные вибрации имели место при остановках насосного агрегата и особенно в режимах без срыва вакуума в сифоне, т.е. при выходе агрегата на разгонную частоту вращения, что соответствует аварийной ситуации (табл.10).

Таблица 10

Точки замера	Нормальные остановки мкм	Остановки с раз- гонной частотой, мкм
Камера РК	200	550
Конус всасывающей трубы	700	до 1000
верхний подшипник насоса	50	70
верхняя крестовина двигателя:		
радиальная	до 1000	до 1000
вертикальная	160	360

В результате измерений вибросмещений можно сделать общий вывод, что вибрационное состояние насосов ОП10 и ОП11 хорошее.

Сравнение вибрационного состояния насосов ОП-260 с насосами ОП-185 показывает, что заделка выправляющего аппарата и напорного колена в бетон увеличила жесткость насоса, при этом вибрационное состояние насосов ОП10-260Г и ОП11-260Г значительно лучше, чем насосов ОП10-185Г и ОП11-185Г.

Увеличение амплитуды вибраций элементов насоса при переходных процессах временно и не представляет существенной опасности для агрегата.

3.8. Испытания сифонного водовыпуска

Испытания сифонного водовыпуска проводились НИСом Гидропроекта с участием ВНИИГим. Они включили:

- определение поля скоростей в горловом сечении;
- определение потерь напора в напорном трубопроводе и сифонном водовыпуске;
- определение коэффициента расхода водовыпуска;
- оценка надежности клапанов срыва вакуума (КСВ) конструкции

Имашева.

При всех исследованных режимах подачи насосов от 25,6 до 38,8 куб.м. в сек., сифон работал полным сечением. Максимальная величина вакуума в сифоне достигала 7 м. вод.ст. Во время испытаний КСВ пропускали воздух, который выносился потоком в колодец водовыпуска в виде пузырьков. Зарядка сифона (до вакуума 7 м. вод.ст.) происходит за 2,0-2,5 мин.

При открытых КСВ сифон продолжает работать полным сечением при $Q = 29,3$ куб.м./с (НС-2) и $Q = 32$ куб.м./с (НС-1). При всех режимах работы величина динамического вакуума превышала значения геометрического вакуума для точек, расположенных на родосливе и напоре сифона при максимальном вакууме 7 м. в.ст. Потери напора в сифонных подводящих насосных станциях И1 и 2 составляют 0,64-0,7 м. Следует отметить, что даже малые прососы воздуха через КСВ снижают вакуум и изменяют энергию потока на входе в сифон на 0,7-1,0 м. При наличии прососа воздуха, разность энергии между входным сечением сифона и верхним бьефом увеличивается до 1,4 - 1,7 м., на эту же величину возрастает напор насоса и, соответственно, снижается его подача.

Оценивая работу КСВ можно отметить следующее:

1. Конструкция КСВ достаточно удачна, обеспечивает удаление воздуха из трубопровода при пуске насоса и герметичность сифона после его зарядки. Однако резиновые уплотнения клапанов быстро выходят из строя. Это обстоятельство в большей степени отражается на подаче насосов в худшую сторону.

2. Пневмопривод клапанов, система автоматики и защиты в процессе испытаний были не отлажены и часто не срабатывали.

3.9. Основные выводы и предложения

1. Полученные при испытаниях и гарантированные ТУ параметры насосов представлены в табл. II.

Таблица II

Тип насоса	Напор, м	Подача, куб.м/с	КПД в %			Угол наклона трубопровода, град	Примечания
			агрегата	двигателя	насоса		
1	2	3	4	5	6	7	8
ОП10-260Г	25	39,5	86	96	89	0	Натурные испытания ТУ2606-655-70

1	2	3	4	5	6	7	8
	25,2	39	-	-	87	0	
ОП11-260Г	18,5	43,2	67	96	90	0	Натурные испытания ТУ 137-68
	18,0	40,3	64	96	87	-2	
	18,2	39	-	-	85	-2	

Отсюда следует, что действительные оптимальные параметры насосов ОП10-260Г и ОП11-260Г, установленных на НС-1 и НС-2 Карпинского магистрального канала, полностью соответствуют техническим условиям.

2. С целью дальнейшего увеличения ресурса работы насосов в условиях эксплуатации рекомендуются следующие мероприятия:

а) для повышения надежности системы смазки подшипников насосов рекомендуется соединить верхний и нижний подшипники защитной трубой, установка которой позволит: исключить два из трех необслуживаемых уплотнений, уменьшить расход чистой воды на смазку подшипников, исключить попадание загрязненной воды в подшипники.

б) для правильной эксплуатации насосов необходимо: оборудовать все насосы манометрами на всасывающей и напорной линиях, обеспечить работу расходомеров в соответствии с результатами тарировки расходомерного створа при испытаниях, обеспечить надежность средств автоматики и защиты агрегата, предусмотренных проектом насосной станции, обеспечить надежную работу клапанов срыва вакуума сифонных водовыпусков.

3. С целью сокращения времени работы насосов в неблагоприятных по нагрузкам и вибрации режимах, пусках, остановках и разгонных режимах, необходимо уменьшить число пусков и остановок.

4. Для выявления узлов, лимитирующих общую надежность насоса, установления межремонтных сроков, количества запчастей - надо продолжить подконтрольную эксплуатацию насосов.

4. ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАНАЛОВ И НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

4.1. Водозабор и подводящий канал

Питание каскада насосных станций осуществляется с помощью бесшлюпного водозабора из реки Амударьи, которая является основным водным источником большинства ирригационных систем Средней Азии.

Воды Амударьи переносят большое количество взвешенных частиц

песка и ила.

При снижении скорости течения взвешенные частицы интенсивно оседают, уменьшая живое сечение русла и затрудняя водозабор. В подводящий канал Каршинского канала поступает 10-12 млн.куб.м. наносов в год, которые создают основное препятствие для осуществления водозабора, особенно в летний вегетационный период, при максимальной подаче воды.

Для обеспечения постоянной водообеспеченности канала при низких горизонтах воды и в маловодные годы, необходимо было проводить мероприятия по регулированию русла реки. Обследования участка реки, произведенные отделом русел САНБИРИ в районе мыса Пулизиндан показали, что основное русло направлено в верхнюю часть мыса. Поток, ударяясь отражается от него и образующееся здесь циркуляционное течение выносит замутненные донные наносы вдоль правого берега за мысом. Наносы отлагаются, образуя устойчивую подводную отмель, в результате чего основной поток направляется к левому берегу и размывает его. Средняя отметка поверхности подводной отмели вдоль правого берега оказалась равной 241,5 м., глубина потока 1-1,5 м, что было недостаточно для обеспечения водозабора с требуемым расходом воды.

В маловодные годы в результате переформирования русла на вышеуказанном участке наблюдался отход основного русла от мыса Пулизиндан. В этом случае для осуществления водозабора в канал, головную часть прокопа продолжили до южной скалистой части мыса. Тогда общая длина прокопа составила около 1200 м, ширина - 120 м при средней глубине 4 м. При этом очищалось от наносов и углублялось подходное русло у головной части прокопа. После выполнения таких работ стал возможен забор воды в канал до 120 м³/с.

При подъеме горизонта воды перед нерасмытым берегом создавались глубины и происходил размыв русла. Выше головной части мыса Пулизиндан и подводных отмелей подходный участок заваливался наносами, в результате чего заносился ими и головной участок прокопа. В этом случае общая длина прокопа уменьшалась с 1200 до 600 м, пропускная способность снижалась и были необходимы более производительные очистные работы в голове и подводящей части правобережного прокопа, на протяжении почти 800-600 м для пропуска требуемого в канал расхода.

В маловодные годы режим работы бесплотинного водозабора для НС-I был предельно напряженным. Эксплуатация бесплотинного водоза-

бора с устроенным вдоль правого берега прокопом показала, что в период увеличения расхода и подъема уровня воды в реке (при отметках выше 244,0 м) поток полностью заполняет русло и река вплотную подходит к бровке правого берега в районе водозабора. В этом случае водозабор осуществляется непосредственно из реки. В период межени здесь образуется устойчивая отмель и для обеспечения канала потребным расходом устраивался прокоп. При этом длина прокопа изменялась с 350 до 1200 м, а ширина - от 120 до 160 м.

Устроенный правобережный прокоп часто заносился наносами, подводящая часть его закупоривалась, поэтому ежегодно для устройства прокопа выполнялись землечерпальные работы объемом до 400-600 тыс. куб.м. Для поддержания прокопа в рабочем состоянии на участке длиной 600 м необходимо было вести восстановительные работы, объем которых составлял до 200 тыс.куб.м.

Объем очистных работ прокопа от наносов достигал 1,2-2,0 млн. куб.м. Для нормальной работы правобережного прокопа ежегодно необходимо было выполнить до 2,5-3 млн.куб.м. землечерпальных и очистных работ стоимостью 1,0-1,5 млн.руб.

В результате ежегодных сбросов пульпы из прокопов в реку происходили русловые переформирования в районе водозабора, наблюдался подъем горизонтов воды (до 40 см) и отметок дна, блуждание потока в пойме (рис.16). При увеличении водозабора с расходом до 175 куб. м/с объем очистки в прокопе и головной части канала составлял около 9-11 млн.куб.м.

Для улучшения существующего бесплотинного водозабора и обеспечения нормальной работы Каршинского канала в период межени, УЭ НККИНС приняло решение удлинить существующий прокоп до южной скалистой части мыса Пулизиндан (до 600 м) и усилить очистку в головной части прокопа мощными земснарядами. В этом случае водозабор будет осуществляться из верхних слоев потока, за счет чего в канал будет попадать в 1,5 раза меньше наносов. Следовательно, очистных и руслорегулирующих работ в правобережном прокопе и канале будет значительно меньше.

С другой стороны, из-за направленности потока к устойчивому берегу образуется дополнительный подпор (около 10 см) уровня воды за счет скоростного напора.

Уровень воды у насосной станции по сравнению с первичным вариантом будет выше на 20-25 см. Минимальная отметка у закрепленного участка при 90%-ной обеспеченности составит 242,90 м, что

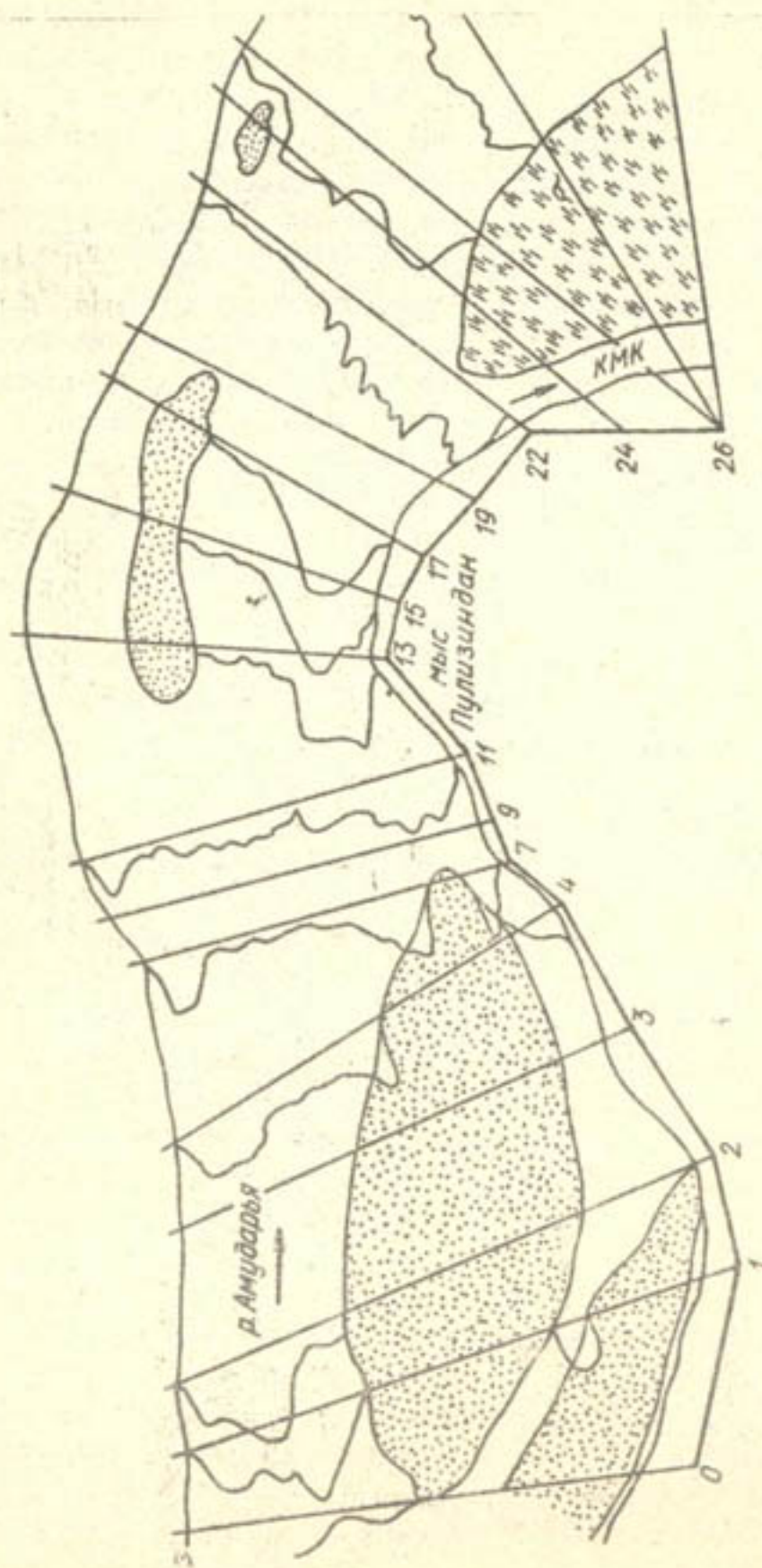


Рис.15. План участка р.Амударья в районе водозабора Картинского магистрального канала 23.08.1977г. $Q = 1950 \text{ м}^3/\text{сек.}$

очень важно для обеспечения канала требуемым расходом воды, так как пропускная способность канала связана с отметкой уровня воды у НС-1 - 243,20 м, при которой она работает в оптимальном режиме.

В период межени 1978-79 гг., для заполнения Талимарджанского водохранилища, подавался расход до 175 куб.м/с. Для его пропуска углубили и расширили прокоп до ширины 140-160 м, длиной 600 м, при средней глубине 6,0 м. Объем работ по строительству прокопа составил примерно 540000 куб.м.

Установлено, что в прокоп поступают наносы пропорционально расходу воды, средняя мутность потока в межени равна $1,75 \text{ кг/м}^3$. Фракции, оседающие в прокопе, составляют 70% от общих наносов. Мутность этих фракций - $1,2 \text{ кг/куб.м.}$ Общее количество наносов, поступающих за сутки - 6729 т, при объемном весе наносов - $1,6 \text{ т/куб.м.}$, объем наносов за сутки - 4205 куб.м. Объем очистки за месяц - 126150 куб.м.

Сравнение вариантов дополнительной закачки в голову машинного канала недостающего объема воды (примерно 55 куб.м/с) системой плавучих или капсульных насосных станций установлено, что выполняемые в подводящей части канала руслорегулировочные работы не только обеспечивают нормальный режим работы головной насосной станции, но и дают годовой экономический эффект свыше 660 тыс. рублей.

Изменения горизонтов воды в голове подводящего канала и нижнем бьефе насосной станции №1 и влияют на расход воды в канале и, соответственно, подачу станции №1 (табл.12).

Вместе с тем следует отметить, что бесплотинный водозабор в связи с резкими колебаниями горизонтов воды в реке не в полной мере обеспечивал устойчивый режим работы насосной станции №1. Это отрицательно сказывалось на орошении, особенно в период поливного сезона.

В подводящий канал из реки попадало большое количество плавающих (корни деревьев, камышиная куга, кустарник и др.), который скопился на решетках сороудерживающих сооружений (СУС) НС-1 и аванкамер уменьшал их пропускную способность, нарушал режим работы головной насосной станции, и это отражалось на пропускной способности всего каскада.

Для своевременного удаления плавающих из канала у пикета 195

Таблица 12

Отметки уровней (абсолютные), м			Заглубление оси РК	Подача НС-1 к/б.м/с
Амударья	у НС-1	Перепад, м		
242,80	242,20	0,60	4,02	60
243,30	242,40	0,90	4,22	90
243,90	242,95	0,95	4,77	110
244,25	243,25	1,00	5,07	130
244,50	243,78	0,72	5,06	145
244,85	244,15	0,70	5,87	160
245,30	244,48	0,82	6,30	175
245,70	244,95	0,75	6,70	190
246,00*	245,40	0,60	7,22	195

*отметка 246,00 в практике эксплуатации не наблюдалась и принята расчетная

была построена сорозаградительная запань - устройство, позволяющее сосредотачивать в одном месте плавающий мусор с последующим удалением его механическим путем. На сороудерживающих сооружениях установлены решетки, оснащенные козловым краном с сороочистным механизмом, позволяющие скапливающийся у решетки мусор транспортировать из канала на откос.

Опыт эксплуатации СУС, оборудованного решеткоочистной машиной (РОМ) на козловом кране еще раз подтвердил, что РОМ дискретного действия, т.е. очищает одновременно только часть пролета решеток, неприменима в данных условиях при наличии в перекачиваемой воде значительного содержания плавающего и полужатопленного мусора. Зубья ковш РОМ (имеющего к тому же явно недостаточную массу) неспособны на всю глубину очищать просвет решеток. При попадании корней в просветы решетки, они становятся центром быстрой аккумуляции другого мелкого сора. К моменту подхода к этому месту РОМ, решетка оказывается уже забитой почти на всю глубину и не поддается очистке. Недостаточно массивные длинные зубья только гладят забившийся мусор, а в случае его зацепления происходит перегрузка машины. Козловой кран тоже не отвечает требованиям усиленной очистки решеток и несмотря на принципиально сбалансированную конструкцию теряет равновесие.

В качестве временной меры возможно оборудование имеющихся решеток приварной нижней полки (типа поддона), собирающей имеющийся в пазухе мусор. Эта мера предусматривает ручную очистку решеток с удалением вынутого мусора. Работа достаточно трудоемка, поэтому в качестве долгосрочного проекта необходимо рассматривать установку РОМ непрерывного действия (типа бесконечной цепи Галь с зубьями), выполненную на НС 169 Северо-Крымского канала и 2-й очереди Аму-Бухарского канала. В отличие от этих конструкций, специалистами УЭ ЮМКиНС предложено установить РОМ непрерывного действия на наклонных решетках, улучшающих транспортирующую особенность и увеличивающих прижатие мусора.

Однако не так давно была проведена дополнительная реконструкция головного водозабора, переносом его к мысу Пулизиндан и с устройством ложа входа в канал на скалистом основании. Вхо., в канал со стороны реки выполнен из монолитного бетона. На входе в подводящий канал устроен донный порог. С тем, чтобы в подводящий канал уменьшить попадание плавающего мусора, перед входом в него, под углом 45° установлена плавающая конструкция регулирующая поверхностный поток, с отгоном почти всего плавника вниз по реке. Такая реконструкция головного водозабора благоприятно сказалась на работе каскада насосных станций, позволила значительно улучшить поступление воды. Установленная на НС-1 плавающая запань, улавливающая прошедший в водозаборе мусор и отбивающая его к бровке канала, исключила засорение сороудерживающих решеток. Однако для более легкой и производительной механической очистки мусора, на правом берегу аванкамеры НС-1 целесообразно устроить ковш, собирающий мусор и исключаящий попадание его во всасывающие трубы насосов. (рис.16).

4.2. Головная машинная часть магистрального канала

По проекту головная машинная часть магистрального канала (76,4 км) рассчитана на равномерный режим движения воды. Были разработаны подробнейшие инструкции по режимам работы насосных станций, вплоть до очередности и времени работы каждого агрегата. Предусматривалось последовательное включение агрегатов на каскаде от альными нитками. Так, например, из головной насосной станции (НС-1) при подаче воды одним насосом в отводящем канале устанавливается горизонт верхнего бьефа (ГВБ) на отметку 19,85 м, а при

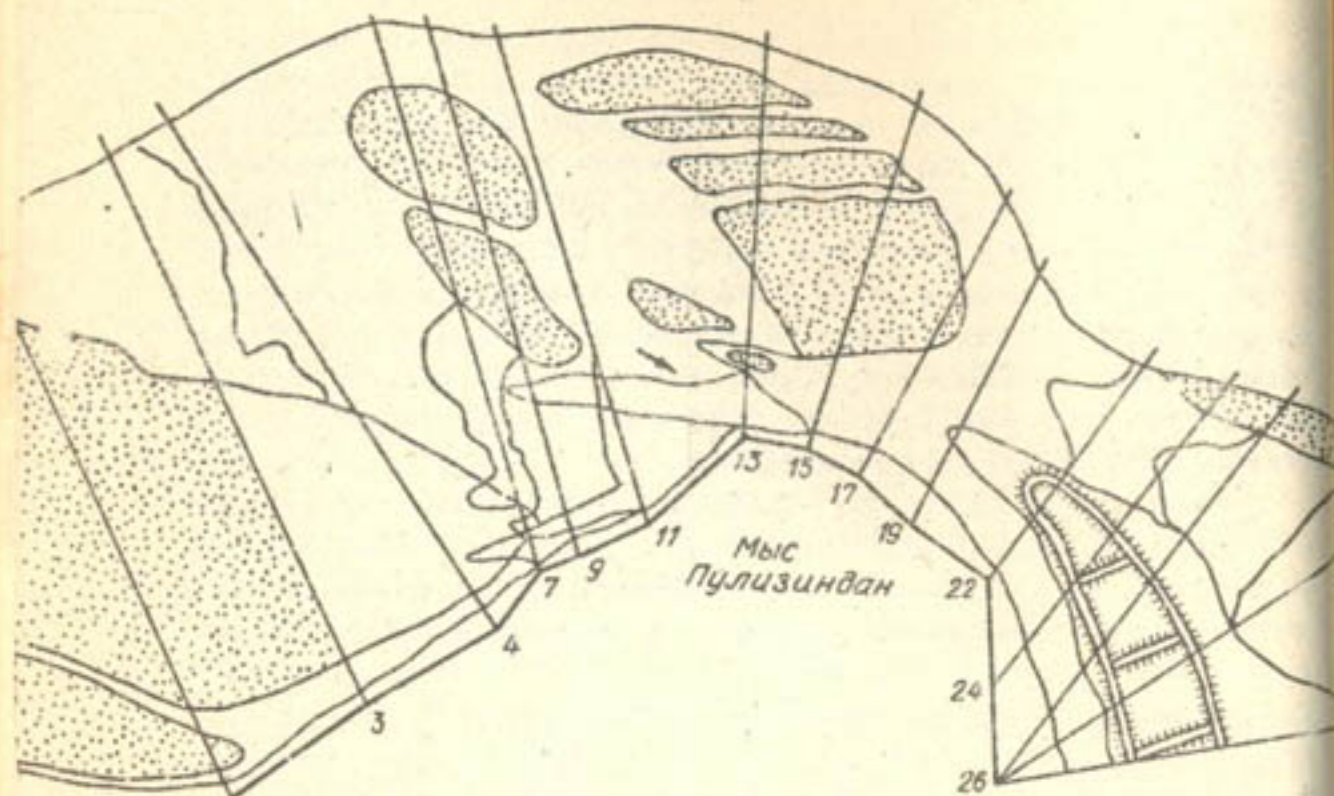


Рис. 16. План участка р. Амударья в районе водозабора Каршинского магистрального канала 19.II.1977г.

форсированной подаче пятью насосами ГВБ = 23,4 м, т.е. при равномерном режиме движения воды в канале колебания составляли 3,55 м.

В первые же годы эксплуатации стало ясно, что в проектном режиме канал работать не может. Горизонты воды в канале, определенные расчетом из условия равномерного режима движения воды, в зависимости от количества работающих на каждой насосной станции агрегатов, поддерживаться не будут. Режим работы каскада и выбор оптимальных горизонтов определило его оборудование. Как известно, осевые насосы низконапорные и поэтому очень чувствительны к изменению горизонтов воды. Для изменения их подачи на 1% достаточно изменить статистический напор насоса всего лишь на 20 см. В связи с этим на Каршинском магистральном канале впервые был применен и оправдал себя в эксплуатации режим работы насосных станций с подпором, т.е. на всех насосных станциях (кроме головной) были созданы подпоры с затоплением оси рабочего колеса, не менее чем на 8,0 м с колебаниями горизонтов в пределах 0,5-1,0 м, независимо от

расхода воды в канале.

При испытаниях головных образцов насосов ОП10-260Г и ОП11-260Г было обнаружено, что при низких горизонтах воды в аванкамере и незаряженном сифоне работа насоса переходит в неустойчивую зону своей напорной характеристики. Поэтому в протоколе технического совещания Государственной межведомственной комиссии по приемочным испытаниям головных образцов насосов были указаны новые допустимые заглубления осей рабочих колес в зависимости от угла поворота лопастей.

Кроме того, опыт эксплуатации показал, что создать равномерный режим движения воды по всей длине канала не удавалось по многим причинам, в том числе: из-за разбора воды (Ульяновская петля), разных длин бьефов-каналов между насосными станциями, трудностей с разворотом лопастей рабочих колес на многих агрегатах (и -за неисправности механизмов разворота лопастей их заваривали, исключив возможность разворота) и т.д.

Большие колебания горизонтов в подводящих и отводящих каналах, а следовательно, и действующих напоров насосов, в сочетании с плохой герметичностью пневмоэлектрических КСВ, установленных по проекту, в первые годы эксплуатации приводили иногда к снижению подачи насосов до 26%.

4.2.1. Оптимальные горизонты воды в аванкамерах

Опыт эксплуатации показал, что для обеспечения нормальной, устойчивой работы насосных агрегатов необходимо поддерживать оптимальные горизонты воды в аванкамерах, не допуская их резких колебаний. Максимально возможное поднятие горизонта воды в аванкамере не только улучшает работу агрегатов, но и стабилизирует подачу насосных станций, повышает эффективность их работы. Поэтому на основании рекомендаций по приему первых головных насосов в эксплуатацию, разработок научных исследований и непосредственного практического опыта эксплуатации были разработаны новые режимы работы каналов с поддержанием высоких горизонтов воды в аванкамерах.

Горизонты воды в аванкамере головной насосной станции полностью зависят от уровня воды в р. Амударье, в то время как на последующих насосных станциях каскад они зависят только от правильно составленного режимного графика работы каскада и умелого выполнения его диспетчерской службой.

На НС 2-6 установлены однотипные насосы ОП10-260Г, для которых рекомендуется поддерживать колебание уровня воды в каналах перед насосными станциями в пределах 6-8,5 м; в зависимости от рельефного расположения насосной станции на местности (от длин промежуточных бьефов) (табл.13).

Таблица 13

№ НС	Горизонты в метрах от оси рабочих колес			Примечание
	Горизонт. миним.	Горизонт. макс.	Горизонт форсиров.	
1	4,20	7,00	6,00	Зависит от ГВ Амударьи
2	6,50	8,50	10,20	
3	6,50	8,20	8,50	
4	6,50	8,50	10,20	
5	6,50	8,20	9,00	
6	6,50	8,50	9,00	

Примечание: Подпоры 6,50 в практике не применялись, как не обеспечивающие нормальную эксплуатацию насосных агрегатов.

Подпорный режим приняли не сразу, а только после того как был накоплен значительный опыт эксплуатации и надежности работы промежуточных каналов, выполненных по проекту с бетонной облицовкой и имеющих большой запас высоты берм от максимального уровня воды, порядка 1,5-2 м. К эксплуатации были приняты наиболее оптимальные горизонты: на НС-2-4 - 6,0-9,5 м; НС-3 - 8,25 - 9,0 м; НС-5 - 8,0-8,5 м; НС-6 - 8,0-9,5 м.

Работа каскада Каршинского магистрального канала в подпорном режиме значительно улучшила условия эксплуатации, повысила надежность работы и стабилизировала подачу насосных агрегатов. Кроме того, поддержание уровня воды в аванкамере в пределах колебаний 0,5-1,0 м позволило создать устойчивую работу насосных агрегатов и наиболее эффективно использовать гидравлические устройства для срыва вакуума в сифонных водовыпусках.

4.2.2. Оптимальные горизонты воды в верхних бьефах за водовыпускными сооружениями

Горизонт воды в верхнем бьефе (ВВ) насосной станции определяет

статистический напор, от которого зависит подача насосной станции, поэтому от поддержания горизонта воды в верхнем бьефе за водовыпускными сооружениями зависит пропускная способность каскада.

В экономических целях лучше иметь минимальный горизонт верхнего бьефа, при котором (при идеальной герметичности сифона) будем иметь минимальный напор насоса, т.е. будет достигнута максимальная подача при минимальном удельном расходе электроэнергии. Но минимальный горизонт бьефа можно поддерживать при одном - двух работающих агрегатах. Увеличение количества работающих агрегатов на насосной станции соответственно требует повышения горизонта воды верхнего бьефа станции, что снижает подачу работающих агрегатов, но улучшает режим работы канала.

Как известно, по законам гидравлики для обеспечения пропуска большого количества воды по каналу, требуется создание большого перепада горизонтов, т.е. необходимо поднятие уровня ВВ.

Максимальное наполнение канала водой между насосными станциями увеличивает общий объем воды, создает возможность плавного регулирования режима работы канала без лишних, крайне нежелательных остановок агрегатов на насосных станциях, каждая такая остановка насоса приводит к уменьшению рабочего ресурса насосного агрегата, поэтому на основании накопленного опыта были выбраны наиболее выгодные для режима работы каскада горизонты на всех шести насосных станциях (табл.14).

Таблица 14

НС	Отметка гребня сифона	УВ ВВ от оси РК	
		проектн. диапазон	рабочий диапазон
1	23,8	20,13-23,38	22,0-23,15
2	32,75	29,10-32,35	31,15-32,10
3	32,88	29,43-32,43	31,28-32,15
4	33,12	29,47-32,72	31,62-32,50
5	33,12	29,47-32,72	31,62-32,20
6	33,12	29,47-32,72	31,62-32,70

4.2.3. Регулирование подачи воды и рекомендации по пуску и остановке насосных агрегатов

Важное значение для поддержания необходимого режима работы

канала имеет регулирование подачи насосов путем изменения положения угла разворота лопастей без остановки агрегата (на ходу).

На Каршинских насосных станциях смонтированы электрогидравлические приводы, которые имеют наиболее простую кинематическую схему, компактное расположение на агрегате, экономичные расходы электроэнергии.

Простота и легкость управления гидроприводом позволяет операторному персоналу в считанные секунды устанавливать необходимый угол разворота лопастей рабочего колеса.

Изменение положения угла разворота рабочих колес насосов ОПВЮ-260 и ОПВІІ-260 рассчитаны для регулирования подачи воды всеми насосными станциями по выбранной гидравлической характеристике, обеспечивающей изменение подачи насоса от 27 куб.м/с до 39,5 куб.м/с.

Градуировка изменения угла положения выполнена в диапазоне $+3^{\circ}$ - -9° и от 0° - 9° , т.е. две модификации. Выбранный диапазон

изменения угла атаки позволяет осуществлять заданные режимы работы при любом количестве работающих агрегатов на каскаде. Безотказная работа электропривода - залог устойчивого режима работы каскада насосных станций. Однако за время эксплуатации не полностью пользуются этим экономичным способом регулирования подачи насосов и режимом работы промежуточных каналов. Одной из основных причин явилась поломка лопастей и выход из строя привода.

Пуск насосных агрегатов производится на опорожненный трубопровод. Закрытие КСВ и зарядка сифона производится автоматически при любом горизонте воды в отводящем канале.

Пуск насосов НС-2-6 производится при угле разворота лопастей рабочего колеса равном -3° (согласно рекомендаций) и меньше, т.е. пусковой угол желательно выбирать в пределах -8° - -3° , т.к. при пусках на углах больше -3° увеличивается момент сопротивления насоса, что отрицательно сказывается на времени вхождения электродвигателя в синхронизм и, в наиболее неблагоприятных случаях, может привести насосный агрегат в неустойчивую зону работы.

Подача насосных станций может изменяться в пределах от 27 до 195 куб.м/с, в зависимости от количества работающих агрегатов и изменения величины подачи каждого насоса путем разворота лопастей рабочего колеса. При этом следует иметь в виду, что кратковременная форсировка по каскаду не должна превышать 195 куб.м/с, при подаче каждого насоса не более 39 куб.м/с. Однако в связи с не-

достатком поливной воды на осваиваемых площадях, в 1978-1985 гг., потребовалось увеличение подачи станций, что вынудило принять в вегетационный период работы пяти и шести агрегатов. Очевидно и в последующем такая необходимость будет повторяться.

Из магистрального канала между насосными станциями 1 и 5 осуществлялся промежуточный водозабор в Ульяновскую ветку с максимальным расходом 60 куб.м/с. Остановка насосного агрегата на НС-5 приводит, соответственно, к увеличению подачи в этот канал. Заполнение промежуточных каналов начинается с пуска одного агрегата на НС-1. После заполнения его водой до отметки принятого подтопления в аванкамере НС-2, пускается в ход один из агрегатов НС-2. Пуск насоса на НС-2 производится при открытых КСВ. Закрытие их производится после затопления выходного сечения сифонного водовыпуска. Наполнение промежуточного канала насосными станциями №2 и 3 до отметки 8,5 м происходит за 60 минут при подаче насоса 30 куб.м/с.

Наполнение канала между насосными станциями №3 и 4 одним агрегатом, до отметки 8,5 в аванкамере насосной станции №4, ориентировочно составляет 12 часов, между насосными станциями 4 и 5, также одним агрегатом - 4 часа, а между насосными станциями №5 и №6 - за 6,5 часа.

После заполнения аванкамеры НС-6 до отметки 8,5 производится пуск одного из ее агрегатов. Затем регулируется настройка каскада на заданную подачу. Общее время заполнения полностью осушенного канала при работе одного агрегата на каждой насосной станции составляет около 2-х суток. Это время может быть сокращено при работе 2-х или 3-х агрегатов на каждой насосной станции.

Обязательным условием для насосных станций №2 и №6, оборудованных насосами ОПВЮ-260Г, первоначальная работа которых предполагается на незаряженные сифоны, является ограничение по минимальному углу разворота лопастей рабочего колеса, величина которого должна быть не менее $\varphi = -3^{\circ}$. При меньших углах насос входит в зону помпажа. После заполнения каналов до соответствующих уровней и зарядки сифонов, зона работы агрегата может быть расширена до $\varphi = -9^{\circ}$. Дальнейшее изменение подачи по каналу осуществляется включением нужного количества агрегатов и корректируется с помощью разворота лопастей рабочих колес насосов.

Пуск второй нитки начинается с пуска второго агрегата на НС-1. Пуск вторых и последующих агрегатов на НС-2-5 не требует

изменения уровней в нижнем и верхнем бьефах. При этом соблюдается последовательность: вторые агрегаты на НС №2 и №3 пускаются через 15 минут после пуска второго агрегата на НС-1 и затем, соблюдая интервалы 15 минут, последовательно пускаются вторые агрегаты на насосных станциях № 4,5 и 6. В той же последовательности пускаются третьи агрегаты, но с интервалом времени 60 мин. При этом уровень воды в аванкамере, перед насосной станцией №1, должен быть не менее отметки 5,0.

Последовательность остановки насосных станций каскада в зависимости от необходимости, либо полной остановки канала на длительный период с последующим осушением его, либо кратковременных остановках каскада - уровни перед насосными станциями не должны превышать следующих горизонтов: 8,0 м - для НС-3; 8,5 м - для НС № 2, 4,5,6.

При возникновении необходимости остановки каскада на длительный период и опорожнения всего канала, последовательность остановки агрегатов насосных станций и интервалы времени между остановками остаются такими же, как и при пуске. При этом уровни воды в аванкамере следует удерживать приблизительно на отметке 5,0.

Оставшийся объем воды в каналах (ниже отметки 5,0), при необходимости, сбрасывается через холостые водосбросы, а где это невозможно, откачивается насосами 8 НБ, установленными на каждой насосной станции. Величина расчетной проектной производительности канала составляет 175 куб.м/с, что обеспечивает работой пяти агрегатов на каждой насосной станции с подачей каждого агрегата 35 куб. м/с (при шестом агрегате в резерве).

Уровни в аванкамерах насосных станций должны поддерживаться в следующих пределах:

на насосных станциях 2,4,5,6	- отметка 8,5 м;
на насосной станции №3	- отметка 8,0 м;
на насосной станции №1	- не ниже 5,5-6,0 м.

Остановка канала осуществляется путем последовательных отключений ниток, начиная с агрегата на НС-1. Интервалы времени, через которые отключаются пятые насосные агрегаты, ориентировочно следующие: остановка насосного агрегата на НС-2 и 3 производится через 2,5 часа после отключения соответствующего агрегата на насосной станции №1, через последующие 2,5 часа останавливаются агрегаты на насосных станциях 4 и 5 и еще через час - на насосной станции №6.

Отключение 4-й нитки агрегатов осуществляется в следующем

порядке: насосные агрегаты на НС-2 и 3 останавливаются через 2 часа после остановки соответствующего агрегата на НС-1, через последующие два часа - агрегаты на насосных станциях 4 и 5 и еще через 20 минут отключается четвертый агрегат насосной станции №6. Остановка последующих агрегатов производится с таким же интервалом, как и при пуске.

При работе с форсированной подачей 195 куб.м/с и особенно при работе всех шести насосных агрегатов, четко и строго должны поддерживаться уровни воды в аванкамерах перед насосными станциями: №2 - 9,8 м, №3 - 8,8 м; №4 - 9,8 м, 10,0 м; №5 - 8,7 м; №6 - 8,7 - 9,0 м.

Работа канала с проектной и форсированной подачей потребовала для своего осуществления особенно надежной системы автоматики измерения уровней в каналах, а также четкой работы гидромеханического, электротехнического и вспомогательного оборудования.

В период форсировки особенно хорошо должна быть налажена связь между насосными станциями. Однако следует отметить, что как бы хорошо не работала связь, человеку здесь справиться трудно - слишком много действующих факторов, которые надо учитывать при регулировке работы каскада, нужна автоматизированная система управления (АСУ).

Аварийные режимы создавались в результате поломки гидромеханического оборудования, отключения какой-либо станции - сработала защита. В случае внезапной остановки агрегата на какой-нибудь станции каскада включается резервный. В случае потери питания одной из станций каскада, работающей с частичными расходами, мероприятия по ликвидации аварийной ситуации были связаны с изменением уровней в каналах между насосными станциями. При расчете времени работы той или иной станции допускается сработка уровней перед насосными станциями не ниже от отметки 6,0-6,5 м, а кратковременное повышение перед НС-2 и НС-4 - не выше 10,0 м, перед НС-5 и 6 - 9,0, перед НС-3 не более отметки 8,5 м.

При работе каждой насосной станции одним агрегатом и внезапной потери питания:

- а) на НС-1 - через 7 час отключаются агрегаты на НС-2 и 3, через 7 час - на НС-4 и 5 и через 4 часа на НС-6;
- б) на НС-2 - сразу же останавливаются агрегаты на НС-3 и т.д.;
- в) на НС-3 - сразу же отключается агрегат на НС-2, через 7 часов на НС-1, 4 и 5, а еще через 4 часа на НС-6;
- г) на НС-4 - останавливается агрегат на НС-5, через 4 часа агре-

гат на НС-6, еще через 4 часа - агрегаты на НС-2 и НС-3, а еще через 8 часов - агрегат НС-1;

д) на НС-5 - отключается агрегат на НС-4, через 4 часа - на НС-6, еще через 4 часа - агрегаты на НС-2 и НС-3, а еще через 8 часов - на НС-1;

е) на НС-6 - через час останавливаются агрегаты на НС-4 и НС-5, еще через 8 часов - агрегаты НС-2 и НС-3, а еще через 8 часов - агрегат НС-1.

При работе каждой насосной станции каскада двумя агрегатами и внезапной потере питания, отключение производится в той же последовательности, как было описано выше, но с интервалом времени в два раза меньшими.

При работе каждой насосной станции тремя или четырьмя агрегатами и внезапной потере питания одной из них, на другой насосной станции сразу же отключаются по одному или два агрегата. В этом случае время, используемое для принятия мер по ликвидации аварии, следует принимать аналогично описанному выше, при обесточивании одного или двух работающих агрегатов на каждой насосной станции. В некоторых случаях, с целью увеличения времени для принятия мер по ликвидации причин остановки станции, могут быть использованы холостые водосбросы, позволяющие перевести работу станции "на себя" (случай работы каскада одной или двумя нитками). В случае потери питания (энергии) какой-либо станцией при работе каскада с проектной производительностью требуется, по крайней мере, немедленная остановка по три агрегата на всех остальных станциях. Дальнейшая работа этих станций может осуществляться одним или двумя агрегатами, в зависимости от времени требуемого для ликвидации причин остановки станции.

Если возобновить пуск каскада в ближайшее время невозможно, то каскад должен быть остановлен. Во всех случаях уровни бьефов перед насосами не должны превышать отметки 10,0 - перед НС-2 и 4; 8,5 - перед НС-3 и 9,0 перед НС-5 и НС-6. А уровни воды перед работающими станциями не должны снижаться ниже 6,0-6,5 м.

При форсированной подаче по каналу - 196 куб.м/с, в случае остановки одного агрегата на любой станции, включается резервный, или (реже) сворачиваются лопасти у всех насосов на других станциях с переходом на подачу каждого насоса 31-32 куб.м/с.

При частичном водоотборе из канала в Ульяновскую ветку могут быть два случая: работа каскада только в Ульяновскую ветку или

параллельная работа в два канала.

При подаче только в Ульяновскую ветку насосные станции №5 и №6 не включаются. В этом случае горизонт воды перед НС-5 должен быть на отметке 8,5, что соответствует расчетной отметке в головке Ульяновского канала.

Минимальный расход воды Ульяновского канала составляет 30 куб.м/с, однако в него можно подавать до расчетного 60 куб.м/с. Для уменьшения подачи в него можно производить частичный сброс воды через холостые водосбросы на НС-1-4 (в случае работы только на Ульяновский канал), но это только в период аварийных ситуаций, т.е. маневрирование потоками холостых водосбросов допустимо только при частичной настройке канала и не может быть рекомендовано для повседневной эксплуатации. При работе в два канала или только по магистральному каналу и в случае внезапной остановки одного или двух агрегатов на насосных станциях №5 и №6, излишняя подача воды к ним может быть направлена в Ульяновский канал. В настоящее время эта ветка расширяется со строительством второго его головного водозабора. Это позволит увеличить расход воды вдвое.

5. ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВАНКАМЕР И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УЛУЧШЕНИЮ ИХ РАБОТЫ

Аванкамера является важнейшим элементом насосной станции, от которой зависит надежность и долговечность основного гидромеханического оборудования. Снижение уровня воды в аванкамере вызывает кавитацию при работе насосов, образование воронок в приемных камерах часто приводит к недопустимой вибрации агрегата, заиливание порога водоприемника препятствует маневрированию затворами.

Гидратические процессы, происходящие в аванкамере, сильно влияют на условия эксплуатации станции, особенно по борьбе с наносами и плавником.

Аванкамеры насосных станций каскада не полностью удовлетворяли основным эксплуатационным требованиям, а именно:

1. Забор воды насосными агрегатами происходил с подсосом воздуха через водоворотные воронки.

2. Имело место неравномерное распределение потока между всеми работающими насосами, происходило искажение подводящего потока воды в каждую приемную камеру и всасывающую трубу насоса. Создавалось искусственное увеличение сопротивлений на входе.

3. Происходило частичное заиливание аванкамер, создавались пе-

пады уровня воды на решетках сороудерживающих сооружений (СУС).

4. В отдельных случаях происходило занесение наносами порога затворов.

Сопряжение водоприемников зданий станций с аванкамерами выполнено вертикальными стенками параллельно оси потока, что признается одним из самых гидравлически благоприятных способов. Однако за счет резкого уклона дна перед всасывающими трубами подход воды к ним происходил в условиях образования водоворотов. Особенно в тяжелых условиях эксплуатируется насосная станция №1. Недостаточное подтопление рабочих колес и интенсивные водоворотные воронки в приемных камерах приводят к сильным вибрационным и кавитационным явлениям, что вынуждало часто отключать агрегаты.

На решетках СУС в период паводков (из-за скопления большого количества плавающего мусора) наблюдались значительные перепады уровней воды.

На всех насосных станциях ненадежно работают крайние агрегаты. Неблагоприятные гидравлические условия их работы на каскаде насосных станций ЮМК впервые дали о себе знать в 1975 году. По состоянию на 1 мая 1976 г. было проведено 10 капитальных ремонтов, из которых семь агрегатов являлись крайними: насосы №1 на станциях 2,5,6; насосы №2 и №6 на станции №1, насосы №5 на станциях 3 и 4. Таким образом, потребность в капитальном ремонте крайних агрегатов возрастала в 2-3 раза.

Дальнейшая подконтрольная эксплуатация насосов позволила выявить и установить пределы изменения рабочих углов установки лопастей, область режимов с допустимыми уровнями вибрации и шума, ограничение по подаче и мощности крайних агрегатов, особенно эти пределы и ограничения необходимо было установить при работе всех или части агрегатов, когда крайние насосы при одинаковой мощности со средними подают меньше воды. Наглядно это явление проявлялось на НС №1,2,3,5 где ограничена возможность изменения уровня нижнего бьефа. На крайних насосных станциях внезапно появлялись сильные вибрации, напоминающие явления помпажа. Летом 1979 года резко увеличение вибрации вызвало свыше 150 отключений агрегатов. Особенно в неблагоприятных условиях работали насосные станции №2 и №3.

Описанные явления, очевидно, вызываются исключительно неудачной конструкцией аванкамеры, создающей неравноценные условия для работы насосных агрегатов.

В табл. 15 представлены результаты сравнения уровней вибрации

насосных агрегатов НС-2, измеренные в период поливного сезона 1979 года.

Таблица 15

№ агрегата	Даты измерения								
	25 июня			26 июля			12 августа		
	Общие уровни вибрации, в дБ, по направлениям								
	верт.	ради-альн.	танг.	верт.	ради-альн.	танг.	верт.	ради-альн.	танг.
1	59	65,5	71,5	60	64	70	59	63,5	70,5
2	62	64,5	67	60	65,5	70	61	66,5	69
3	60	60,5	71	64	60,5	74	60	60	73
4	58	58	68	62	60	70	64	62,5	71,5
5	60	58	66	64	58	72	69	62	70
6	59,5	67,5	68	65	64,5	74	66	63	70,5

Из данных следует, что наибольшее изменение вибрации за рассматриваемый период произошло на агрегатах 4,5 и 6. При этом наиболее интенсивно возрастали общие уровни вертикальной вибрации при нарушении гидравлического режима работы агрегатов, обусловленного накоплением мусора на сороудерживающих решетках. Изменения вибрации также проводились в период с 1 по 6 августа. В дневное время с 13⁰⁰ до 20⁰⁰ вибрации вертикального направления удерживались на уровнях измеренных 26 июля. К 20 часам вертикальные вибрации агрегатов 1,5 и 6 составляли по общим уровням величины соответственно 62,68 и 64. Возникающие срывы режимов работы отмечались по времени с 20 до 2 часов, т.е. в вечерне-ночное время.

При этом вертикальная вибрация на этих агрегатах повышалась до 72 дБ. Спектрограмма, отражающая изменение общего уровня работы агрегатов 5 и 6 в период с 10 до 2-х часов свидетельствовала, что колебания общего уровня вертикальной вибрации на ± 3 дБ. Показательно, что явления срыва на агрегате с большим уровнем вертикальной вибрации почти не происходили. При общем уровне вертикальной вибрации агрегата №5 - 68 дБ и агрегата №6 - 64 дБ, срывы происходили только на крайнем агрегате №6.

При работе после двух часов общие уровни вертикальной вибрации несколько снижались и для агрегатов 4,5 и 6 соответственно доходили лишь до 62,64 и 62 дБ. Колебаний вибрации не отмечалось.

Описанные явления несколько необычно связанные с временем суток после исключения причин, связанных с подачей или другими неполадками электрохозяйства станции, в начале были объяснены максимальным повышением (за 20-30 лет) температуры перекачиваемой воды до 26°C . При повышении температуры, кавитационный запас насоса, зависящий от давления паров жидкости уменьшался, крайние агрегаты находящиеся в неблагоприятных гидравлических условиях подвода воды из аванкамеры начинали работать в условиях срывной кавитации и помпажа.

Однако после окончания вегетации, когда отключили часть насосов и явления помпажа исчезли, были выполнены аналитические расчеты, опровергающие выдвинутые предположения, так как величина уменьшения кавитационного запаса оказалась незначительной. Было проанализировано свыше 30 возможных причин, но из-за отсутствия натурных данных точно установить причину не удалось, тем более что в 1960 году подобных явлений не наблюдалось. Подобное явление повторилось в 1985 г. в конце мая и начале июня.

По мнению специалистов УЭ ЮМК и НС, в рассматриваемых случаях наблюдалось наложение нескольких причин, вызывавших возникновение вибрации, а именно: высокой температуры перекачиваемой воды, неравномерного засорения решеток сороулавливающих сооружений (СУС). Наличие сбойности течения после СУС, периодического подсоса воздуха через водоворотные зоны у приемных камер, износа профиля лопаток выправляющего аппарата (кавитационные явления). Визуально наблюдалось явление резонанса, когда колебания возникающие в потоке, особенно низкочастотные, передавались корпусным деталям насоса, что при достаточно больших возмущающих силах вызвало вибрацию.

В результате многолетнего анализа установлено - основная причина выхода агрегатов из гидравлического режима совпадает с периодом поступления максимального количества взвешенных наносов из р. Амурь и значительным поступлением в этот час плавника.

Систематически повторяемыми были: увеличение мутности, плавника, уменьшение поступления воды к НС-1 со снижением уровня в аванкамере до 20 см (май-июнь), некоторое "голодание" энергосистемы. Несомненно сказывалось техническое состояние агрегата. Эти и другие причины, вызывавшие сбой в работе каскада, послужили основанием реконструкции водозабора из р. Амурь (рис. 17).

Кроме того, из малого расстояния между НС-2 и НС-3 (около 1 км) и отсутствия достаточной регулирующей емкости между ними, изменение

режима работы агрегатов на одной из них быстро сказывалось на другой и между ними наблюдалось волнообразные процессы (автоколебания), резко нарушающие гидравлические условия подвода воды к агрегатам и создающим аварийную ситуацию на канале. Гашение волн по длине канала не происходит, причем в створе высота отраженной волны почти всегда больше подошедшей.

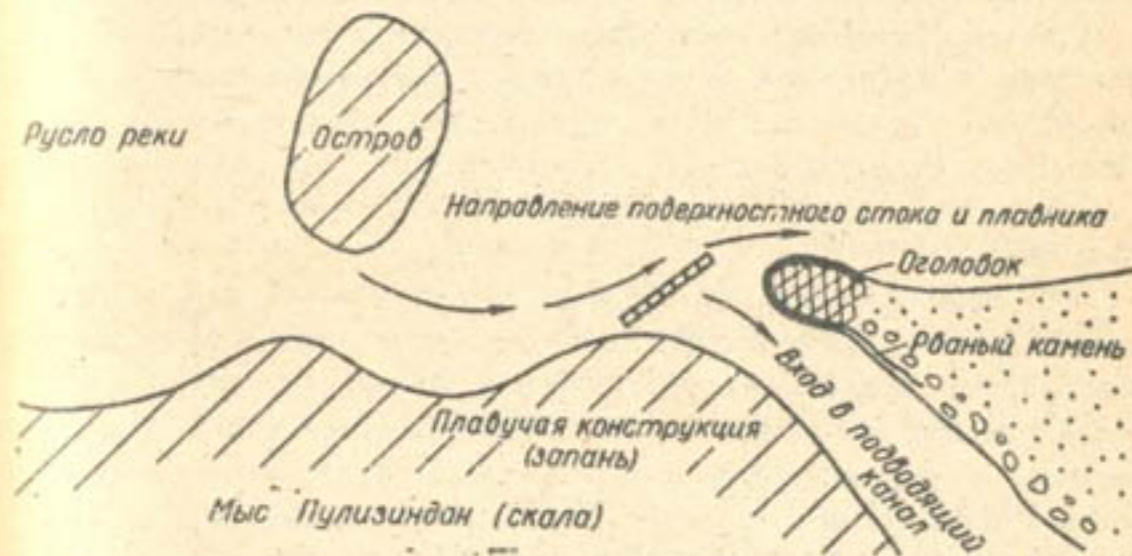


Рис. 17. Схема реконструированного бесплотинного водозабора в ЮМК.

Например, остановка шести агрегатов (погашение нагрузки в сети) вызывает в створе НС-3 повышение уровня воды на 1,25 м, на НС-2 - 1,71 м, соответственно, при пяти агрегатах 1,04 и 1,51 м.

При последующем осмотре узлов насосов НС-2 наиболее подверженным кавитации оказались входные кромки лопастей рабочего колеса и лопаток выправляющего аппарата.

Из 33 отключений, произошедших на НС-3 с 7.06 по 16.07.79 г. - 31 отключение (96%) было на крайних агрегатах. На других насосных станциях крайние агрегаты отключались также в 4-5 раз чаще, чем средние. При возникновении колебаний оперативный персонал изменяет угол разворота лопастей насосов и регулирует мощность двигателей. Описанное явление обычно наблюдается при мощностях агрегатов 8-10 мВт, т.е. при неполной его нагрузке, а также в случае когда потребляемая мощность крайними агрегатами меньше мощности других агрегатов.

При одинаковой потребляемой мощности первого и второго агрегатов, а также шестого и пятого, явления вибрации и кавитации наблюдались меньше. При большей потребляемой мощности крайними агрегатами, по сравнению с другими и в том числе работающими рядом, эти явления при обычных условиях не наблюдались.

Выявленная закономерность позволила рекомендовать при одновременной работе пятью или шестью насосами поддерживать режим работы крайних агрегатов с превышением мощности, по сравнению с соседними на 0,5 мВт.

Наблюдаемое явление, названное на каскаде "голоданием" крайних насосных агрегатов, может быть объяснено с физической точки зрения. Транзитный поток в плане сужается обширными боковыми водоворотами и прямолинейно подходит к двум средним насосам. К остальным насосам поток подходит, отклоняясь от продольной оси канала на углы от 15 до 75°, образуя фронтальное течение и затем водоворотные ветви.

При увеличении подачи, скорость потока в аванкамере возрастает, увеличивая интенсивность фронтального течения, что значительно искажает условия подхода воды к крайним агрегатам. В некоторых случаях на форсированном режиме между бычками приемных камер возникает поперечная волна высотой до 1-1,2 м (рис. 18 а, б). Периодичность колебания гребня волны в пролете - 4-5 с. Максимальная амплитуда колебания - в средних пролетах. Это явление относится к неустановившимся режимам станции и наблюдается в основном после группового пуска агрегатов. С увеличением количества работающих агрегатов высота волны увеличивалась.

В 1979 году, в период наиболее неустойчивой работы комплекса аванкамера-насосная станция, аналогичные автоколебания наблюдались в пролетах СУС с максимальной амплитудой до 1,5-1,8 м. Протяженность распространения волн в аванкамере СУС не превышала 5-6 м, максимум колебаний приходилось на дневное время в моменты затухания вибрационных и кавитационных явлений, при работе четырех-шести агрегатов.

Описанные явления вызывались исключительно неудачной конструкцией аванкамеры, создающей неблагоприятные и неравноценные условия для работы насосных агрегатов. В первый период эксплуатации необходимо было разработать достаточно эффективные эксплуатационные мероприятия, способствующие улучшению гидравлических условий подвода воды к насосам, но это не удалось. Для всей проектируемых насосных станций необходимо изменять аванкамеры, а для построенных стан-

ций (как в данном случае) производить их реконструкцию по нашему мнению следует учесть, что можно было бы исключить значительную часть вибрационно-кавитационных явлений, уменьшить влияние неравномерности работы насосных агрегатов, воронкообразования и вихревых токов в аванкамерах при понижении отметки оси рабочего колеса. При этом увеличится напор, работа насосов будет более устойчивой.

Авторы понимают, что увеличение подпора в данном случае для каскада насосных станций ЮМК вызвало бы дополнительно строительные затраты, связанные с заглублением подводной части станции. Однако как показывают ориентировочные расчеты, эти затраты вполне были бы окуплены уменьшением эксплуатационных расходов, связанных с большей долговечностью и надежностью работы насосных агрегатов.

Выполнение данного предложения сыграло бы положительную роль для головной станции №1.

5.1. Гидравлические исследования аванкамер

Начальный опыт эксплуатации насосных станций вызвал необходимость продолжить натурные изучения гидравлических условий забора воды насосами, оценить степень влияния водоворотных зон, уточнить допустимые изменения градиентов скоростных напоров, разработать мероприятия, улучшающие гидравлику аванкамеры и методику их проектирования.

Необходимо было выяснить и оценить совокупность факторов, отрицательно сказывающихся на эксплуатации насосов, и особенно крайних. Для определения степени влияния потока в аванкамерах необходимо уточнение его кинематической структуры при стационар- и нестационарных процессах работы насосных станциях. Задачей исследований являлось выявление причин, вызывающих неблагоприятные гидравлические условия подвода воды к насосам и их диагностирование, оценки конструктивного исполнения аванкамеры и его влияния на работу насосных агрегатов.

Изучением физического характера движения воды в аванкамере установлено, что при входе потока из подводного канала в аванкамеру, в середине потока суммарная энергия струек достаточно велика для преобразования кинетической энергии в потенциальную и дополнительного создания скоростного напора, позволяющего транзитной части потока продвигаться вперед. Боковые струйки потока, не обладая достаточной энергией могут продвинуться вперед только на небольшое расстояние, определяемое запасом их кинетической энергии. Происходит отрыв транзитной струи от боковых стенок аванкамеры. По бокам транзитной

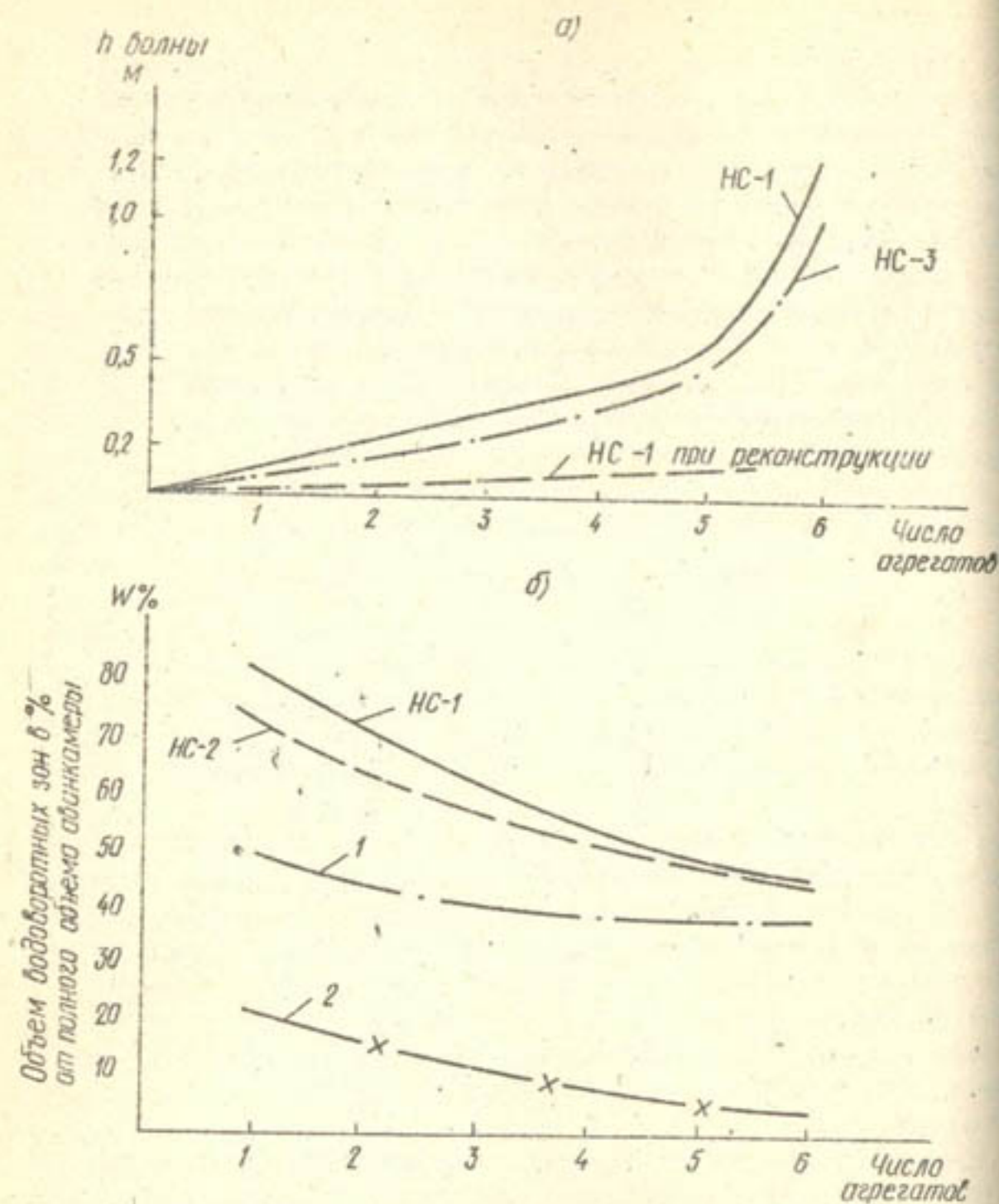


Рис. 16 (а) Зависимость высоты волны фронтального течения воды в аванкамерах, при неустановившихся режимах, от числа одновременно работающих насосных агрегатов.

(б) Изменение объемов водоворотных зон в % от полного объема аванкамеры:

Кривая 1 — после расширения потока в аванкамере;

Кривая 2 — при реконструкции аванкамеры (лабораторные данные).

струи возникают водоворотные области, оказывающие на нее гидродинамическое давление по всей поверхности раздела. Процесс образования боковых водоворотов носит крайня неустановившийся характер. Отдельные их граничные части за счет турбулентного обмена вовлекаются в транзитную струю, а затем вновь возвращаются обратно. Через поверхность раздела происходит определенный водосбмен. Турбулентные касательные направления, действующие вдоль поверхности раздела вызывают увеличение потерь напора в пределах водоворотов. Учитывая это, в аванкамерах определялись элементы живого сечения потока и устанавливалось соответствие размеров эксплуатируемой аванкамеры проектным данным. Аванкамеры были разделены сечениями, перпендикулярными продольной оси на характерные створы.

В каждом створе на вертикалях замерялись глубины, скорости и направления потока и выявлялась зона отложения наносов. Определялась гидравлическая картина протекания потока, границы транзитного потока, водоворотов и застойных зон. При изменении числа работающих агрегатов выяснились размеры и положения водоворотных и застойных зон, интенсивность воронкообразования.

На различных агрегатах, обычно крайних и одном из средних, замерялось и сравнивалось распределение скоростей во входном сечении всасывающих труб. Для оценки влияния конструкции аванкамеры на работу насосных агрегатов, нахождения достоверных диагностирующих параметров, обеспечивающих получение сопоставляемых и объективных данных о надежности насосов, проводились измерения вибрации звукового давления, уровня звука и одновременно мощности, потребляемой насосным агрегатом. Замеры вибрации проводились в нижней и верхней точках агрегата: на камере рабочего колеса насоса и на верхней крестовине двигателя.

На первой стадии оценке подвергались факторы, зависящие от общей компоновки сооружений. Как уже отмечалось, недостаточный уровень воды в аванкамере первой станции объясняется тем, что ее количество, поступающей в подводящий канал определяется подачей станции, но и уровнем воды в Амударье.

Неустойчивость и блуждание русла, характерные для Амударьи, чрезвычайно затрудняют равномерную подачу воды в канал. При подтоплении рабочих колес насосов на НС-1 в пределах 4–4,4 м, агрегаты работали в устойчивом кавитационном режиме с сильной вибрацией и повышенным уровнем шума. При подпоре 4,4–5 м прослушивалась целая и профильная кавитация. При этом режиме работать более чем

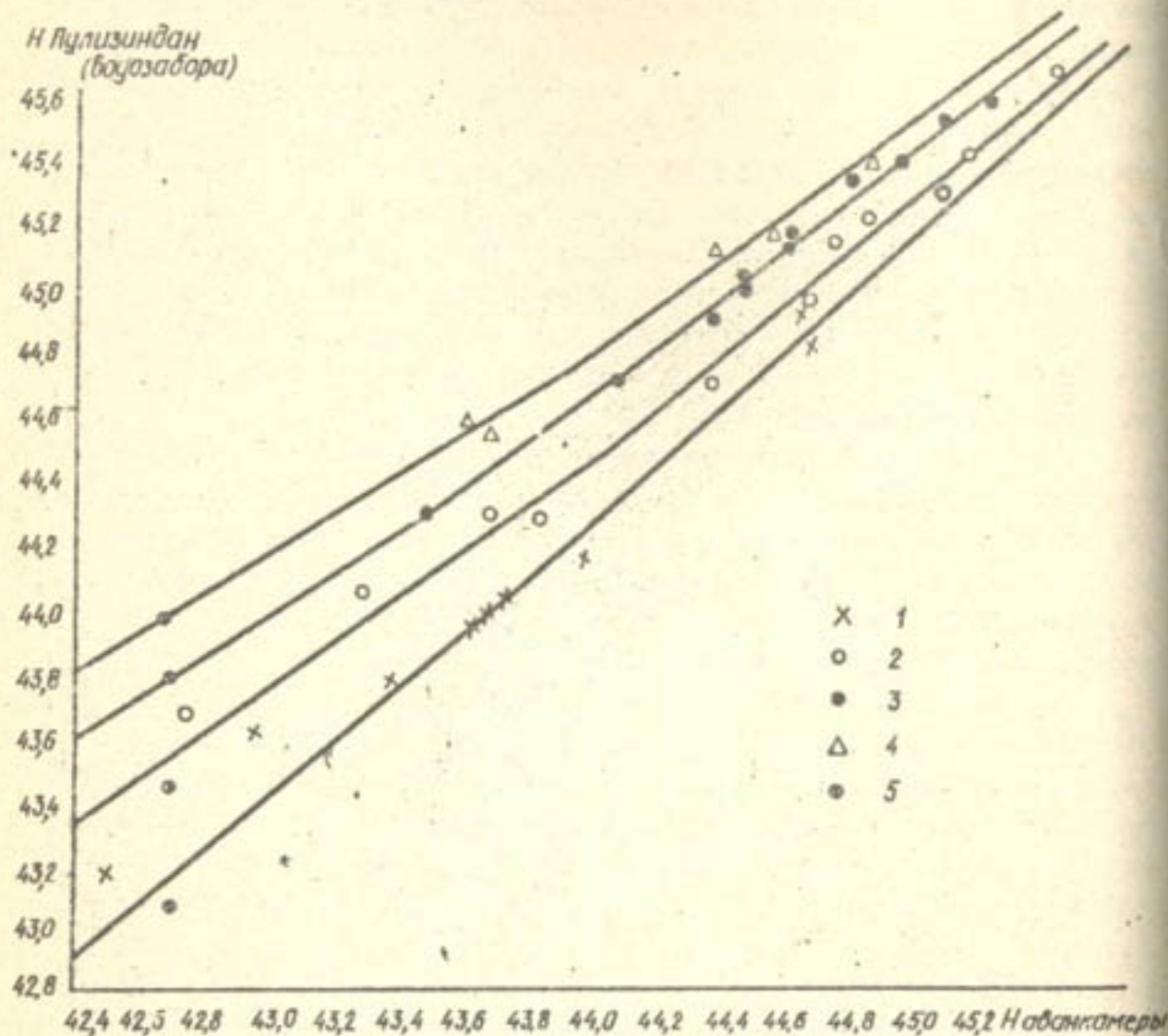


Рис.19. Зависимость уронеи воды в аванкамере НС-I от уронеи воды в р.Амударье в районе водозабора.

ремя агрегатами невозможно. Включение большего числа насосов вызвало резкое падение уровня воды в аванкамере и все агрегаты начинали работать в режиме кавитации (рис.19).

В течение 1975-76 гг. одновременная работа 5-6 насосов при подпорах менее 5 м, неоднократно вызвало серьезные аварии агрегатов с обрывом лопастей рабочих колес, повреждением корпусных частей (камер, конусов, всасывающих труб) и затоплением станции.

В 1977 году на НС-I в работе находилось 6 агрегатов, из которых три - с приваренными лопастями рабочих колес; два - с вре-

менно установленными колесами ОПИО-260 и один - с поворотным колесом ОПИ-260. За этот же год было дважды насосы выходили из строя: на насосной станции №1 на рабочем колесе агрегата №6 была оторвана лопасть, на колесе насосного агрегата №3 разрушен сварной шов, которым лопасть была приварена к ступке.

Опыт последующего поливного сезона еще раз подтвердил, что крайние агрегаты находятся в более неблагоприятных условиях, чем средние. Так, на крайнем шестом насосе из-за отсутствия резервных рабочих колес были вынуждены установить усиленные рабочие колеса насосов ОПИО-260.

С целью определения правильного направления проводимых исследований, были изучены конструктивные исполнения, а также результаты модельных лабораторных и натурных испытаний аванкамер крупных насосных станций "Хамза-2", Талимарджанский НС-7, Кызыл-Тепинский и др. Установлено, что большая часть недостатков конструктивного исполнения и гидравлических свойств потока воды и подвода ее к НС, почти во всех других исполнениях конструкций аванкамер аналогична имеющимся на НС-I Карпинского магистрального канала.

Аванкамера Талимарджанской НС включает в себя сходящиеся донные стенки, установленные в начале и консольные удлиненные бычки в конце аванкамеры. Такое решение, безусловно, улучшает гидраулику аванкамеры, но не является, по нашему мнению, оптимальным. Донные метровые стенки под углом к оси канала могут оказаться способными в должной мере повлиять на условия подхода к водоприемнику и полностью ликвидировать обратные водоворотные зоны.

Из анализа работы аванкамер построенных насосных станций установлено, что по мере удаления от подводящего канала скорости течения резко уменьшаются, особенно при совмещении планового расширения русла и уклона дна перед всасывающими трубами. В средней части аванкамеры тормозящее действие водорота сказывается в меньшей степени, поперечные к направлению оси аванкамеры составляющей скорости течения не искажают эпюры скоростей во входных отверстиях всасывающих труб насосов.

Специальные мероприятия, целью которых является не только конструктивное сопряжение ширины подводящего канала и водоприемника, но также обеспечение полного расширения потока перед фронтом всасывающих труб, должны учитывать характер уменьшения ско-

ростей в аванкамере и резкого их увеличения в проточной части гидроагрегата. При быстро возрастающих мощности и подаче насосов, входное сечение всасывающих труб оказывается меньше площади водоприемного фронта зданий насосных станций блочного и особенно шахтно-блочного типа. Соответственно возрастает "провал" в продольной эпюре средних по сечению скоростей в конце аванкамеры.

Из вышеизложенного ясно, что правильный гидравлический расчет аванкамеры является единственным способом создания благоприятных условий для подвода воды к насосам.

Конструкция аванкамеры определяет гидравлическую структуру потока, влияющую на основные характеристики насосной станции. Расчеты движения потока в аванкамере, связанные с физическим и математическим описанием турбулентных течений при расширении русла, представляют большую трудность еще и тем, что насосные станции работают по графику с широким диапазоном подач и любая комбинация работающих агрегатов приводит к изменению скоростной структуры потока.

Переход от ширины подводящего канала по дну к фронту водозабора требует планового расширения боковых стенок, а заглубление насосов - наклона дна аванкамеры.

При повышении отношения ширины фронта водозабора к ширине канала по дну более четырех, аванкамеры насосных станций получают большими в плане, что приводит к их заилению и резкому уменьшению транзитной части потока, снижаемого боковыми водоворотами. При подобном расширении потока наблюдается деформация эпюры осредненных скоростей вдоль потока. Растекание потока сопровождается возникновением сбойных течений с высокой степенью концентрации расхода у одной из боковых стенок аванкамеры. Поверхность раздела между транзитной струей и водоворотами очень неустойчива.

С целью улучшения и стабилизации гидравлических условий подвода потока к водоприемнику насосных станций, ликвидации водоворотных зон и воронок, на основе выполненных исследований была разработана конструкция аванкамеры.

В основном она отличается тем, что перед водоприемником устроена донная поперечная стенка постоянной высоты. Идея поперечной стенки заключается в искусственном создании минимального перепада, препятствующего распространению водоворотов за стенку. За счет снижения уровня воды за стенкой прекращается или уменьшается возвратное движение воды из нижнего бьефа, восполняющего водоворотные

зоны.

Целесообразность устройства в аванкамере поперечной стенки можно проследить на примере заилиения аванкамеры насосной станции Кызыл-Тепе второй очереди АБЖК. После второго года эксплуатации наносы в аванкамере этой станции систематически откладывались, образовали донную стенку на расстоянии 15 м от водоприемника. При этом распределение поля скоростей стало более равномерным.

Натурные исследования аванкамеры на НС-I показали ярко выраженный клинообразный подход воды к работающим агрегатам, с образованием обширных водоворотных зон.

В табл.16 приведены углы подхода струй к приемным камерам крайнего шестого и пятого насосов при работе четырех насосов.

Таблица 16

Результаты измерения кинематических характеристик подвода потока к насосам №6 и №5 НС-I

Глубина замера	Измерения в 1975 г.				Измерения в 1976 г. (при частичной реконструкции аванкамеры)			
	Скорость м/с		Угол подхода, гр. от оси канала		Скорость м/с		Угол подхода град.	
	насос №6	насос №5	насос №6	насос №5	насос №6	насос №5	насос №6	насос №5
поверх.	0,27	0,24	90	40	0,27	0,26	60	22
0,2Н	0,26	0,40	85	38	0,29	0,44	48	18
0,4Н	0,33	0,55	62	30	0,31	0,53	34	15
0,6Н	0,55	0,67	59	28	0,60	0,61	29	14
0,8Н	0,80	0,74	72	29	0,68	0,70	30	15
Дно	0,75	0,71	79	31	0,66	0,63	33	15

Из таблицы видно, что косо́го подхода к приемным камерам крайних насосов полностью устранить не удалось. В камерах работающих насосов, хотя и в меньшей мере, не имело место воронкообразование, что ухудшало эксплуатационные показатели работы насосов.

С целью сравнительной диагностирующей оценки новых показателей были проведены измерения вибрации, звукового давления и уровня шума на крайнем 6-м и 4-м агрегатах, тщательно проанализированы диспетчерские данные о колебаниях мощности агрегатов. Анализ

проводился в диапазоне нормальных колебаний уровня нижнего бьефа при подтоплении рабочего колеса от 5,45 м до 6,15 м, составляющем 1,7 м. Напор насосов при этом изменялся от 14,85 до 17,55 м. Наибольшие отклонения (разброс) мощности оказались на 6-м агрегате (табл.17).

Таблица 17
Характеристика работы насосных агрегатов
№ 4,5,6 на насосной станции №1

Агрегат №4			Агрегат №5			Агрегат №6		
угол разво- рота	мощ- ность мВт	разброс мВт	угол разво- рота	мощ- ность мВт	разброс мВт	угол разво- рота	мощ- ность мВт	разброс мВт
-2	8,8	0,2	-3	8,8	0,3	-2	9,0	0,9
-4	8,4	0,3	0	9,7	0,4	-3	8,4	0,8

Условия работы агрегатов на последующих насосных станциях каскада меньше зависят от гидравлики подхода, так как эксплуатация их на подпорных режимах не только экономит значительную часть электроэнергии, но и создает большую устойчивость по подаче, обеспечивая их надежную работу.

Из-за неудовлетворительных условий подвода воды из аванкамеры во всасывающие трубы на крайних агрегатах наблюдался кавитационный износ на корпусе рабочего колеса и на нижнем обтекатель. Следы кавитации в виде мелких каверн обнаружены на нижней плоскости лопастей рабочих колес. В отдельных местах прослеживается износ от целевой кавитации на торцах лопастей рабочих колес. Кавитационный износ деталей соседних агрегатов был значительно меньше.

Обследования гидравлического режима аванкамер всех насосных станций каскада проводились при работе различного числа агрегатов. На НС-1 при работе пятого и шестого агрегатов в приемных камерах насосов наблюдались постоянные водоворотные воронки диаметром до 3-4 м. В левой части аванкамеры образовалась обширная застойная зона. Ярким выражением было фронтальное течение с обтеканием бычков. Линия раздела на поверхности воды между транзитным потоком и водоворотом была отмечена разнообразным плавником, в большом количестве скопившем по краям аванкамеры. Наблюдалась резкая неравномерность распределения скоростей в пролетах СУС. В средних пролетах скорость была в 5-6 раз больше, чем в крайних.

При натурных исследованиях аванкамеры насосной станции №1, замеры скоростей и направлений потока проводились в створах, СУС, в водоприемниках, оказывавших преимущественное влияние на работу агрегатов. На пульте управления станции фиксировались режимы при различном числе работающих агрегатов. Уровень воды в аванкамере колебался от 4,45 (три агрегата) до 6,15 (один агрегат), т.е. с изменением на 1,7 м.

Воронки крайних приемных камер наблюдались постоянно, но при высоких уровнях воды воздух не подсасывали и резкого повышения вибрации агрегатов не вызвали. Перед камерами всех работающих насосов вместе с потоком вращался скапливающийся плавник. Пульсационные колебания мощности при нормальных уровнях воды (УВ) составляли у крайних агрегатов до 0,9 мВт, по сравнению с 0,2-0,4 мВт у средних. Водоворотная воронка в камере шестого насоса, несмотря на то, что большая часть плавника собирается в ней и несколько гасит окружную скорость, доходила в диаметре до 3/4 ширины камеры, была значительно интенсивнее, чем воронки в других камерах. При работе шести агрегатов понижение уровня воды в зоне крайних камер наблюдалось до 10-15 см. В центре водоприемника образовался подпор до 5-10 см, что обуславливало обратное поверхностное движение потока от здания станции и фронтальное течение с нерегулярными волнами, поток двигался с отклонением к работающим агрегатам.

На треть длины аванкамеры прямой поток встречается с обратными струями и параллельно фронту станции разворачивается на 60-90°. Клинообразный подход потока, при одном работающем агрегате, с увеличением числа работающих трансформируется в подход с границами раздела между транзитным потоком и водоворотами. Зоны резкого падения скоростей в водоворотах являлись центром аккумуляции наносов.

Большой объем наносов не только не поддавался очистке, но и забивал пороги затворов. Резко изменялись скорости и по вертикали: у работающих агрегатов в середине камеры скорость возрастала от 0,27 до 0,80 м/с (агрегат №6) и 0,24 до 0,74 м/с (агрегат №5).

После СУС на глубине 1-3 м скорость в середине пролетов колеблется от 0,04 до 0,64 м/с (пролеты 5-7), причем в левых активный слой занимал 20-30% площади пролета. Замеры в пролете №1 через 0,5 м по глубине показали, что максимум скоростного поля приходится на слой глубиной 2,5-3,5 м от уровня воды (рис.20).

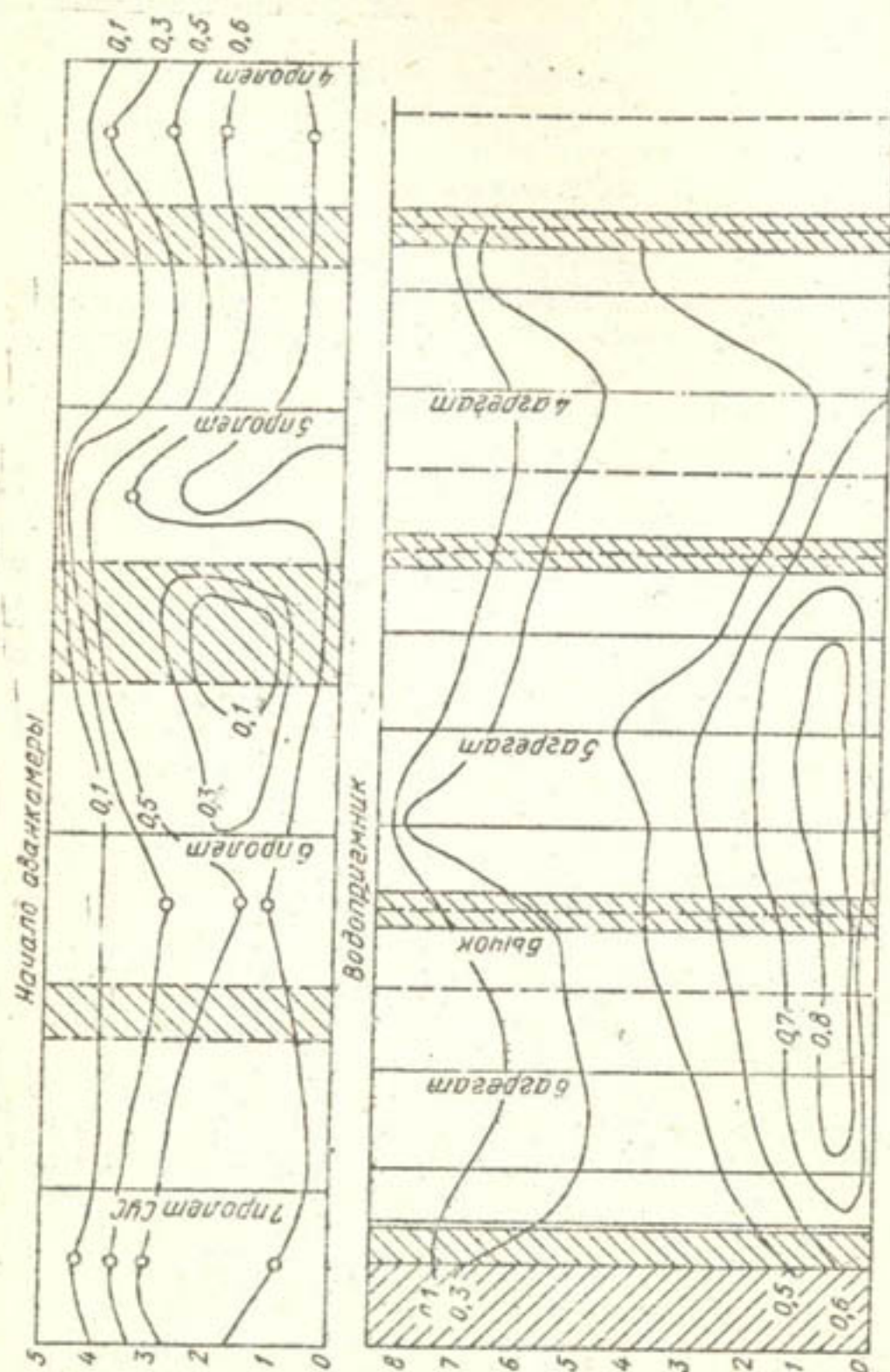


Рис. 20. Распределение скоростей потока в аванкамере НС-I при работе пятого и шестого агрегатов.

Исследования аванкамеры насосной станции показали:

а) наличие явно выраженных боковых водоворотов и вихревых зон искажающих транзитный поток. Водоворотные области увеличиваются против неработающих агрегатов и являются центром аккумуляции наносов;

б) у водоприемных камер станций образуется подпор за счет расширения потока и, соответственно, восстановления потенциальной энергии, что обуславливает фронтальное движение потока и подход его к крайним агрегатам под углом близким к 60° ;

в) отмечалась резкая неравномерность скоростей по вертикали: у работающих агрегатов от 0,2 до 0,6 м/с, неработающих - от 0,07 до 0,6 м/с;

г) поток, протекая вдоль фронта водозабора, при обтекании бычков образует водоворотные воронки, которые усиливаются нисходящими струями во всасывающие трубы. Воронка в камере крайнего шестого агрегата интенсивнее, чем в других камерах и достигает в диаметре 0,75 ширины камеры;

д) вибрация, уровень звукового давления и шума крайнего агрегата при одинаковых условиях работы значительно больше, чем у средних (табл. 18).

Таблица 18
Сравнение диагностирующих параметров агрегатов

Ум-агрегата	Вибрация, МК			Звуковое давление, дБ				Уровень звука, дБ
	без фильтра	на оборотной частоте	на по-дросной частоте	Частоты октавных полос, Гц				
				31	63	1000	8000	

1. Камера рабочего колеса насоса

Вертикальная								
6	35-40	25-35	8	90	104	85	76	105
4	17-20	13-20	4	84	102	81	71	103
Горизонтальная								
6	60-70	26-35	24					
4	62-68	17-24	21					

2. Двигатель (на крестовине)

Вертикальная								
6	26-35	15	3	82	88	61	58	84,5
4	10-13	2-3	1	81	60	56	56	84

новые конструкции.

При проектировании элементов реконструкции аванкамер был использован метод приведения средних скоростей к скорости подводящего канала. При живом сечении канала:

$$w_k = h(b + mh) = 6,07 (35 + 4 \times 6,07) = 360 \text{ кв.м}$$

и подаче 200 куб.м/с скорость в канале

$$v_k = \frac{Q_{\text{макс}}}{w_k} = \frac{200}{360} = 0,55 \text{ м/с};$$

при подаче одного агрегата 40 куб.м/с соответствующие параметры в канале определяются

$$w_k' = 2,75 (35 + 4 \times 2,75) = 126,5 \text{ кв.м};$$

$$v_k' = \frac{40}{126,5} = 0,315 \text{ м/с}.$$

Основными элементами для реконструкции были обоснованные ранее донные стенки и развитый вход во всасывающие трубы. В аванкамере были выбраны поперечные стенки высотой 2; 1,75; 1,5; 1,25 и 1 м (табл.19).

Таблица 19

П а р а м е т р ы !	В ы с о т а с т е н о к , м				
	2,0	1,75	1,5	1,25	1
при $Q_{\text{макс.}}$, кв.м	183	194	205	217	228
м/с	1,09	1,03	0,975	0,92	0,88
при $Q_{\text{мин.}}$, кв.м	33,7	45	56,25	67,5	78,7
м/с	1,19	0,89	0,71	0,592	0,51

Стенки выше 2-х м в натуре были признаны неконкурентноспособными по конструктивным соображениям.

Подбор высоты был осуществлен по живому сечению над стенкой $h = 2,0$ м. На расстоянии 10 м от водоприемника

$$w_{\text{макс}} 10 \times 47,5 = 475 \text{ кв.м, где}$$

47,5 м - ширина аванкамеры;

10 м - глубина воды в створе стенки при $Q_{\text{макс}}$;

$$v_{\text{макс.}} = \frac{200}{475} = 0,42 \text{ м/с};$$

$$w_{\text{мин.}} = 6,5 \times 47,5 = 310 \text{ кв.м, где } 6,5 \text{ м - глубина при } Q_{\text{мин.}}$$

$$v_{\text{мин.}} = \frac{40}{310} = 0,13 \text{ м/с}.$$

Ниже даются (табл.20) данные расчета по скоростям для остальных створов (эксплуатационные данные).

Исследования на модели показали, что описанный метод расчета

Таблица 20

Элементы ИС	СУС	Аванкамера	Створ под стеной	По всасыва- ющ. трубам
$w_{\text{макс.}}$, кв.м.	234	608	475	273
$v_{\text{макс.}}$, м/с	0,85	0,33	0,42	0,88
$w_{\text{мин.}}$	106	426	310	45,5
$v_{\text{мин.}}$	0,38	0,094	0,13	0,88

применим для реконструкции аванкамер. Результаты этих исследований заключаются в следующем.

На модели аванкамеры выполненной в полном соответствии с натурой, при работе шести агрегатов и любых уровнях воды поток идет прямо к двум средним агрегатам, отражается у водоприемника, образуя фронтальное течение с интенсивным обтеканием бычков приемных камер, заворачивающим затем в водоворотные струи. В аванкамере образуются две обширные зоны боковых водоворотов, вращающихся по всей длине (рис.22). В приемных камерах агрегатов наблюдаются постоянные интенсивные воронки. При снижении уровня воды (УВ) менее 5,15 м они носят характер глубинных вихрей с подсосом воздуха и плавника. В крайних камерах происходит их спонтанное перемещение к центру камеры.

Условия подвода ухудшаются при работе части агрегатов. В этом случае в аванкамере образуется 3-4 зоны обретенных водоворотов, в том числе и в ее середине (рис.23а). Против неработающих агрегатов водоворотная зона занимает до 80% объема, а в начале аванкамеры образуется застойная зона. У работающих насосов водоворотные струи идут по самому урезу воды. Наблюдаются постоянные воронки (против часовой стрелки) в камерах всех работающих насосов.

В результате исследований, при установке в аванкамере донной стенки и развитого входа во всасывающие трубы с вертикальной стенкой выше максимума УВ установлено, что поперечная стенка ликвидировала питание водоворотных зон, транзитный поток от СУС идет прямо к 3-му насосу (рис.23б). На поверхности струя заворачивает под стенку входа у первого бычка.

Слева у неработающих агрегатов образуется очень медленное фронтальное течение, заворачивающее к донной стенке. Объем этой зоны уменьшился до 15-18%. Воронки в приемных камерах насосов не наблюдается во всем диапазоне уровней воды.

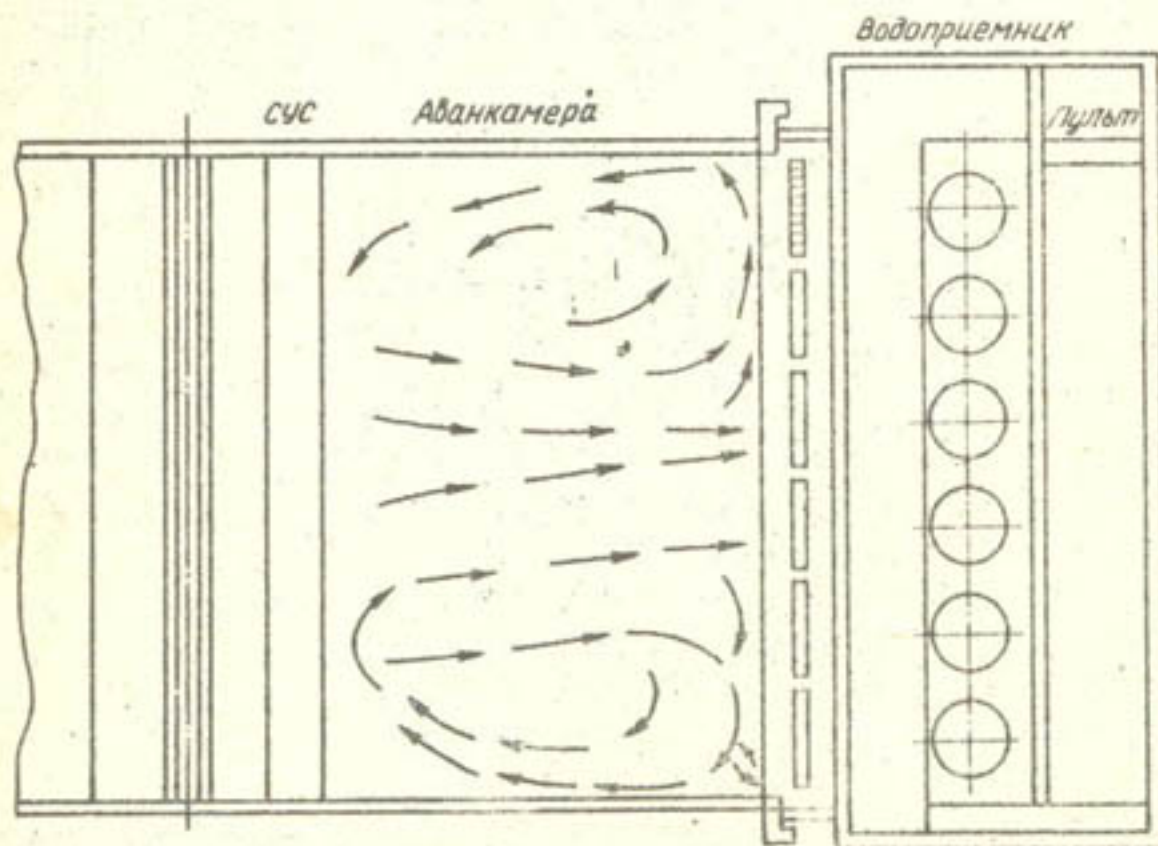
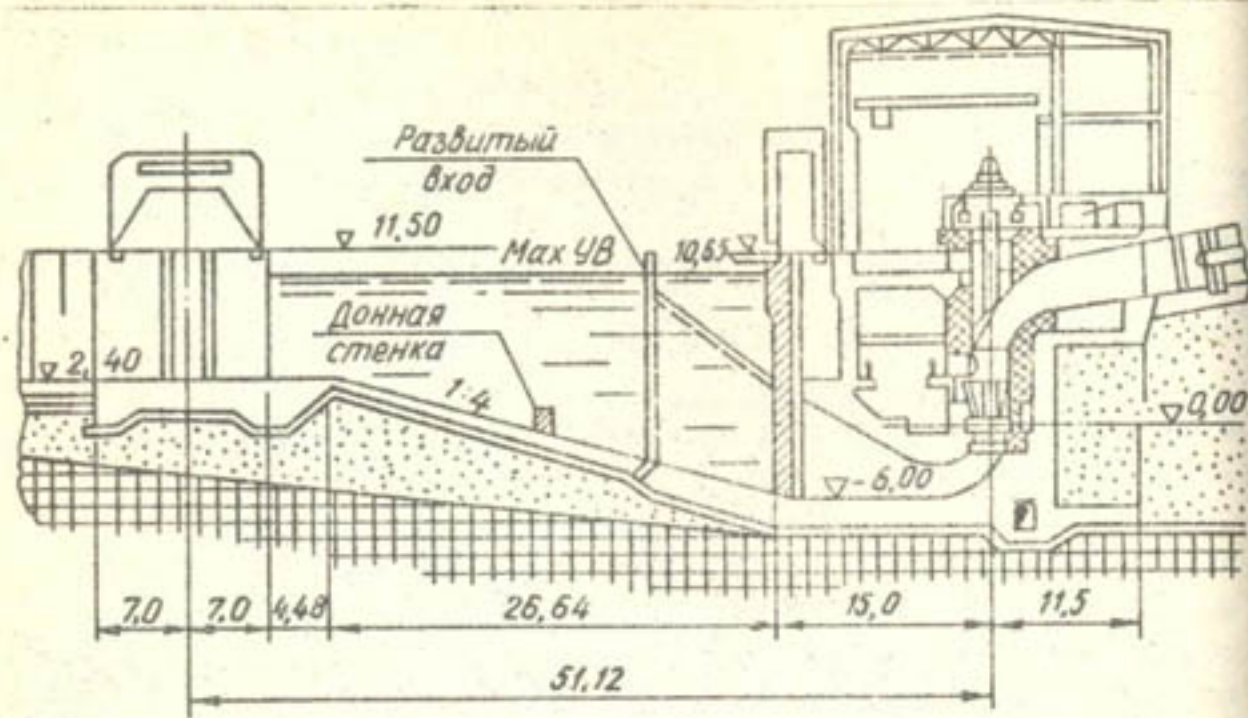


Рис. 22. Аванкамера Каршинских насосных станций. План скоростей на глубине 0,4 м от УВ при работе шести агрегатов. На разрезе пунктиром обозначен предложенный вариант реконструкции с установкой донной стенки и развитого входа.

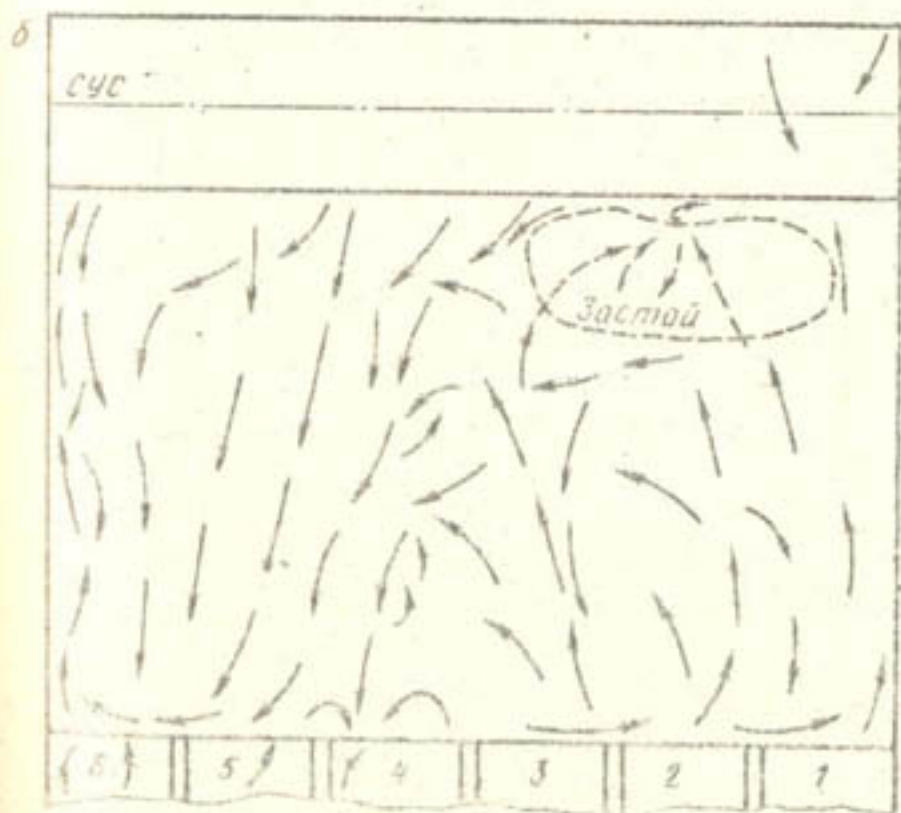
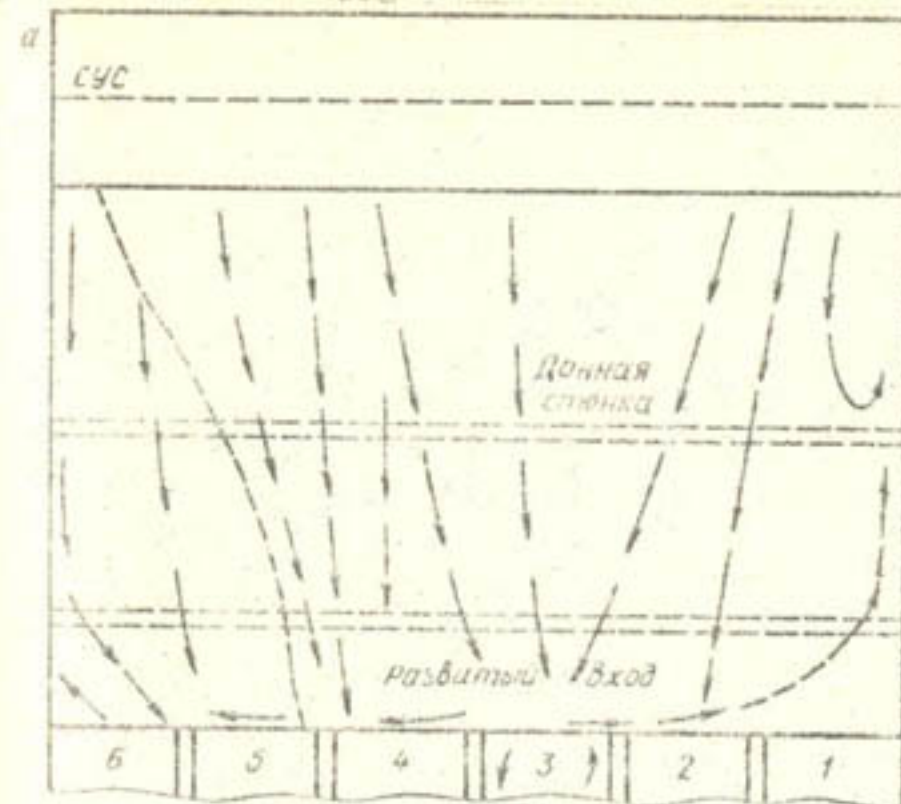


Рис. 23(а, б). Направление скоростей потока в модельной аванкамере НС-1.

- а) При работе трех правых агрегатов $Q = 118$ куб.м. в сек. УВно = 5,15 м;
 б) На модели установлены донная стенка и развитый вход $Q = 116$ куб.м в сек. УВно = 5,5 м.

Средние значения подачи крайних насосов составили по отношению к средним более 99%, тогда как в проектом варианте этот показатель был равен 95%.

Проведенные исследования позволили разработать методику оптимального изменения скоростного поля по длине аванкамер и рекомендации по улучшению работы аванкамер.

5.2. Рекомендации по улучшению работы аванкамер и их внедрению на каскаде насосных станций

Проведенные исследования и наблюдения за работой подводящих устройств показали, что наиболее эффективными мероприятиями улучшающими гидравлические режимы работы аванкамер являются: установка донной поперечной стенки и устройство развитого, навстречу потоку, входа во всасывающую трубу насосных агрегатов.

На действующих крупных оросительных насосных станциях эти мероприятия носят характер реконструкции и не могут в полной мере соответствовать нормальной, эффективной эксплуатации, поэтому целесообразно включать эти мероприятия в проекты новых насосных станций.

Реконструкция аванкамер крупных насосных станций обычно связана с их опорожнением, что крайне затруднительно в условиях круглогодичной эксплуатации системы. Поэтому специалистами Управления эксплуатации Котлинского магистрального канала разработаны и внедрены мероприятия, позволившие улучшить работу аванкамер без их опорожнения.

В частности, на крайних бычках водоприемнике были установлены дополнительные консольные бычки, препятствующие распространению фронтального течения к боковым стенкам аванкамеры и вихреобразованию. Консольные бычки были заглублены под максимальный уровень воды на 2 м. Попытка устроить впереди бычков заглубленную стенку не удалась из-за невозможности опорожнения аванкамеры. Гораздо проще и эффективнее оказалась плавучая конструкция - запань на понтонах (рис.24) с козырьком-4, заканчивающимся горизонтальной полкой-5, заглубленным на 2 м от ур. впр. дном уровне. Запань устанавливалась по всей ширине и, создавая некоторый подпор, играла роль поперечной стенки, прекращая доступ воды в водоворотные зоны.

Внедрение этих мероприятий позволило резко улучшить работу крайних агрегатов, увеличить их моторесурс и подачу. Анализ времени работы насосных агрегатов в 1976 году показал, что на I-й

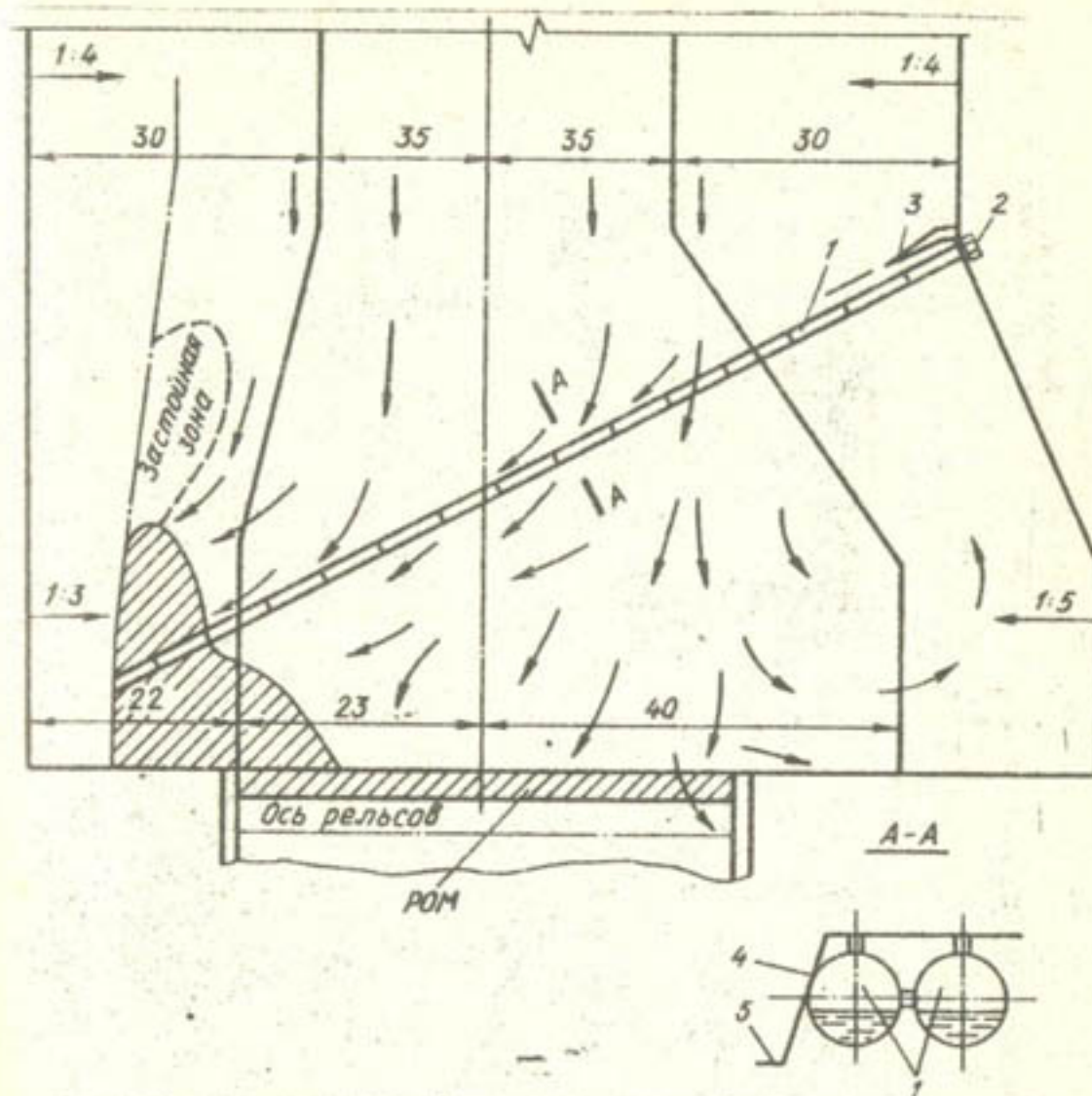


Рис.24. Установка запани в аванкамере насосной станции №1.
Место скопления плавника заштриховано.

станции оба крайних насоса - №1 и №6 превысили среднее число часов работы других агрегатов: соответственно 3591 и 4708 по сравнению со средним - 3520 часов. Тогда как на других станциях каскада моторесурс крайних насосов был значительно меньше, чем средних (табл.2Г).

В дальнейшем, ввиду отсутствия проектных сооружений, плавучая конструкция была размещена в расширяющейся части аванкамеры под острым углом к ее оси и могла оказывать выправляющее воздействие на поток только в районе 6-го агрегата. Поэтому в

полностью сезоны 1977-1978 гг. ресурс крайнего I-го агрегата снизился, а 6-го остался на высоком уровне, превышающем среднее число работ агрегатов на станции.

Таблица 21

Время работы агрегатов на насосных станциях ИМК после реконструкции аванкамеры на НС-I

Агрегат	НС-I	1976 год				1977 год				1978 г. III кварта		
		НС-I	НС-4	НС-5	НС-1	НС-4	НС-5	НС-I	НС-4	НС-5		
1	3591	2703	3539	2896	3133	2439	3634	3920	4184			
2	1710	4567	4604	3262	4107	4330	3126	4318	4449			
3	3681	4267	4550	2775	3690	4700	4380	3244	3369			
4	3237	3939	2382	3504	2769	4021	3274	4039	2171			
5	4187	2663		5608	4539	3695	3426	3246	2897			
6	4708	2762		4426	4618		4324	3053	784			

В дальнейшем на эту плавучую конструкцию было получено авторское свидетельство как на изобретение и качество устройства защиты от плавника (запани) и она была установлена в аванкамере, в первую очередь для ограждения насосной станции от плавящего мусора. Планники задерживаясь полкой запани, сбиваются скоростным потоком в сторону берма. Для лучшего сороудержания мусора и возможности его механической очистки замечено устройство в берме кармана. Следует отметить эффективность использования такой запани здесь и на существующих проектных системах. Криволинейная в плане запань с козырьком может устанавливаться перед расширением канала (аванкамеры) выпуклостью в сторону нижнего бьефа с целью расширения транзитного потока в соответствии с расширением русла и даже регулированием расхода воды. Прямолинейная же запань препятствует поступлению плавника и рыб к насосной станции. Запань монтируется на воде, при этом монтаж облегчается возможностью наполнения и спускания поплавковых элементов, позволяя точно проконтролировать их фланцевую стыковку и исправляя возможные неточности изготовления. Для этой цели, а также для придания поплавковому элементу 1 устойчивого положения при волнении воды, необходимые объемы заполнения отсеков водой колеблются в пределах 1/7 - 1/10 объема поплавкового элемента (рис. 24). С целью лучшего сдвига планника к берегу канала может устанавливаться малый центробежный насос 2 с насоской 3.

Горизонтальная полка запани 5 при монтаже фиксирует крайнее

нижнее положение листов отбойного козырька 4 при их стыковке и креплении.

Запань располагалась в канале под углом 30-40° к направлению движения потока. Плавник, содержащийся в поверхностных слоях, задерживался отбойным козырьком 4 и скоростью потока двигался вдоль запани вниз по течению. Мальки рыб, плавающие в верхнем слое, также отклоняются запанью и не поступают к всасывающим трубам насосов, причем часть рыб, прошедшая под козырьком, попадает в слой с меньшими скоростями, что позволяет им удерживаться в аванкамере. Горизонтальная полка 5 предотвращает подныривание полузаоплывшего мусора, влекомого потоком, огибающего снизу отбойный козырек. В случае отложения на полке 5 наносов или скопления древесного мусора с разветвленной корневой системой, возрастает статистическое давление на нижнюю часть отбойного козырька. При этом он поворачивается вокруг шарнира, сбрасывая скопившийся мусор или нанос.

За три года эксплуатации запани затраты ручного труда по очистке решеток сократились на 50-60%.

Использование гидравлической энергии для транспортировки мусора оказалось настолько эффективным, что необходимость в регулировке запани возникла не более двух раз в год.

Развитый вход в насосы оказался возможным смонтировать также на осевых капсульных насосах ОПВ 19000-15, на временной 7-й насосной станции ИМК (рис. 25), заполняющей Талимарджанское водохранилище во время строительства НС-7. Эта станция была запроектирована с боковым водозабором девяти погруженных насосов из канала. Уже первый пуск двух насосов в конце 1977 г. показал, что все вышеупомянутые гидравлические недостатки подвода потока к насосам проявляются здесь в полной мере. Перед насосами (особенно крайними) постоянно возникали вихри, через которые с шумом подсасывался воздух. В момент подсоса воздуха вибрация насоса была настолько велика, что его буквально "трясло" и эксплуатационный персонал вынужден был отключать агрегаты, чтобы не допустить их выхода из строя. Особенно интенсивные вихри и вибрации наблюдались у 9-го насоса. Поэтому он был демонтирован и перед его всасывающим диффузором устроен развитый вход из гречи и боковых бычков (стоек), аналогично входу во всасывающие трубы.

После повторного монтажа 9-го насоса с устройством развитого входа, его работа стала гораздо спокойнее. Крышка входа не позволяла воздуху прорываться к насосу, а расширение площади входного отверстия дало возможность создать условия для плавного подвода

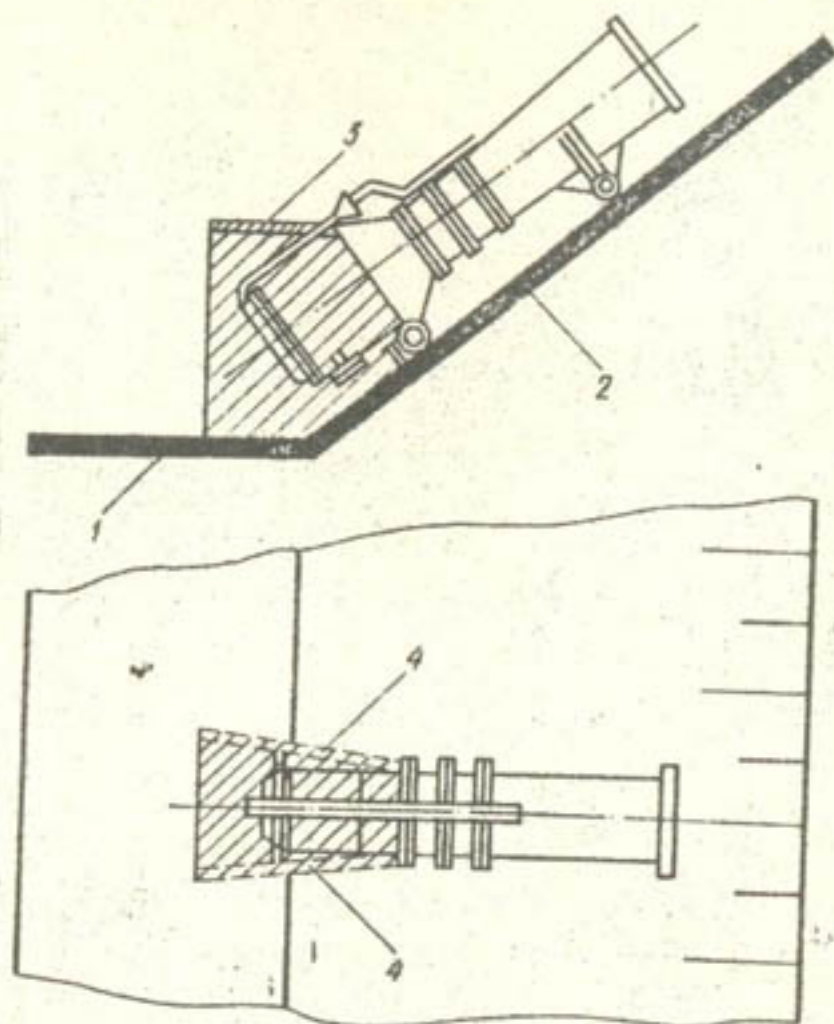


Рис.25. Установка развитого входа на всасывающий диффузор капсульного насоса. 1- дно канала (источника); 2- опорные рельсовые пути; 3- крыша развитого входа; 4- боковые стенки.

потока к рабочему колесу. Конструкция развитого входа, включающую крышу 3 и боковые стенки 4 с центральным углом $20-30^\circ$ была согласована с конструкторским бюро завода-изготовителя "Уралгидромаш", и затем монтировалась на всех капсульных насосах, устанавливаемых на откосе канала (рис.25). Улучшение гидравлических условий входа в насос №9 после перемонтажа позволило ему без ремонта отработать в сезон 1977-1978 гг. более 3 тыс. часов.

Внедрение развитого входа перед насосом №8 также позволило ус-

гранить вихреобразования и ликвидировать воронки с периодическим подсосом воздуха, резко снизить вибрацию насосов (табл.22).

Таблица 22

Вибрация насосных агрегатов ОПВ 19000-15 НС №7
чис КМК до и после монтажа развитого входа
перед насосами

№ агре- гата	Вибрация, мк		Примечание
	до монтажа в момент под- соса воздуха	после монтажа развитого входа	
Вертикальная			Замеры производились при одинаковых мощнос- тях агрегатов и уров- нях воды в водоприем- нике
9	810-860	21-27	
8	680-790	21-24	
Горизонтальная			
9	1300-1450	67-72	
8	1100-1300	59-62	

Анализ вибрационных характеристик агрегатов показывает, что после монтажа развитого входа на крайнем 9 насосе вибрация в горизонтальной плоскости уменьшалась примерно в 20 раз, в вертикальной - в 40 раз, хотя абсолютная величина вертикальной вибрации меньше горизонтальной примерно в 3 раза.

Создание новых гидравлических условий подвода воды к капсульным насосам позволило:

- снизить стоимость планово-предупредительных ремонтов агрегатов;
- уменьшить стоимость перекачивания воды крайними агрегатами.

Годовой экономический эффект от внедрения развитого входа, подсчитанный институтом Оргтехстрой, составил в 1978 г. 225,9 тыс.руб. Было достигнуто снижение себестоимости 1000 куб.м. перекачиваемой воды на 0,065 руб. В расчет не была включена стоимость дополнительно перекачиваемой воды из-за уменьшения простоя агрегатов. Из полученного эффекта 153,8 тыс. руб. составила экономия эксплуатационных расходов.

Внедрение изложенных рекомендаций и, в первую очередь, на НС-I плавучих регулируемых конструкций, формирующих прямой подход потока воды к всасывающим трубам, позволило получить годовой экономический эффект в размере 155,8 тыс.руб.

Это свидетельствует о необходимости и рентабельности реконструк-

ции аванкамер крупных насосных станций. Использование указанных рекомендаций ведущими отечественными проектными институтами доказывает возможность их широкого применения при проектировании. Так, например, в проектных крупных насосных станциях использованы донные стенки - в аванкамерах Талимардтанской, Джизакской; разбитый гребень - в аванкамерах Дунар - Днепро-Донецкой насосных станций. Рекомендации по стабилизации средних скоростей в аванкамере использованы при строительстве и проектировании Сегеро-Рогачинской, Кызыл-Ординской оросительных систем, Амударьинского канала и др. Для проектирования аванкамер крупных НС разработана специальная методика.

Необходимыми данными для гидравлического расчета аванкамер являются:

1. Сечение подводящего канала, расчет которого выполняется по известной методике в соответствии с "Указаниями по проектированию каналов мелиоративных систем".

2. Сечение водоприемного фронта насосной станции и площадь водоприемных отверстий всасывающих труб насоса, выполняемых в соответствии с требованиями каталога-справочника "Насосы осевые типа "О" и "ОП" и центробежные вертикальные типа "В".

3. Диапазон колебаний уровней воды в подводящем канале насосных станций, как функция водоподдачи (гидравлический режим канала).

Расчет производится по двум граничным условиям:

а) При отношении площади водоприемного фронта к площади живого сечения подводящего канала более двух следует предусматривать устройство донной поперечной стенки.

Расстояние стенки водоприемного фронта определяется по формуле:

$$L_1 = \frac{W_p - W_k}{W_p} \cdot a \cdot H_k$$

где W_p - площадь водоприемного фронта, кв.м;

W_k - площадь живого сечения подводящего канала перед аванкамерой, кв.м;

H_k - глубина воды у приемника при $Q_{\max}$, м;

a - безразмерный коэффициент, принимаемый при отношении:

$$\frac{W_p - W_k}{W_p} \leq 0,6 \text{ равным } a = 1,6-1,8$$

$$\text{при } \frac{W_p - W_k}{W_p} > 0,6 \quad a = 1,2-1,6.$$

Высоту донной стенки следует определять по формуле:

$$H_{ст} = \frac{W_a - K_1 \cdot W_k}{B_a}$$

где W_a - площадь живого сечения аванкамеры в выбранном створе стенки, кв.м.

K_1 - безразмерный коэффициент уменьшения средней скорости потока подводящего канала в аванкамере, принимаемый в пределах 1,15 - 1,3;

B_a - ширина дна аванкамеры в створе стенки (длина стенки по дну, м).

Донную поперечную стенку следует выполнять перпендикулярно сторонам центрального угла конусности расширяющейся аванкамеры. При этом допускается место перегиба донной поперечной стенки в плане передвигать от оси аванкамеры к ее боковым стенкам на расстояние.

$$L_2 = B_k + (0,05 - 0,1) B_a$$

где B_k - ширина дна канала.

Работа водоприемника может быть охарактеризована условиями подхода к нему потока. К крайним камерам поток подходит под некоторым углом, поэтому в них потери напора большие. Это связано с изгибом потока. При тесном обтекании оголовка возникает вихрь, уменьшающий живое сечение потока и создающий условия воронкообразования.

В результате внезапного торможения потока, набегающего на преграду (плоскость водоприемника), его кинетическая энергия переходит в потенциальную. Вследствие присущей потоку неравномерности распределения осредненных скоростей по глубине, гидродинамическое давление, оказываемое им на переднюю грань, в каждой его точке по вертикали тоже неодинаковое. Неравномерность давлений перед водоприемником создает неустойчивость элементов потока по вертикали и, таким образом, является источником образования течения ограниченного с одной стороны набегающим потоком, а с другой - "застройка" входной грани.

Образующиеся при этом нисходящие струи, достигнув дна, частично направляются к насосу, а частично растекаются по дну, принимая направление противоположное прямому потоку. Это обратное течение распространяется на некоторое расстояние от входной грани водоприемника и особенно интенсивно у крайних насосов.

Для ликвидации этих явлений при подборе оптимального изменения скоростного поля потока, нами определялись градиенты скоростного напора, представляющего разницу скоростных напоров по сечению:

$$\frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$$

Лабораторные исследования и расчеты показали, что благоприятный вход во всасывающие трубы центробежных насосов требует незначительного повышения градиента скорости: от 0,00354 до 0,00482 даже при сопряжении аванкамеры со зданием станции ныряющими стенками. При увеличении расхода, и особенно для

осевых насосов, потребовалось увеличение градиента скорости от 0,00309 до 0,0213 при сопряжении аванкамеры со зданием станции вертикальными стенками, как это имеет место на КМК.

Первоначально градиенты скорости для исследования двух видов аванкамер оказались почти одинаковыми. Однако при первом случае градиент увеличился в 1,36 раза, а во втором - в 6,9 раза, т.е. условия подвода воды для насосов с большими подачами должны быть немного лучше. Расчет скоростного поля в аванкамере подбором градиентов скорости поставяет большую сложность, связанную с необходимостью точно прогнозировать направление скорости. Показано определенное можно рекомендовать процент "застройки" водоприемника станции. Наши исследования показали, что для аванкамер процент застройки, т.е. отношение суммарной площади водоприемных отверстий всасывающих труб к площади входной грани должен составить не более 50%.

Для насосной станции Карши-I рекомендуемое увеличение высоты входа с 7 до 10 м, уменьшило процент "застройки" до 44,5%, что обеспечило прямой подход к всасывающим трубам без воронкообразования;

б) поэтому второе условие расчета формулируется: при отношении площади "застройки" водоприемника к площади водоприемного фронта более 50%, перед всасывающими трубами следует выполнять развитый навстречу потоку вход, с ограниченным градиентом скорости.

Аналитически это условие записывается неравенствами:

$$\frac{\sum w_e - \sum w_e}{\sum w_e} \cdot 100 \gg 50\%$$

$$\frac{v_c - v_i}{v_i} = 0,02 - 0,03,$$

где $\sum w_e$ - суммарная площадь водоприемных отверстий, кв.м;
 v_c - средняя скорость на входе в развитую часть, м/с;
 v_i - средняя скорость в конце развитого входа, м/с;
 l_n - длина развитого входа, м.

Длина развитого входа определяется из допустимого по условию отрыва потока угла наклона крыши развитого входа к горизонту:

$$l_n = k_2 (H_n - H_c),$$

где H_n - высота водоприемного отверстия развитого входа, м;
 H_c - высота водоприемного отверстия всасывающей трубы, м;
 k_2 - 1,3 - 2,5 - коэффициент градиента скорости.

Сопоставление конструкций водоприемников, полученных опытным и расчетным путем дало близкое совпадение. Эти данные позволяют считать, что для приближенных гидравлических расчетов полученные зависимости в настоящее время пригодны в том виде, в котором они даны здесь. Результаты гидравлического расчета аванкамер использованы при составлении "Методических указаний по проектированию аванкамер крупных насосных станций".

6. СИФОННЫЕ ВОДОВЫПУСКНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Каждая нитка напорного трубопровода оборудуется сифонным водовыпуском, сумма которых представляет собой водовыпускное сооружение, служащее для планного выпуска воды из напорных трубопроводов в отводящий канал. Выполняется он из монолитного бетона. Форма сифонных водовыпусков рекомендована научно-исследовательским институтом Гидропроект и выбрана на основании лабораторных испытаний двенадцати вариантов различных очертаний.

В состав сооружений входят шесть сифонов, облицованных металлом, начиная с переходного участка - от круглого сечения напорного трубопровода к прямоугольному в горло сифона, вплоть до нисходящей ветви, в пределах вакуумной зоны. Каждый сифон, для предотвращения обратного тока воды при остановках насосных агрегатов, а также для выпуска воздуха при пуске, с целью зарядки сифона, был оборудован тремя клапанами срыва вакуума конструкции Т.Мамышева.

Начальной опытной эксплуатацией каскада насосных станций, а впоследствии проведенными натурными испытаниями установлено, что пневмо - электро - механические клапаны срыва вакуума обладают рядом достоинств сказывающихся на работе насосных агрегатов, особенно в пуско-остановочных режимах. Однако они сложны и имеют серьезные конструктивные недостатки в виде низкой надежности электро-механического привода. Во время работы насосных агрегатов "плавание" тарелок клапана приводило к пульсации давления в системе, пружинные уплотнения не соответствовали температурным режимам работы, пневмопривод и система автоматики и защиты требовали частых переналадок. Все это отражалось на работе агрегатов, которые зачастую работали с неполностью заряженными сифонами и, соответственно, с уменьшенной подачей. При остановках насосных станций (НС) наблюдалась задержка срыва вакуума.

В случае задержки в открытии хотя бы одного из клапанов срыва вакуума (КСВ) срабатывало реле времени и система автоматически отключалась. На каждом клапане были установлены магнитные катушки автоматического включения и отключения. При пуске насоса

брызги воды, вылетающие из клапана, попадали на эти катушки и выгоняли их из строя.

Резиновый шнур, применяемый для уплотнения, под действием высоких летних температур ($47-54^{\circ}\text{C}$) за 150-250 часов терял эластичность и целостность, в результате чего герметичность клапана нарушалась. Для замены резинового шнура требовался демонтаж клапана с остановкой насоса, что в период поливного сезона было практически невозможно. Самопроизвольное открытие клапана и подсос воздуха привели, практически, к постоянной работе с открытыми клапанами и перерасходу электроэнергии.

Сложная схема с установкой большого количества электроаппаратуры, высоконапорной гидравлики, кабельной сети требовала постоянной наладки.

В период остановки насоса, в прогонной части наблюдалась повышенная пульсация давления, доходившая до 7-8 мм вод.ст. Зимой клапаны требовали утепления. Периодический "прорыв" воздуха под уровень ВБ в напорном бассейне приводил не только к пульсации подачи насосов и давления в потоке, но и к еще большему перерасходу электроэнергии.

Работа насосов с недозаряженными или полностью разряженными сифонами снижала их подачу от 5 до 20% и вызывала постоянный перерасход электроэнергии. В связи с этим, весь период эксплуатации велось исследование по доводке клапанов срыва вакуума. В 1975-77 гг. были опробованы почти все существующие конструкции.

В 1976 г. на всех шести насосных станциях пневмоэлектрические КСВ были заменены аэроционными или воздухопроводными трубами (ВТ) диаметром 1020 мм, высотой 8 м, установленными на напорных трубопроводах непосредственно у торцевой бетонной стены сифонного водовыпуска и соединенных с центральным отверстием клапана трубой диаметром 270 мм (рис.26).

При пуске в ход насоса уровень воды, подходя к аэрационной трубе, устанавливается по линии СД, запирая дальнейший выход воздуха и образуя водяной замок. При остановке насоса уровень обратного тока воды устанавливается по линии КЕ, открывая трубу и, впуская воздух ускоряет опорожнение напорного трубопровода.

Соединительная труба позволила значительно увеличить диапазон работы ВТ. На двух других ответвлениях вместо КСВ, по предложению С.И.Кеберле и О.Я.Гловацкого, были установлены вантузы для выпуска воздуха из протоочной части насоса в период его пуска (рис.27).

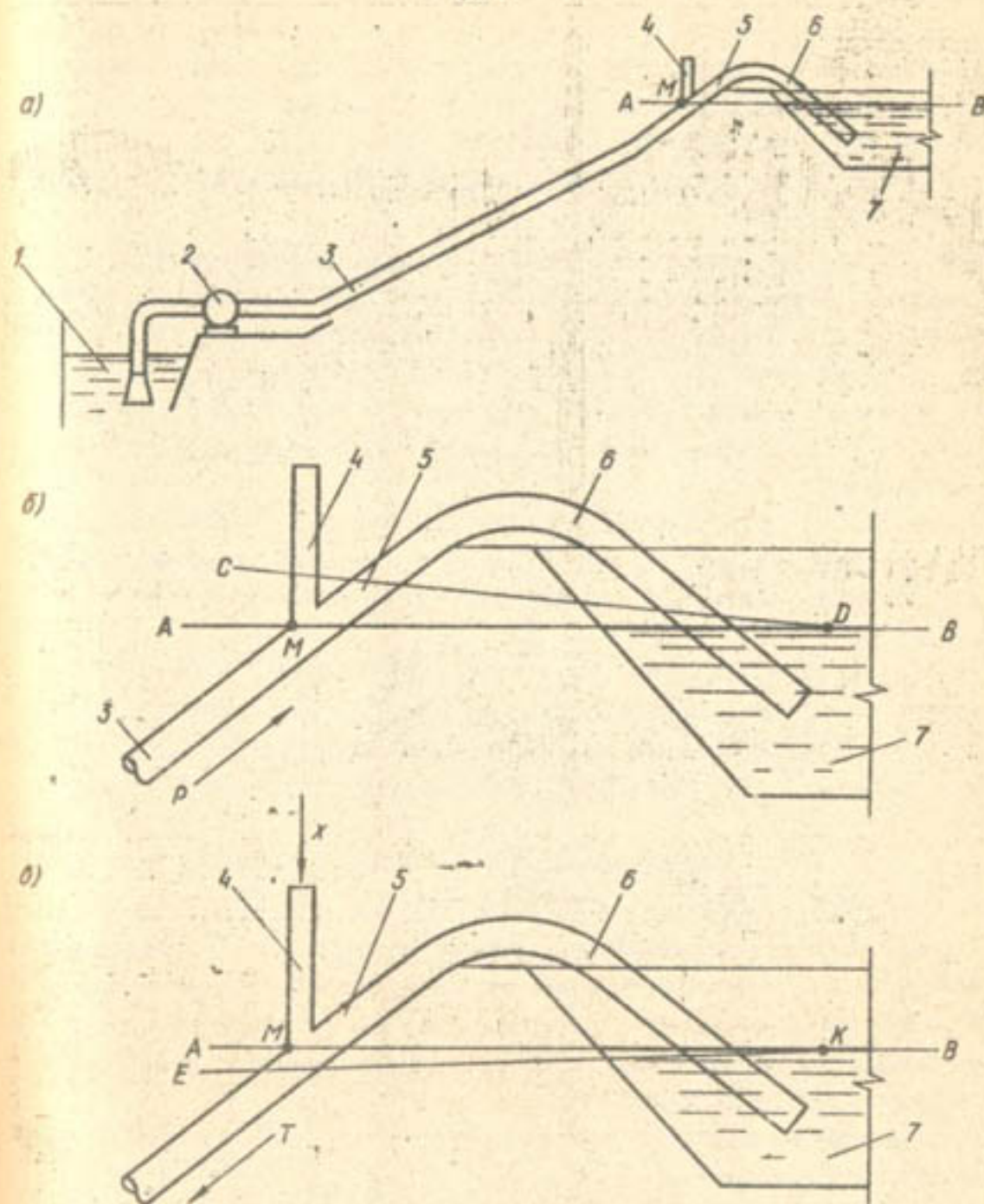


Рис.26. Принцип действия аэрационной воздухопроводной трубы: а) схема установки; б - процесс пуска насоса; в - процесс остановки насоса; Обозначения: I - источник, 2 - насос, 3 - напорный трубопровод, 4 - аэрационная воздухопроводная труба, 5,6 - восходящие и нисходящие ветви сифона, 7 - водовыпускное сооружение.

Замена устройства срыва вакуума изменила характер переходных процессов как в сифонном водовыпуске, так и во всем насосном блоке. При пуске насоса и подтоплении устья ВТ в проточном тракте стали наблюдаться значительные пульсации давления низкой частоты (1-2 Гц), достигающие в начальной части напорного трубопровода 50% статистического давления. Масса воды в ВТ, при выпуске воздуха через вантузы, создавала колебания.

При остановках насосного агрегата воздух медленно поступал через вантузы. Ввиду низкой врезки ВТ в напорный трубопровод, она поздно вступала в помощь впуску воздуха, затягивался процесс срыва вакуума, в результате чего при повышенных уровнях воды в отводящем канале, угонные обороты насосного агрегата достигали 150% номинальных. Врезать ВТ несколько выше, т.е. ближе к сифонному водовыпуску, было невозможно.

Зимой 1976-77 гг. в соединительных трубах образовались ледяные пробки, в результате чего при остановке на одном из насосных агрегатов срыв вакуума затягивался по времени, что могло привести к выходу агрегата из строя.

Для ликвидации этих недостатков по предложению Р.А.Очилова, в центральное отверстие горлового сечения сифона была вставлена вертикальная труба с вырезом с нижней части навстречу потоку. Это явилось началом окончательного принятия гидравлического устройства срыва вакуума.

6.1. Гидравлическое устройство срыва вакуума (ГУСВ)

Гидравлическое устройство срыва вакуума (рис.28), установленное на сифонных водовыпусках Каршинских насосных станций, смонтировано внутри сифонов. Оно омывается потоком, поэтому совершенно не нуждается в утеплении в зимний период, благодаря чему диапазон его применения значительно расширяется.

Роль запорного органа в нем выполняет вода и этим достигается полная герметичность.

Воздуховодная труба (ВТ) 2 монтируется на конце напорного трубопровода ниже вакуумной зоны на величину скоростного напора, создаваемого в том сечении напорного трубопровода, где она установлена. Сечение ВТ принято равным 7-8% от сечения напорного трубопровода. ВТ работает на принципе пьезометра, запорным органом в ней является вода. Она обеспечивает свободный выпуск воздуха из напор-

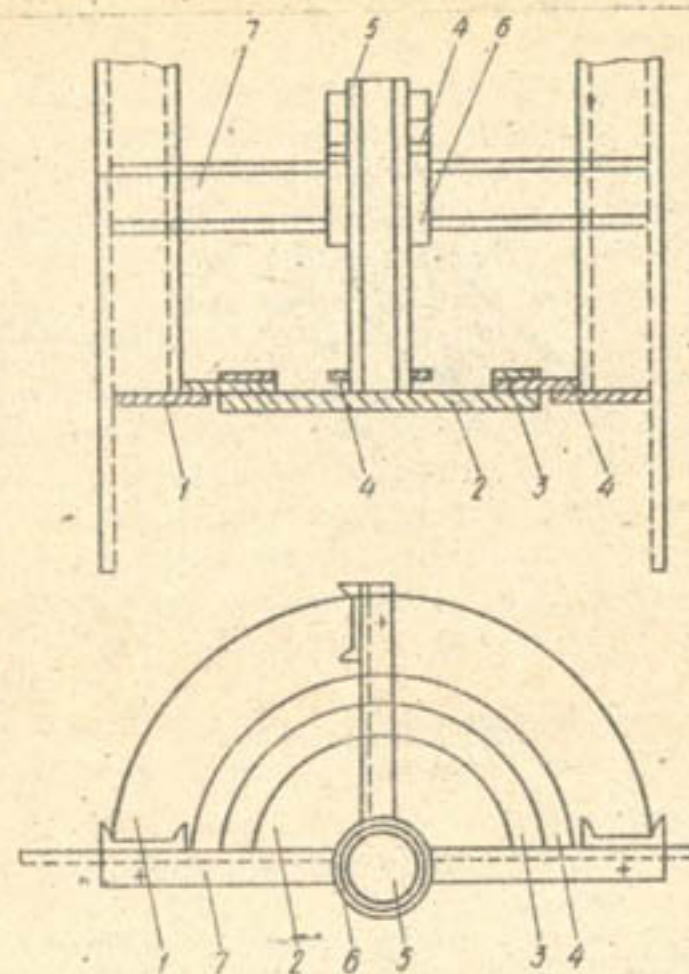


Рис.27. Механический вантуз: 1 - диск; 2 - тарель; 3 - кольцо; 4 - прокладки; 5 - штанга; 6 - подшипник; 7 - ригель.

ного трубопровода при пуске и дополнительно ускоряет впуск воздуха при опорожнении трубопровода во время остановки насоса. Гидравлический затвор 3, выполненный в виде скоростной трубы, состоит из стояка, установленного в горловом сечении сифона и нижней ветви скоростной трубы, которая монтируется на полувосходящей ветви открытой, концом навстречу потоку воды. Для обеспечения лучшего обтекания потоком, стояк имеет овальную форму.

Входное сечение скоростной трубы расположено ниже максимального уровня воды в отводящем канале на 1,0-1,4 м и имеет срез задних кромок по направлению прямого тока воды. Вантузы 4 представляют собой клапаны тарельчатого типа с уплотнительными прокладками из резины и расположены по обе стороны стояка. П

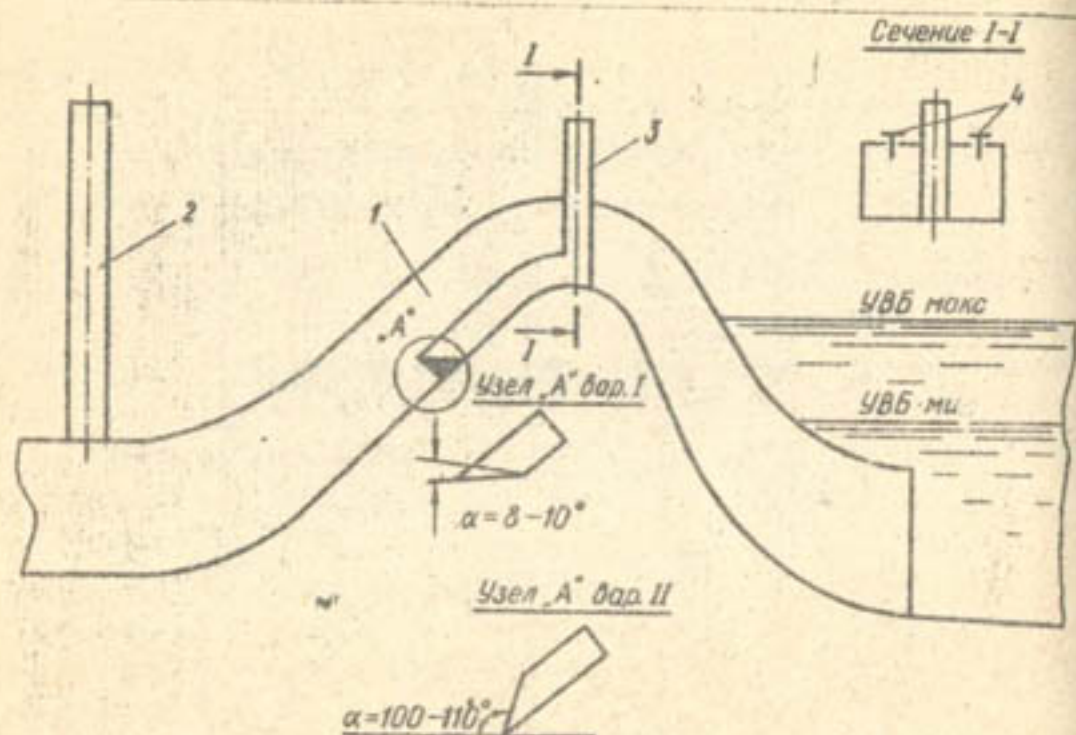


Рис. 28. Гидравлическое устройство срыва вакуума: 1 - сифон; 2 - воздухопроводная труба; 3 - гидравлический затвор; 4 - вантузы.

в процессе заполнения системы водой, в напорном трубопроводе и сифоне создается избыточное давление воздуха, под действием которого клапана-вантузы приподнимаются, обеспечивая свободный выход воздуха. После удаления воздуха из системы, атмосферное давление плотно удерживает тарелки в закрытом состоянии.

Процесс включения ГУСВ в работу происходит следующим образом: после пуска насоса, напорный трубопровод начинает заполняться водой. Вытесняемый при этом воздух выходит через воздухопроводную трубу (ВТ), скоростную (СТ) и вантузы. После затопления входных сечений ВТ и СТ, оставшийся в сифоне воздух начинает удаляться только через вантузы. Горизонты воды воздухопроводных и скоростных трубах достигают максимума и сифонный водовыпуск работает как водослив со свободной поверхностью. Это происходит до тех пор, пока в заземленном пузыре воздуха, под капором сифона имеется избыточное давление и вантузы открыты. Как только воздух удалится через вантузы, выталкивающая сила сжатого воздуха становится меньше массы подвижных частей. Их тарелки, под действием собственного веса опускаются, а закреп-

ленные на них резиновые прокладки атмосферным давлением прижимаются к седлам, поскольку сразу же после закрытия вантузов воздух из под них начинает выноситься потоком воды и в сифоне образуется вакуум. Такая конструкция вантузов обеспечивает надежную герметизацию сифонных водовыпусков. По мере выноса воздуха вакуум в сифонном водовыпуске растет, уровни воды в ВТ и СТ падают и при полной зарядке сифона (через 2-3 минуты) достигают определенных горизонтов. При этом следует, что в установившемся режиме очевидно под влиянием турбулентности потока горизонты воды сильно пульсируют, особенно в СТ.

При остановке насоса, воздух прорывается в полость сифона сначала через скоростную трубу и, распространяясь по потолку восходящей ветви сифонного водовыпуска до устья ВТ, обеспечивает срыв вакуума в сифоне через воздухопроводную трубу. Происходит разрыв сплошности потока. Воздуховодная труба, опорожняясь способствует более быстрому входу воздуха в верхнюю часть сифона. Опорожнение напорного трубопровода убыстряется без подсосывания воды из водоприемника через сифон.

Разработанное и внедренное гидравлическое устройство имеет ряд преимуществ перед существующими разновидностями устройств для срыва вакуума, а именно:

- простота конструкции, отсутствие подвижных частей;
- полная герметичность;
- высокая надежность срыва вакуума в сифоне при остановке насоса;
- не нуждается в утеплении в зимнее время;
- обеспечивает нормальный пуск насоса.

Внедрение гидравлических устройств для срыва вакуума на Каршинском магистральном канале взамен пневмоэлектрических дало снижение расхода электроэнергии на 3%, что составило около 0,5 млн. рублей в год. Кроме того, ГУСВ позволило отказаться от сложной системы автоматики.

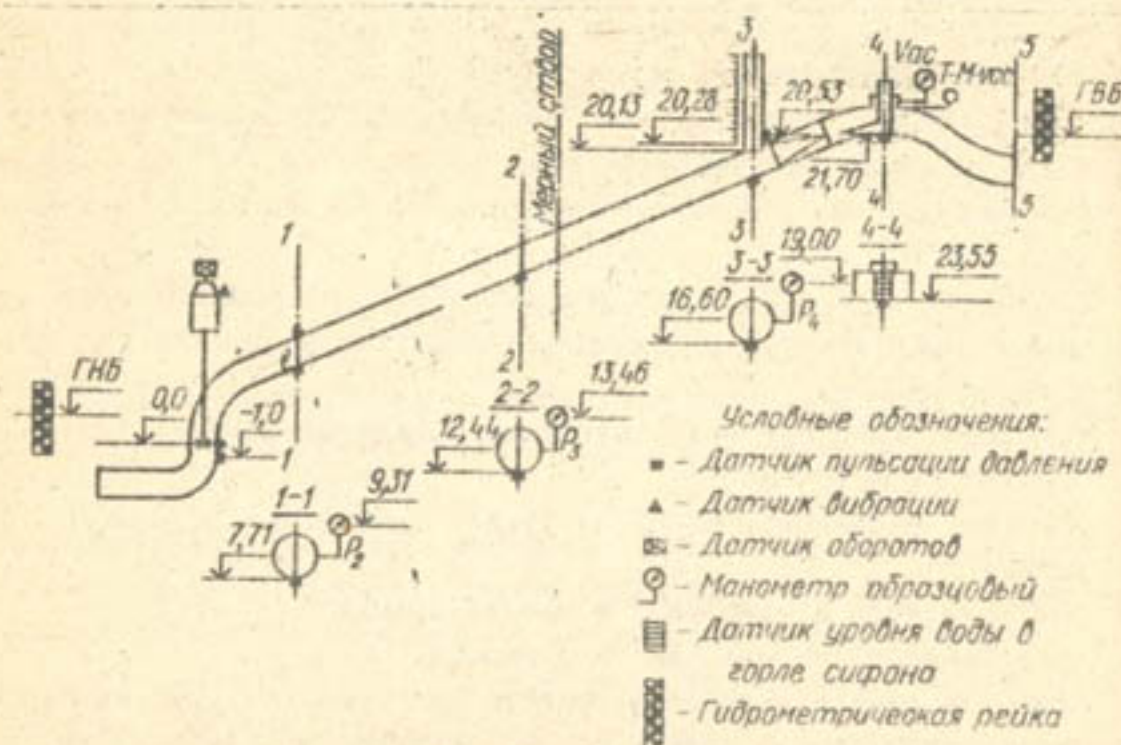
6.2. Натурные испытания

Целью проведенных испытаний явилась разработка рекомендаций по эксплуатации и совершенствованию гидравлического устройства срыва вакуума. В задачи научных исследований при проведении натурных испытаний работы системы насосный агрегат - напорный трубопровод - сифонный водовыпуск входило:

исследование эффективности и диапазона действия гидравлического устройства для срыва вакуума в сифонных водовыпусках; определение влияния этого устройства на работу насосного агрегата.

В табл. 23 приведены данные, характеризующие условия проведения натурных испытаний весной и осенью 1978 года.

Испытания схемы системы насосный агрегат - напорный трубопровод - сифонный водовыпуск и размещение измерительной аппаратуры вдоль исследуемого проточного тракта проводились по специально разработанной методике, согласованной с Управлением эксплуатации каскада, ВНИИТМ и НИС Гидропроекта (рис. 29).



ЭТ-Мус - Тена

Рис. 29. Принцип действия аэрационной воздуховодной трубы:
а - схема установки; б - процесс пуска насоса;
в - процесс остановки насоса.

Обозначения: 1 - источник; 2 - насос; 3 - напорный трубопровод; 4 - аэрационная воздуховодная труба; 5 и 6 - восходящие и нисходящие ветви сифона; 7 - водовыпускное сооружение.

Таблица 23.

Данные, характеризующие условия проведения натурных испытаний за период 1976 - 1978 гг.

Характеристика	Осень 1976 г.	Весна 1978 г.	Осень 1978 г.
1. Тип насосного агрегата	ОПН-260Г	ОПН-260Г	ОПН-260Г
2. Насосный агрегат, номер	6	5	5
3. Механизм разрыва лопастей разогретого колеса (гидравлич.)	Действует	Не действует, лопасти заварены.	Действует
4. Угол установки лопастей РК	от 0 до -6	-2	от 0 до -8
5. Клапан для срыва вакуума в сифонном водовыпуске, тип	Электромеханические клапаны конструкции Т.И. Ломашева и воздушная труба (предлож. САН.ИГи)	Гидравлическое устройство для срыва вакуума (ГУСВ)	Предложение УЗ КЗК и НС, ВНИИТМ и НИС Гидропроекта.
6. Горизонты воды:			
верхнего бьефа	от 20,55 до 23,10	от 22,10 до 23,30	от 22,10 до 22,40 м
нижнего бьефа	от 4,80 до 3,80 м	от 5,60 до 5,90 м	от 5,77 до 5,98 м
7. Статич ский напор. Нст	от 15,75 до 19,30 м	от 15,50 до 17,40	от 16,12 до 16,61 м

В результате обработки данных испытаний установлено, что режим пуска в ход насосного агрегата можно условно разделить на три этапа (рис.30):

- вход агрегата в синхронизм;
- заполнение напорного трубопровода;

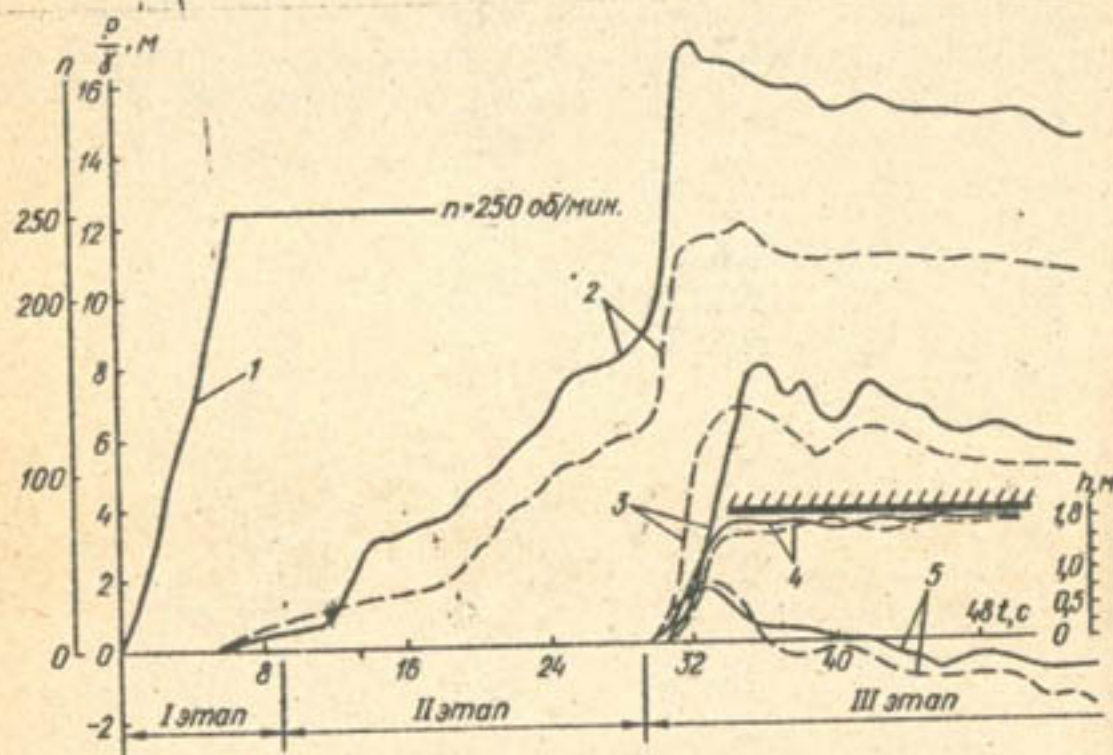


Рис.30. Характеристики пускового режима насосного агрегата :

- 1 - выход электродвигателя на синхронную частоту вращения;
- 2 - изменение напора насоса по мере заполнения напорного трубопровода;
- 3 - пульсация давления в напорном трубопроводе;
- 4 и 5 - изменение уровня воды и вакуума в горловине сифона.

зарядка сифонного водовыпуска.

Первый этап - выход электродвигателя насосного агрегата на синхронную частоту вращения. Время набора номинальной частоты вращения ($T_{\text{вых.}}$) насосом ОПИ-260 находится в интервале 7-12,5 сек. Величина $T_{\text{вых.}}$ во многом определяется моментом сопротивления насоса, который в значительной степени зависит от угла разворота лопастей рабочего колеса (φ) и в несколько меньшей мере - от высоты всасывания. С уменьшением угла разворота лопастей рабочего коле-

са насоса, а также с увеличением высоты всасывания, время выхода агрегата в синхронизм увеличивается. В табл.24 приведены данные натурных исследований в ноябре 1976 года, в апреле и октябре 1978 г., по $T_{\text{вых.}}$, углу разворота φ и горизонтам ВБ.

Таблица 24

Время набора синхронной частоты вращения $T_{\text{вых.}}$ в сек. в зависимости от φ и ГНБ

Угол разворота лопастей рабочего колеса	Горизонт нижнего бьефа, м				
	4,25	4,68	5,77	5,85	5,96
0					9,0
-2°			10,00		
-4°		10,50		8,00	
-5°	11,20				
-6°				12,00	
-8°					11,0

На рис.30 кривая 1 соответствует $\varphi=0^\circ$ и дает представление о характере набора частоты вращения агрегата.

Следует учесть, что при выходе двигателя на синхронную частоту вращения, усилия в лопастной системе оказывались большими только в процессе пуска, но и в других режимах. Отсюда следует, что частые остановки и пуски агрегата нежелательны.

Второй период пуска - заполнение напорного трубопровода водой. Длительность в 2-3 раза превосходит длительность первого и составляет около 20-30 с. На рис.30 кривые 2 демонстрируют постепенный рост напора при заполнении трубопровода. Однако окончание второго периода, соответствующее моменту подхода столба воды к гребню сифона, и начало третьего периода - зарядка сифонного водовыпуска - характеризуется резкими пульсациями давления в трубопроводе. Этому процессу соответствуют колебания усилий и моментов в лопастной системе, напряжения и мощности потребляемые электродвигателем. Кривые 4,5 показывают изменения уровня и вакуума в горле сифона в момент начала его зарядки. На рис.31 приведена пусковая характеристика электродвигателя, полученная на агрегате №5 при $\varphi=-2^\circ$, где кривая изменения мощности при пуске насоса, довольно близко совпадает с заводской (показана пунктиром) для электродвигателей с пик-

тованными полюсами. После выхода двигателя в синхронизм, потребляемая мощность резко падает до $0,6M$, а затем после непродолжительной раскачки, по мере заполнения трубопровода (с ростом напора насоса), постепенно растет до номинальной M (на 32-й секунде). К этому времени напорный трубопровод почти полностью заполняется водой. В последний момент (в начале третьего этапа), когда поток воды на своем пути перекрывает последовательно входные устья (сечения) воздухопроводной и скоростной труб и вентузов и соударяется с водой, затопившей выходное сечение сифонного водовыпуска, возникает гидравлический удар. При этом оставшийся, зажатый объем воздуха в горловине сифона не успевает выйти наружу через клапаны-вентузы и создает буферную зону, способствующую возмущению движущегося потока воды. Возникает ударная волна.

Наличие воздухопроводной и скоростной труб демпфирует ударное давление за счет выброса смеси воздуха и воды на высоту до 12-15 м от верха воздухопроводной трубы. На насосном агрегате гидравлический удар вызывает небольшие колебания потребляемой мощности и сопровождается резкими изменениями напора.

Увеличение мощности против номинальной (10,1-9,0 мВт) объясняется тем, что сифон в это время еще не заряжен, и это также подтверждается величиной напора насоса, который на 35 секунда после пуска определяется отметкой напора сифона. В это время закрываются вентузы, кривые давления и мощности идут на снижение, что свидетельствует о наличии зарядки сифона. Она наступает примерно на 150 с, т.е. 2,5 мин после начала зарядки, при снижении потребляемой мощности до $M_{н}$ и напора до $\frac{P}{\rho g}$ т.е., выше ГВБ на величину гидравлических потерь.

В конечном пусковом периоде в протоном тракте зарегистрированы небольшие, но ощутимые вибрации и удары, которые сотрясают напорный трубопровод и здание насосной станции.

Такова общая картина неустановившихся процессов при пуске насосного агрегата и зарядке сифонного водовыпуска. Время выхода электродвигателя на нормальную частоту вращения различно и в значительной мере определяется углом разворота лопастей рабочего колеса. На углах близких к нулевому, рабочее колесо набирает нормальную частоту за минимальное время - 7,5-8 сек. Аналогично на больших разворотах лопастей рабочего колеса насоса быстрее происходит заполнение напорного трубопровода и сифонного водовыпуска водой.

Естественно, такое быстрое наполнение трубопровода требует ускоренного забора большого количества воды из водоприемника. Это в свою очередь, приводит к значительному падению давления (вакуума) под рабочим колесом. Пуск на больших углах ускоряется.

Однако быстрое заполнение системы водой, большие скорости движения воды в ней при больших углах разворота лопастей рабочего колеса ($\varphi = 0$ $\varphi = -20^\circ$) вызывает значительные колебания давления и вибрации, нежели при углах разворота равных -6° и -8° . Поэтому пуск насоса рекомендуется проводить на отрицательных углах поворота лопастей рабочих колес. Но как показал опыт эксплуатации, пуск в ход насоса при нулевом или отрицательных углах возможен и не сильно отражается на прочности деталей агрегата.

6.3. Остановка насосного агрегата

Режиму пуска соответствуют условия, когда характерные параметры, преодолевая некоторую неустойчивость, набирают к моменту полной зарядки сифона свои номинальные значения со знаком плюс. Продолжительность этой неустойчивости относительно невелика (30-50 сек). Рассматривая зависимости режима остановки можно прийти к заключению, что стремление всех параметров к нулевым значениям связано со значительной неустойчивостью процессов. К тому же и длительность этой неустойчивости довольно продолжительна - несколько минут.

Малая продолжительность неустойчивости переходных процессов в режиме пуска объясняется тем, что в систему постоянно поступает определенный объем - энергия, потребляемая насосным агрегатом, выражаемая систематической подачей, нагнетанием воды.

Неустойчивость переходных процессов и ее неуправляемость в режиме остановки насоса, связана с отсутствием подведения управляемого количества энергии - убавлением воды в системе и замене ее воздухом. После отключения электропитания, насосный агрегат последовательно работает в пяти различных режимах: насосно, противотока, турбинном, угонном и тормозном.

Продолжительность каждого режима и характер его протекания также зависит от угла разворота лопастей рабочего колеса насоса, углов верхней и нижней бьефов, отверстий и открытия клапанов вентузов (рис.31).

После включения насосного агрегата начинается снижение частоты вращения РК, изменяется давление в напорном трубопроводе.

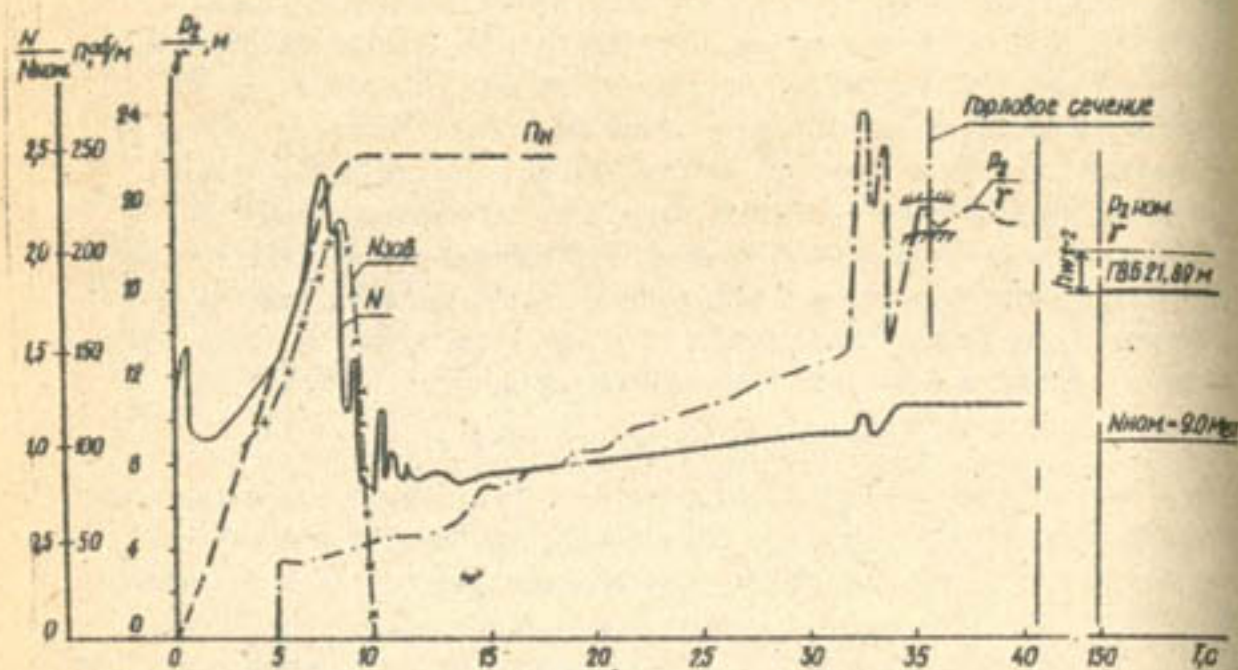


Рис.31. Изменение мощности и давления в напорном трубопроводе при пуске насосного агрегата $\gamma = -2^\circ$.

(кривая P_2) и скорость движения воды в прямом и обратном направлении. (кривая V).

На 10 секунду движения воды в напорном трубопроводе останавливается, после чего вода начинает двигаться в обратном направлении (режим противотока) к насосу, хотя тот еще вращается в прямом направлении, вплоть до 16-17 секунды. Взаимодействие рабочего колеса насоса и потока воды, движущегося в сторону НБ создает для гидравлической машины тяжелый режим работы. Перед остановкой рабочего колеса в напорном трубопроводе наблюдается повышение давления до 72-82% от его рабочего значения. При этом рост давления характеризуется пульсациями, что свидетельствует о значительных динамических нагрузках на лопасти рабочего колеса. После, примерно, 16 сек, рабочее колесо начинает вращаться в обратном направлении (начало турбинного режима). Примерно на 5 сек после отключения электродвигателя, начинает падать уровень воды в горловом сечении сифона, что означает начало опорожнения системы. Хотя

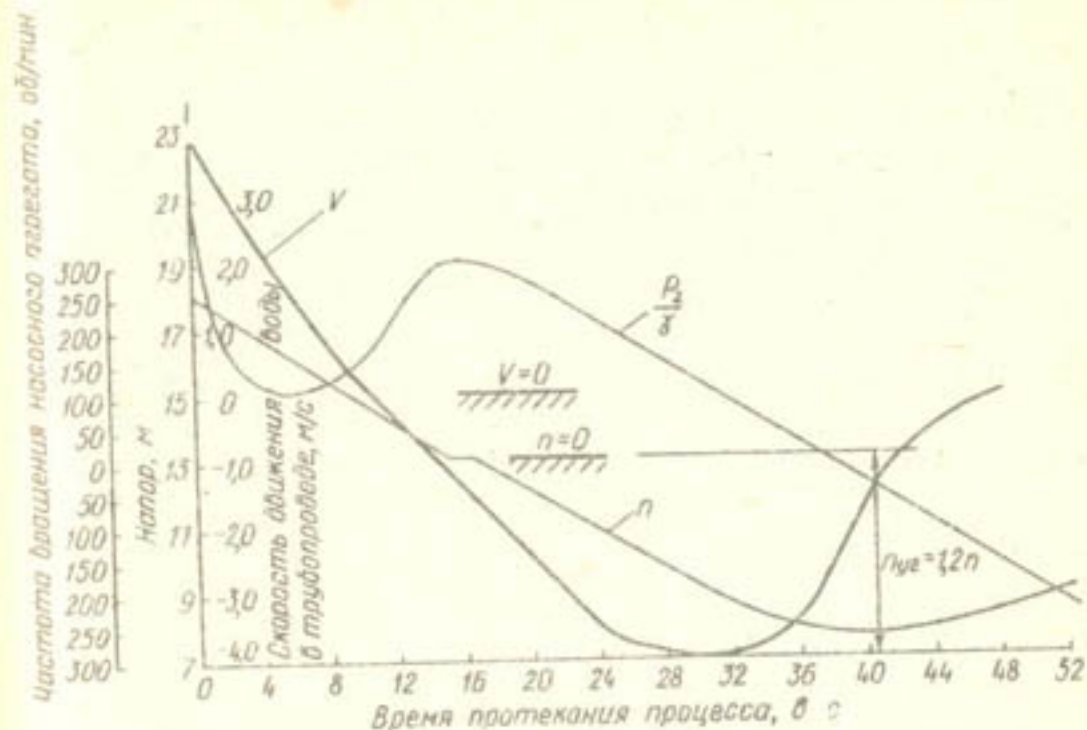


Рис.32 Изменение основных параметров насоса при его остановке: V - скорость движения воды в трубопроводе, м/с; $\frac{P_2}{3}$ - давление в напорном трубопроводе, м; n - частота вращения насосного агрегата, об/мин.

следует заметить, что первоначальный прорыв воздуха через скоростную трубу происходит уже где-то на 3 сек. На рис.33 показан характер срабатывания скоростной и воздухопроводной труб после остановки насосного агрегата, при угле разворота лопастей рабочего колеса $\gamma = -2^\circ$ (агрегат 1Б). При этом уровень воды в канале, ГВБ почти постоянен (22,2±0,1).

Турбинный режим работы насоса через 13-15 сек переходит в угонный. К этому моменту объем воды в трубопроводе оказывается почти сработанным и напор не превышает 6-8 м, поэтому угонный режим довольно быстро переходит в тормозной. В условиях нормальной остановки угонная частота вращения рабочего колеса почти не превышает номинального количества оборотов и лежит в пределах, равных 1,0-1,2 нормальной частоты вращения.

В турбинном режиме резко возрастают вибрации всех узлов и конструкций системы. Предшествующие пики вибрации (при изменении направления движения воды в трубопроводе и после раскручивания

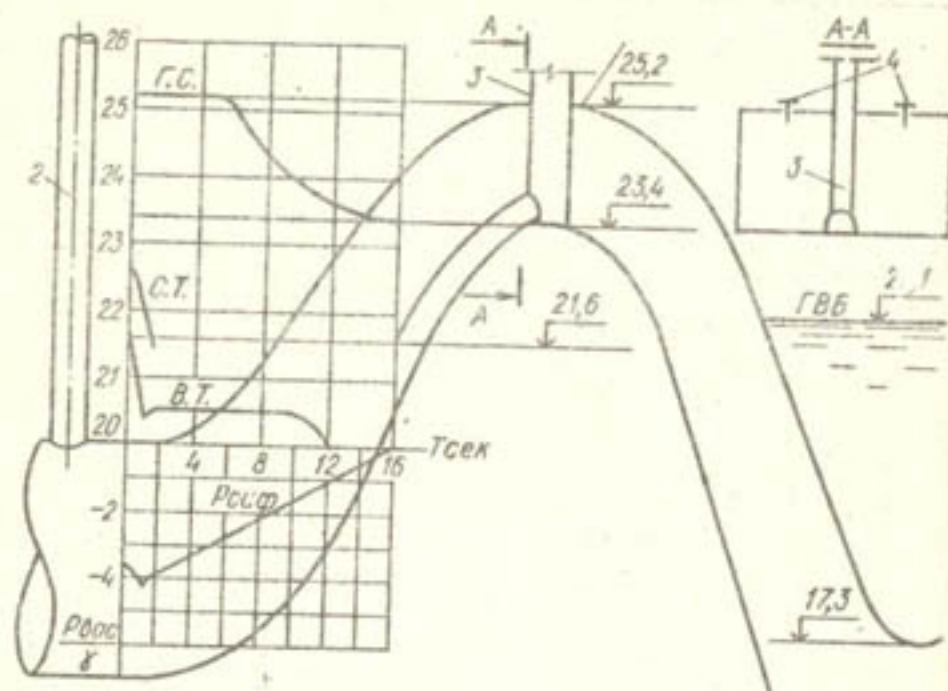


Рис.33. Изменение горизонтов воды и вакуума в гидравлическом устройстве и горловине сифона при остановке насоса.

Кривые: ГС — уровень воды в горловине сифона;
СТ — то же в скоростной трубе;
ВТ — то же в воздухоподводящей трубе;
 $P_{сиф}$ — изменение давления в сифоне.

рабочего колеса в обратном направлении) относительно непродолжительны, а по амплитудам существенно меньше, чем при переходе в угонный режим.

Тормозной режим довольно продолжителен, ему соответствует постепенное снижение уровня всех нагрузок и вибраций до нуля.

Такова общая картина переходных процессов при остановке насосного агрегата (рис.33).

6.4. Результаты натурных экспериментов

Как показал опыт эксплуатации и результаты исследований, замена клапанов срыва вакуума воздухоподводящими трубами ВТ значительно

улучшила условия эксплуатации насосных агрегатов. Однако добиться при этом полной герметичности сифонных водовыпусков при всех отметках горизонтов ВВ не удалось. Этот недостаток был устранен лишь в результате замены механических КСВ гидравлическими затворами, которые в сочетании с ВТ позволили создать гидравлическое устройство для срыва вакуума в сифонных водовыпусках насосных станций.

Помимо описанных выше исследований ГУСВ на насосном агрегате №5, его испытывали также на насосном агрегате №6 НС-1, где было установлено, что оно обеспечивает нормальную работу сифона и полную его герметизацию в рабочем диапазоне колебаний горизонтов воды в отводящем канале 22-23,4 м, а также исключает разрядку сифона при снижении горизонта воды ниже расчетного. Только в случаях, когда горизонт воды в отводящем канале опускается ниже отметки 22,0 м воздух начинает периодически прорываться через щели в сифон. По мере дальнейшего снижения горизонта, интервалы времени прорыва воздуха уменьшаются. Несмотря на то, что при этом возникает пульсация давления в проточном тракте, напор насоса увеличивается не более, чем на 0,3-0,5 м. Сифон не разряжается даже при снижении горизонта воды в отводящем канале до отметки 20,7 м, т.е. применение усовершенствованной конструкции, со щелями на входе, гидравлического устройства, позволяет более чем в два раза расширить диапазон работы гидравлического затвора и обеспечить нормальную работу сифонного водовыпуска практически в любом диапазоне колебаний горизонтов воды в отводящем канале.

Повышение уровня воды перед насосными агрегатами, работа каскада в напорном режиме улучшило условия эксплуатации и надежность работы оборудования, повысило их производительность. Кроме того, поддержание уровней воды в каналах в пределах колебаний 0,5-1 м позволило стабилизировать производительность НС по всему каскаду, что обеспечило эффективное использование гидравлического устройства для срыва вакуума в сифонных водовыпусках. Результаты натурных испытаний подтвердили надежность работы этого устройства (табл.25).

Таблица 25

Гидравлические потери в проточном тракте и в сифонном водовыпуске

Исходные данные			Гидравлические потери			
$H_0, м$	$Q, м^3/с$	$h_{тр}, м$	$h_{сиф}, м$	$h_{сиф}, м$	$h_{сиф}, м$	$h_{сиф}, м$
1	2	3	4	5	6	7
16,95	-8	29,65	0,44	0,33	0,75	0,74

Продолжение табл. 25

1	2	3	4	5	6	7
16,65	-6	33,53	0,61	0,41	0,74	0,75
16,90	-4	34,72	1,01	0,43	0,72	0,75
16,82	-2	39,17	1,17	0,48	0,64	0,77
16,95	0	41,54	1,22	0,75	0,81	0,72

Значения потерь в проточном тракте $h_{пр}$ и сифоне $h_{сиф}$ и коэффициентов сопротивления ξ, μ , приведенные в табл. 25, существенно ниже потерь, замеренных в сифонном водовыпуске с пневмоэлектрическими КСВ Т.И. Мамышева. Следует отметить также, что при установке скоростной трубы (СТ) внутри сифона, потери напора в сифонном водовыпуске незначительно увеличились поскольку на всех насосных станциях Каршинского магистрального канала сечение горлового участка больше сечения подводимого трубопровода: $W_{г} = 1,1 W_{гф}$.

Отсутствие запорно-предохранительных устройств на напорном трубопроводе делает режим остановки насосного агрегата весьма неблагоприятным из-за возникновения значительных нагрузок на лопасти рабочего колеса, обусловленных нестационарностью процессов опорожнения водопровода и заполнения его воздухом.

Анализируя изменения параметров насосного блока при пуске и остановке насосного агрегата, сифонный водовыпуск которого оборудован гидравлическим устройством для срыва вакуума, по данным исследований и опыта эксплуатации можно утверждать, что пуск и остановка насосных агрегатов проходили достаточно нормально. Наибольшая угловая частота вращения не превышает 1,4 номинальной и лежит в допустимых пределах.

6.5. Выводы:

1. Гидравлическое устройство описанной конструкции обеспечивает полную зарядку сифонного водовыпуска при работе насоса и надежный срыв вакуума при его остановке.

2. За счет полной зарядки сифона гидравлическое устройство обеспечивает проектный режим работы насосных агрегатов, что снижает расход электроэнергии на 3% и дает экономию по КИМ около 500 тыс. рублей в год.

3. Гидравлическое устройство обеспечивает полную автоматизацию насосного агрегата, позволяет отказаться от ранее действовавшей системы автоматики, сократить число обслуживающего персонала и значительно облегчает эксплуатацию насосных станций.

4. Натурные исследования энергетических и динамических качеств в переходных режимах уникального насосного оборудования на Каршинской насосной станции КИ позволили определить наиболее оптимальные условия эксплуатации агрегатов, доработать их конструкцию и найти наиболее надежную для устройства срыва вакуума в сифонных водовыпусках. Результаты этих исследований могут быть использованы при проектировании аналогичных насосных станций.

Несмотря на значительные преимущества гидравлического устройства для срыва вакуума, в условиях работы каскада Каршинских насосных станций, оно имело ряд недостатков, а именно:

зарядка сифона осуществляется при ограниченных горизонтах воды в верхнем бьефе, что не позволяет нормально работать при низких горизонтах;

имеет место дополнительное сопротивление от установки скоростной трубы в проточной части напорного трубопровода;

после отключения насосного агрегата, для срыва вакуума требуется некоторое, хотя и незначительное, время.

Поэтому Управление эксплуатации совместно с НИИ продолжает изыскание еще более надежных устройств приемлемых для данных условий. Внедряется новый клапан срыва вакуума электромагнитного типа с расширенным диапазоном действия. Продолжаются исследования по расширению зоны действия гидравлических устройств с воздухопроводными трубами.

7. УВЕЛИЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ

Насосное и гидромеханическое оборудование, после окончания строительства насосной станции или последующих капитальных ремонтов, принималось и вводилось в эксплуатацию в порядке, установленном правилами и инструкциями. Постоянная эксплуатация насосных агрегатов началась после приемо-сдаточных испытаний и проведения натурных испытаний головных образцов. При этом выявились экономически рекомендуемые режимы работы насосов, соответствие оптимальной подачи расчетной, допустимые максимальные и минимальные напоры, минимальный кавитационный запас и максимальный подпор из условия подтопления дренажной системы насосной станции, ограничение по КПД насоса, максимально допустимый пусковой напор насоса, пределы изменения рабочих углов установки рабочего колеса, область режимов с допустимыми уровнями вибрации и шума, максимально допустимая мощность двигателя.

Для обеспечения своевременного проведения планово-предупредительного ремонта постоянно контролировался уровень вибрации насосного агрегата в местах установки подшипников и пяты, камеры рабочего колеса, в местах крепления насосов, на верхней крестовине электродвигателя. При этом не только измеряли величину вибро-смещения, но и проводили частичный виброанализ, что дало возможность при работе агрегата установить дефектный узел без его раз-борки.

При работе насосных станций сталкивались с рядом аварийных ситуаций: короткое замыкание на шинах станции, сопровождающееся отключениями станции и полной остановкой насосных агрегатов; ава-риями в энергосистеме с отключением от нее насосной станции; гид-равлическим ударом, помпажными режимами и др.

В связи с этим были установлены ограничения по количеству пусков и остановок.

В ходе контрольных испытаний, проводимых и в настоящее время эксплуатационным персоналом совместно с СредазВНИИГидромаш, накоп-лен значительный статистический материал позволяющий оценивать техническое состояние оборудования.

Особое внимание при эксплуатации уделялось диагностике, т.е. определению технического состояния насосных агрегатов, не прибегая к их разборке. Давалась оценка возможности продолжения эксплуата-ции, а в случае проявления дефектов - производился своевременный ремонт, предотвращающий появления аварийной ситуации. Необходимость создания системы диагностирования диктовалась характером эксплуата-ции - круглогодичной работой насосных станций и требованием безос-тановочной работы всех агрегатов в период поливного сезона. Иссле-дования по созданию системы диагностирования проводились на агрега-тах типа ОПНО-260Г, установленных на насосных станциях № 2-6.

При наблюдениях и проводимых исследованиях обращено внимание на то, что вращающийся ротор НА является основным источником виб-рации, при этом возмущающие силы, порождающиеся ротором, имеют ме-ханическую, гидравлическую и электрическую природу. Узлами, излу-чающими вибрацию, являются верхняя и нижняя крестовины электродвига-теля, корпус верхнего направляющего подшипника, камера рабочего колеса. Выправляющий аппарат насоса заделан в массив бетонного бло-на и практически не является информатором вибрационного состояния агрегата (рис.34). Наиболее нагруженным (несущим) узлом в силовом отношении является верхняя крестовина двигателя, воспринимающая вес гидравлическую составляющую осевой вилы, радиальные усилия от верх-

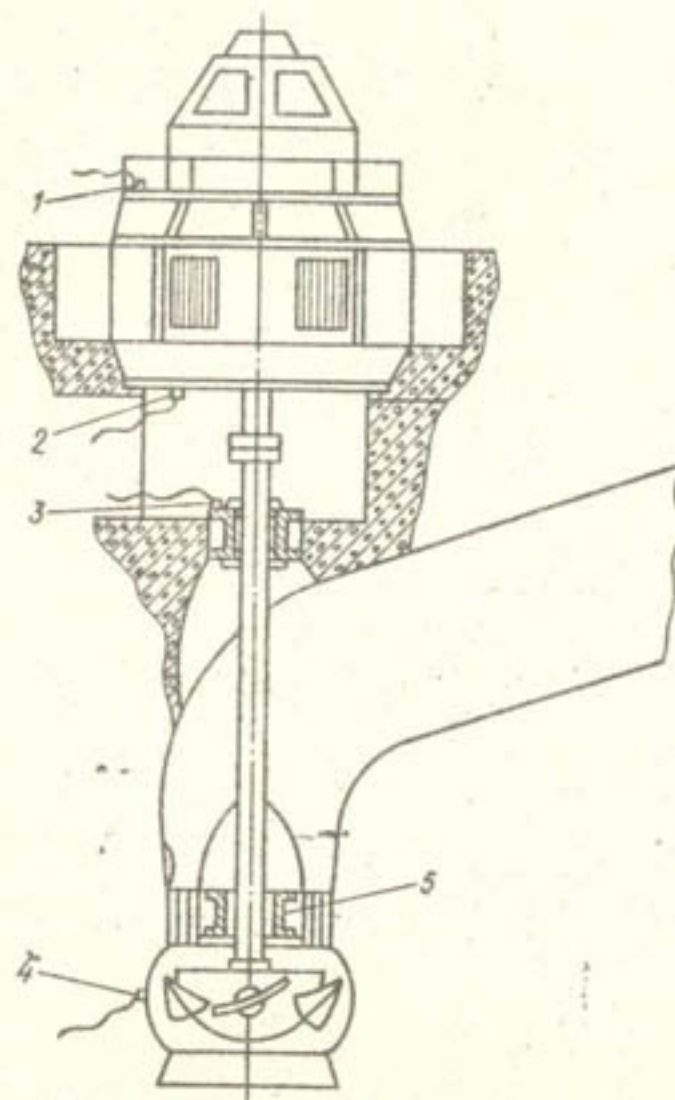


Рис.34. Схема установки вибродатчиков на насосном агрегате:
1 - верхняя крестовина электродвигателя; 2 - нижняя крестовина электродвигателя; 3 - корпус верхнего направляющего подшипника; 4 - камера рабочего колеса; 5 - корпус нижнего направляющего подшипника.

него направляющего подшипника электродвигателя. На нее передаются практически все возникающие силовые факторы, на что указывает широкий спектр частот (рис.35). Состав спектра вибрации на верхней крестовине следующий: в диапазоне частот 0-50 Гц - линейчатый; 50-100 Гц - смешанный; более - 100 - сплошной.

Вибрация, излучаемая камерой рабочего колеса, порождается потоком перекачиваемой воды. В спектре превалирует, в основном высокие частоты, интенсивность которых на порядок выше низкочастотных.

На корпус верхнего направляющего подшипника усилия от ротора агрегата практически не передаются. В спектре вибрации имеются только высокочастотные составляющие, что также объясняется взаимодействием корпуса с потоком перекачиваемой воды.

Нижняя крестовина электродвигателя установлена автономно от статора и воспринимает частично только радиальные усилия. За период эксплуатации насосов ОПЧ-260Г были выявлены следующие дефекты узлов, приводящие к нарушению работы агрегатов:

1. Излом линии вала во фланцевом соединении валов насоса и электродвигателя.
2. Насосность вала электродвигателя и насоса.
3. Неуравновешенность ротора электродвигателя и рабочего колеса насоса.
4. Насосное расположение осей ротора и статора электродвигателя (нарушение воздушного зазора между ротором и статором).
5. Уклон линии вала насоса.
6. Насосность вала насоса относительно расточки направляющих подшипников.
7. Повышенный бой втулки подпятника.
8. Неидентичность разворота лопастей.
9. Большой зазор в направляющих подшипниках насоса (при несвоевременной замене вкладышей).
10. Односторонний износ нижней шейки вала насоса.
11. Касание лопастей рабочего колеса камеры.
12. Отрыв лопастей рабочего колеса.
13. Неравномерная подбивка сегментов подпятника.
14. Выработка сферической поверхности винтов и тарелок подпятника.
15. Вогнутость (выпуклость) зеркальной поверхности диска подпятника.
16. Отрыв нижнего обтекателя рабочего колеса.
17. Межитковое замыкание полюсов ротора электродвигателя.

18. Межитковое замыкание обмоток статора.

19. Неперпендикулярность зеркального диска подпятника к оси вала электродвигателя.

20. Ослабление посадки втулки подпятника.

21. Ослабление крепления корпуса направляющего подшипника насоса.

Ставилась задача изыскания информативных диагностических признаков при появлении вышеуказанных дефектов. Для этого требовалось установить зависимость изменения интенсивности вибрации и спектрального состава при нарушении технического состояния насосного агрегата. Проведенными измерениями вибрации верхней крестовины электродвигателя на 30 агрегатах установлено, что спектральный состав однотипных насосов идентичен. Основной частотой спектра является оборотная частота - 4,16 Гц, другие составляющие спектра до

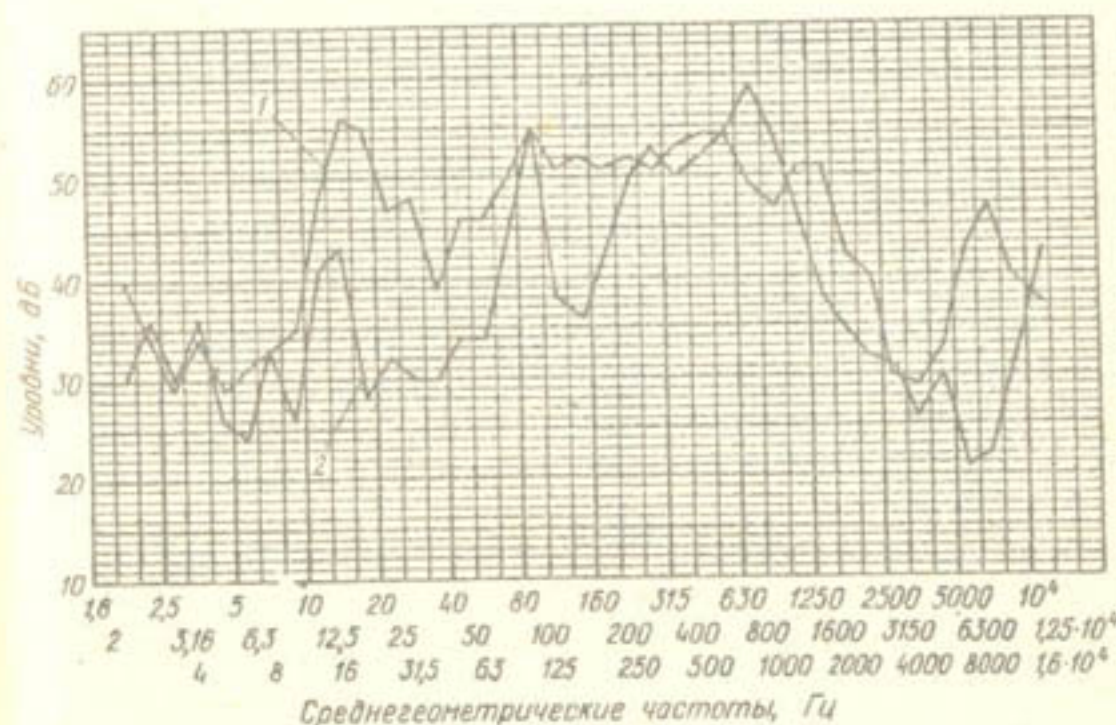


Рис.35. Спектр частот вибрации на верхней крестовине электродвигателя: 1 - уровень вибрации диагностируемого агрегата; 2 - уровень вибрации потенциально надежного агрегата.

50 Гц кратны основной частоте. Определение спектрального состава вибрации произошло в трех направлениях: вертикальном, радиальном и тангенциальном (табл.26).

Отсюда следует, что общий уровень вибрации верхней крестовины электродвигателя колеблется в широких пределах. В большинстве случаев появление дефектов на работающем агрегате сопровождалось увеличением общего уровня вибрации, что служило диагностическим признаком очереди системы диагностики.

Например, при отрыве нижнего обтекателя рабочего колеса, общий уровень вибрации по всем направлениям возрос, а при появлении дефектов механического характера - не увеличился; однако произошло перераспределение интенсивности вибрации по отдельным составляющим спектра (табл.27).

Следовательно, диагностическим признаком второй очереди диагностики является оценка интенсивности составляющих спектра вибрации. Появление дефекта не приводит сразу к аварийной ситуации, но достижение отдельными составляющими спектра вибрации предельной интенсивности является признаком предварительного состояния (табл.28).

Информативные диагностические признаки указаны не для всех дефектов насосного агрегата, т.к. спектры вибрации формируются, как правило, несколькими одновременно возникающими дефектами.

Проведенными исследованиями установлено:

1. Информационными диагностическими признаками дефектов в насосном агрегате является изменение общего уровня и спектрального состава вибрации верхней крестовины электродвигателя. Определение места и характера дефекта производится по изменению составляющих спектра вибрации.

2. Спектральный состав вибрации насосов идентичен для низкочастотного диапазона 0-50 Гц и представляет ряд гармоник, кратных основной частоте - 4,16 Гц.

3. Для определения технического состояния насосного агрегата методом вибрационной диагностики. Управлению эксплуатации необходимо иметь аппаратуру, позволяющую измерять как общий уровень вибрации, так и по отдельным составляющим частотам.

На основании опыта эксплуатации и проведенных натурных исследований, исходя из анализа останков насосных агрегатов за период эксплуатации, отключения разделены на четыре группы:

Первая - отключения из-за отказов, возникающих по разным при-

Таблица 26

Определение спектрального состава вибрации

Номера НС и НА	Общий уровень вибрации верхней крестовины двигателя, м/с по направлениям			Потребляемая мощность, кВт	Наработка нижнего подшипника к моменту измерения, час
	вертик.	радиальн.	тангенц.		
2,1	0,45	0,7	2	11,5	2511
2,2	0,32	0,85	1,2	9,8	0
2,3	0,3	0,55	0,85	11,3	2241
2,4	0,3	0,45	0,75	12,3	1757
2,6	0,45	0,65	0,8	11,4	839
3,1	0,5	0,39	0,57	11,2	187
3,2	0,7	0,47	0,9	12,5	950
3,3	0,29	0,55	1,4	11,2	4583
3,4	0,6	0,6	3,5	12	151
3,5	0,28	0,65	1,7	10,5	974
4,2	0,26	0,5	0,65	11,7	1136
4,3	0,3	0,5	0,45	11	337
4,4	0,3	0,55	0,95	9,8	2260
4,5	0,3	0,42	0,77	10,7	3364
4,6	0,45	0,75	0,85	9,7	30
5,3	0,22	0,55	0,7	9,5	350
5,5	0,2	0,4	0,65	10,5	2518
5,6	0,25	0,45	0,45	10	0
6,1	0,3	0,65	0,75	10	0
6,2	0,28	0,52	0,72	10	320
6,3	0,28	0,4	1,17	12,5	2200
6,4	0,22	0,36	0,42	10	3574

Таблица 27

Изменение интенсивности составляющих спектра вибрации при появлении дефекта в насосном агрегате НС-2

Состояние насосного агрегата	Общий уровень вибрации верхней крестовины эл. двигателя		Интенсивность вибрации по частотам (радиальное направление) м/с						
	12,48 Гц	16,64 Гц	20,8 Гц	24,96 Гц	29,12 Гц	33,28 Гц	37,44 Гц	41,6 Гц	45,76 Гц
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дефект отсутствует	0,65	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02	0,05	0,01	0,01

Продолжение табл.27.

I	2	3	4	5	6	7	8
Ослаблено крепление нижнего направляющего подшипника	0,65	0,01	0,02	0,015	0,02	0,01	0,1

Таблица 28

Оценка технического состояния насосного агрегата по спектру вибрации

Наименование дефекта	Направление измеряемой вибрации	Диагностический признак		Примечание
		составляющий спектр fц	интенсивность м/с ²	
I	2	3	4	5
Отрыв лопасти рабочего колеса	Радиальное Вертикальн.	25 50	0,12 0,15	Отрыв произошел через 120 час после измерения вибрации
Отрыв нижнего обтекателя рабочего колеса	Радиальное Тангенциальное	900 200	0,8 0,45	Агрегат работал без обтекателя
Ослабло крепление нижнего направляющего подшипника	Радиальное	33	0,1	При разборке агрегата крепления не было
Неравномерный воздушный зазор	Радиальное	100	0,1	
Отсутствие самоустановки сегментов подпятника	Вертикальн.	50	0,1	Сегменты подпятника раскалывались через 170 час работы
Уклон линии вала выше допустимого	Радиальное	21 21	0,1 0,24	
Межвитковое замыкание полюсов	Вертикальн.	100	0,2	Межвитковое замыкание имели два полюса
Износ нижней шейки вала насоса	Радиальное	21 25 33	0,05 0,08 0,06	

чинам, но требующих немедленной остановки агрегата; повышенная вибрация, сильно развитая кавитация с шумами и стуком, выход из строя гидрораспределителя, уплотнений подшипника насоса с большой течью, перегрев подшипника и направляющего подшипника электродвигателя, засорение системы охлаждения, ослабления крепления какого-либо узла неподдающегося восстановлению во время работы агрегата.

Вторая группа - отключения продиктованы работой каскада, т.е. вызвана остановкой агрегата на другой НС из-за значительного снижения уровня бьефов, зависящих в основном от подачи насосной станции №1, работа которой, в свою очередь, зависит от уровня воды в Амударье.

Третья - отключение по требованию энергосистемы, связанные с ее отказами, а также отключения от защиты в энергетической системе.

Четвертая группа - отключения агрегатов для профилактики с выходом в ремонт, осмотра, испытаний и т.д. Их можно назвать технологическими.

Опыт эксплуатации показал, что наибольшее число отказов и связанных с ними отключений падает на первую группу, которые часто производились в период вегетации, когда полив осуществлялся максимальным количеством агрегатов. Из этого следует, что надежность работы агрегатов, зачисляя от гидравлических условий подвода воды и конструктивного исполнения отдельных узлов еще не отвечает современным требованиям (табл.29).

Таблица 29

Характеристика отключений на насосных станциях ЮМК за 1976-1980 гг.

Характеристика отключений	Количество отключений, %									
	ОПВЮ-260					ОПВИ-260				
	1976	1977	1978	1979	1980	1976	1977	1978	1979	1980
I группа-вибрация, кавитация, отказы гидромеханического оборудования	52	49	74	80	75	57	52	36	43	42
II группа-низкий уровень р.Амударьи, низкий бьеф на насосной станции	1	14	4	3	8	2	23	46	42	4
III группа- по требованию энергосистемы, отказы энергооборудования	39	32	17	13	12	34	21	14	13	10

Продолжение табл.29

I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IV группа- для профилактики ремонта, испытаний	8	5	5	4	5	7	4	4	2	4	
V группа- прочие причины	36	27	12	9		27	17	10	11		

Помимо перечисленных четырех групп, есть еще одна - пятая, которая не поддается приведенному выше анализу. Это ошибочные отключения: по вине оперативной службы энергосистемы, диспетчерской службы каскада или дежурного персонала на НС. Прогнозировать эти отключения невозможно, но с повышением уровня подготовки персонала и требовательности к нему, количество этих отключений со временем убывает. Объясняется это тем, что эксплуатационный персонал насосных станций вводил в эксплуатацию уникальное оборудование, не имея ни опыта, ни даже приблизительно составленных инструкций (кроме заводских) по эксплуатации сложных механизмов применительно к местным условиям. И только сейчас, базируясь более чем на двенадцатилетнем опыте их эксплуатации стало возможным сделать некоторые выводы и дать рекомендации по эксплуатации каскада насосных станций. За последние годы ошибочные отключения имели место, в основном, при потере связи.

Как уже отмечалось, в первые годы эксплуатации сразу же дали о себе знать просчеты проектирования по выбору заглублений осей рабочих колес под уровни бьефа, а также не оправдал себя принятый в расчете проекта равномерный режим движения воды в канале, на основании которого были разработаны инструкции по режимам работы каждой насосной станции каскада. Поэтому, до окончательного принятия подпорного режима работы насосов имелось большое количество отказов и отключений.

Обнаружила свое несовершенство и система автоматики клапанов срыва вакуума (КСВ) на сифонных водовыпусках.

Из остальных недостатков, определивших свои условия эксплуатации насосных станций Каршинского магистрального канала, коротко остановимся лишь на некоторых.

Несмотря на то, что насосы КМК являются крупнейшими в настоящее время по подаче, должного анализа возможных осложнений в эксплуатации выполнено не было. Большие расходы, перекачиваемые насосами, привели к росту механических напряжений на лопастях рабочих колес и до-

вели к росту механических напряжений на лопастях рабочих колес и лопатках выправляющего аппарата и потребовали усиления механических свойств стали в этих деталях, и особенно кавитационной стойкости. Подобные условия эксплуатации сложились на головной насосной станции №1, где из-за низких горизонтов воды в Амударье, заглубление осей рабочих колес часто падало значительно ниже нормы.

В процессе эксплуатации гидроузла насосной станции и самого здания были обнаружены следующие недостатки:

затворы на СУС рассчитаны на напор не более 3 м. Маневрирование затворами может быть осуществлено только при частичном опорожнении канала, что невозможно было осуществить;

в периоды сильных морозов обледенение и замерзание воды, хотя и незначительно, нарушали работу водоприемных сооружений;

сороочистающее оборудование оказалось неработоспособным в условиях забора воды из Амударьи с большим содержанием плавающего мусора и требовало замены или коренной реконструкции;

отсутствие второго паза для шандаров потребовало проведения водолазных работ или перекрытия затворов на СУС, т.е. остановки станции, что в нашем случае было явно невозможным;

применение двух мостовых кранов, с целью уменьшения габаритов здания по высоте, следует считать нецелесообразным. Существующий вариант с применением мостовых кранов и специальных траверс создавал неудобство. Опыт первых лет эксплуатации показал, что крепление ротора к валу двигателя требует ежегодной профилактики, перетяжки и даже замены крепежных шпилек. Поэтому разборку агрегата начинали с демонтажа вала двигателя и пользовались одним мостовым краном. Однако, когда потребовалось демонтировать вал ротора без разборки, это оказалось сложным из-за заниженных потолков машинного зала, поэтому подъем осуществлялся в два этапа с перехватом, что значительно усложнило работы.

Опыт эксплуатации подсказывал ряд, на наш взгляд, интересных рекомендаций по совершенствованию проектных решений для аналогичных каскадов насосных станций. Вот некоторые из них.

Рекомендуется вместо двух температурных компенсаторов сальникового типа делать один в середине (при длине трубопровода не более 100 м). Тогда утечки воды из уплотнений можно будет отвести в лоток холостого водосброса. В существующей схеме протечки воды из верхнего и нижнего компенсаторов скапливаются около здания стан-

В первые годы эксплуатации сразу же дали о себе знать некоторые просчеты проектирования. Например, по плану каскаду насосы были установлены с малым заглублением осей рабочих колес под уровень нижнего бьефа. Очевидно, стремясь к максимальной экономии в строительных работах и капитальных затратах, проектировщики приняли к исполнению минимально допустимые заглубления осей рабочих колес. Это не могло не сказаться на работе оборудования. Насосы не только часто кавитировали и выходили из строя, но и довольно часто впадали в помпаж и не запускались. Опыт эксплуатации подсказал, что для обеспечения нормальной эксплуатации насосных агрегатов надо поднимать уровень воды в аванкамерах перед насосными станциями, что не только улучшает работу каждого агрегата, но и стабилизирует подачу НС, повышает эффективность их работы. В натурных испытаниях головных образцов насосов было установлено, что при угле -3° пускать насос с заглублением менее 7,5 м нельзя. При меньших углах необходимо большее заглубление, добавляя по 0,5 м на каждый градус угла разворота лопастей рабочего колеса. Эта ошибка проектировщиков была исправлена созданием подпорного режима по всей длине магистрального канала, за исключением головной части его до насосной станции №1, где уровень воды в аванкамере зависит от горизонтов воды в р. Амударье.

В 1975 г. начали проявляться недостатки конструкции и просчеты в расчете прочности рабочих колес насосов, которые в сочетании с тяжелыми условиями эксплуатации пагубно отразились на работе насосных агрегатов. В конце поливного сезона 1976 г. начались массовые аварии на насосной станции №1.

В декабре 1976г. произошла первая авария на агрегате №4 с поломкой болтов крепления лопастей, деталей механизма разворота лопастей, раскрытием камеры рабочего колеса.

При ревизии других насосов после аварии службой эксплуатации было обнаружено ослабление затяжки болтов крепления лопастей. Для их предотвращения, перед началом поливного сезона 1976г., на всех агрегатах болты были затянуты и зафиксированы "сухарями", приваренными в гнезде лопасти. Затем произошли еще несколько аварий. Было установлено, что возникновение аварий начиналось с обрыва верхних болтов крепления лопастей рабочего колеса.

На агрегатах №4 и №5 самопроизвольно отвернулись болты крепления верхнего фланца камеры рабочего колеса и ее вертикальных

стыков, что произошло очевидно в результате вибрационных и резонансных явлений и, как следствие этого рабочая камера насоса опустилась на 40 мм.

Из-за недостаточного подпора на НС-I, ввиду низких горизонтов воды в Амударье и малого поступления ее в подводящий канал в поливной сезон 1976 г., произошло 6 выходов из строя РК, в течение 1977 г. - два, в 1978 - один. Такие аварии сопровождались затоплением станции, выходом из строя не только рабочих колес, но и корпусных деталей насосов.

Комиссия, созданная для расследования причин аварий из представителей научно-исследовательских и проектных институтов, конструкторских бюро, заводов-поставщиков, эксплуатации установила, что основными причинами явились:

1. Недостаточное заглубление оси рабочих колес насосов. Опыт эксплуатации показал, что при подпоре меньше 4,3 м насосы работают в устойчивом кавитационном режиме с сильной вибрацией. Увеличение подачи насоса до 40-41 куб.м/с при работе 5-6 агрегатами, для их нормальной работы требуется увеличение подпора до 5,5-6 м, что не всегда обеспечивается при низких горизонтах воды в Амударье. Недостаточный подпор приводит к резкому увеличению усилий на лопастях рабочих колес, появлению микротрещин и опасности аварийного выхода колеса из строя.

2. Имели место случаи нарушения рекомендаций приемочной комиссии по эксплуатации насосных агрегатов при работе на насосной станции одного насоса и при постоянных горизонтах верхнего и нижнего бьефов, поэтому распространять их на все режимы работы НС было практически невозможно. Режимы работы одного и пяти насосов значительно отличаются, прежде всего, по гидравлическим условиям подвода воды к насосам.

В поливном сезоне 1976 года насосные агрегаты на НС-I работали при низких горизонтах воды с подтоплением 4-5 м в течение длительного времени. При этом из-за малого поступления воды из Амударьи по подводящему каналу, приходилось работать со свернутыми лопастями. Однако, как показал опыт эксплуатации и результаты испытаний головных образцов, чем меньше угол разворота лопастей рабочего колеса, тем должно быть больше заглубление оси рабочего колеса, т.е. при низких горизонтах и малых углах работа насоса

очень неустойчива и опасна, в насосе возникают сильные вибрации.

3. Сороудерживающие сооружения не были оборудованы решетками и сороочистительными машинами. В связи с этим плавник, подходящий к входу во всасывающие трубы насосов усугублял гидравлику подвода. Аварии в августе-сентябре 1976 г. произошли, в основном, по причине обрыва лопастей на рабочих колесах, проработавших разное количество часов от 2 до 15 тыс, поэтому объяснить их износом отдельных деталей нельзя. Вывод был один - рабочие колеса насосов ОПИ-260Г не выдерживают условия эксплуатации на НС-1. Поскольку эти условия изменить было невозможно, пошли по пути усиления конструкции рабочего колеса.

Аналогичная крупная авария произошла и на насосе ОПИ-260 №6 НС-2 19 июня 1979 г. Из-за сильного удара в районе камеры рабочего колеса, появилась протечка воды через корпус насоса, сначала был обнаружен разброс мощности и вскоре уменьшились подача и мощность, агрегат был аварийно остановлен. В период, предшествующий аварии, на НС-2 работали 6 агрегатов в форсированном режиме, с максимальной подачей 39 куб.м/с, т.е. общей подачей 234 куб.м/с. К моменту аварии на НС-2 находились в работе 5 агрегатов, на №2 проводилась замена направляющих подшипников насоса.

После остановки оперативный персонал зашандорил агрегат, перекрыв затворами доступ воды во всасывающую трубу, и приступил к откачке воды затопившей помещения станции. Было обнаружено, что два пера лопасти рабочего колеса насоса оторваны: первое - по ходу вращения с цапфой и второе - без цапфы.

Камера рабочего колеса подвергалась винтообразной деформации. На внутренней поверхности имелись вмятины, вызванные пластической деформацией, кавитационные разрушения.

Причиной аварии в данном случае явилось разрушение болтов крепления пера лопастей к цапфе, с зоной развития трещин по площади их поперечного сечения.

Впоследствии ВНИИГидромаш разработал новые жестколопастные (с пятью лопатками) колеса. Однако Управление эксплуатации ЮМК и НС не может согласиться с мнением, что жестколопастные рабочие колеса будут более устойчивы к вибрации. Сохранение недопустимого уровня вибрации вызовет аварии на других частях насосов. Это тем более вероятно, что на низких частотах на работающих агрегатах наблюдаются явления резонанса.

Исходя из опыта эксплуатации Каршинского каскада, по нашему мнению, усилия должны быть направлены на максимальное улучшение гидравлических условий входа потока во всасывающие трубы. Должно быть разработано СУС, исключающее образование аварийных порывов на решетках (до 1-1,5 м). Заслуживает одобрения принятое решение большего заглубления аналогичных насосов на головной Каховской насосной станции. За весь период эксплуатации УЭ ЮМК и НС принимало все меры, чтобы обеспечить оптимальный уровень воды в аванкамере насосной станции №1. Опыт эксплуатации показал, что необходимо решение вопроса подзабора из Амударьи поставить так, чтобы в голове канала, в отстойнике, могли выпадать 25% самых крупных наносов, а остальные 75% должны транспортироваться до самого поля, так как взвеси, которые транспортирует Амударья, являются органическим удобрением, за счет чего увеличивается урожайность хлопчатника. Одновременно снижаются объемы механической очистки в голове канала. Как показал опыт эксплуатации, при форсированных расходах 75% взвеси перемещаются до конца канала и в промежуточных каналах отложений не имеется.

Важность учета гидравлических процессов в аванкамерах подтвердил опыт поливного сезона 1979 г., когда на насосных станциях №2-3 участились случаи аварийных отключений агрегатов.

Установлено, что при пропуске повышенных расходов в промежуточном канале и аванкамерах этих станций нарушались нормальные гидравлические условия работы, что приводило к увеличению завихрения потока и неравномерности подвода воды к агрегатам. Это вызывало их сильную вибрацию и необходимость принудительного отключения. При этом наиболее интенсивно возрастали общие уровни вертикальной вибрации агрегатов (в 2-2,8 раза). В радиальном направлении возрастание вибрации составляло 1,6-1,8 раза; тангенциальном - 1,4-1,6 раза. В описываемый период интенсивных срывов режима работы агрегатов был отмечен ряд особенностей не наблюдаемых ранее:

в дневное время вибрация вертикального направления удерживалась на нормальном уровне. Возникающие срывы режима отмечались в ночное время, когда вертикальная вибрация значительно превышала норму. К утру уровень вибрации снижается;

спектрограмма отражает уровень работы агрегатов №6 и №6 насосной станции №, дает диапазон колебаний ± 3 дБ, однако ожи-

даемые срывные явления происходят не на агрегате с большим уровнем вибрации, а на крайнем шестом. Отклонение крайних агрегатов было зафиксировано в 6-7 раз больше, чем средних. В момент наибольшего возрастания уровня вибрации процесс остановки носил строго последовательный цепной характер: 6-5-4-3-2-1 и начинался обычно с крайнего агрегата.

По мнению специалистов УЭ ЮМК и НС в рассматриваемом случае наблюдалось наложение причин возникновения вибрации, в том числе высокая температура перекачиваемой воды (до 30°), неравномерное засорение решеток СУС (увеличивающее сбойность течения после СУС), периодический подсос воздуха через водоворотные зоны у приемных камер, износ профиля лопаток выправляющего аппарата, кавитационные явления. Возможно, при описываемых явлениях наблюдалось явление резонанса, когда колебания, возникающие в потоке при кавитации, особенно низкочастотные, передавались корпусным деталям насоса, что при достаточно больших возмущающих силах вызывало вибрацию.

Рассмотренные выше явления подтверждаются при осмотре узлов насосов. Наиболее подтвержденными кавитациями оказываются входные кромки лопастей рабочего колеса и лопаток выправляющего аппарата. Отсюда следует, что основной мерой защиты осевых насосов от кавитации и обеспечения нормальных режимов их работы является обеспечение достаточного заглубления оси рабочего колеса.

Другими мерами борьбы с кавитацией является создание благоприятных гидравлических режимов подвода воды к насосам из аванкамеры.

Также положительным явилось принятое и реализованное решение сосредоточить плавающий мусор в одном месте с последующим удалением его механическим путем, с помощью плавучей запани.

7.1. Организация и проведение ремонтных работ

Опыт эксплуатации насосно-силового оборудования показал, что только при хорошо налаженной ремонтной службе и наличии ремонтных баз можно организовать бесперебойную работу каскада насосных станций и обеспечить плановую подачу воды.

Специализация и централизация ремонта оборудования нашла применение на многих гидроэлектростанциях и крупных каскадах насосных станций у нас в стране, в том числе на Карпинском магистральном канале. Практикой установлено, что специализированное предприятие

должно в полном объеме выполнять работы, связанные с капитальным, средним и текущим ремонтом оборудования, а также нести ответственность, совместно с эксплуатационным персоналом, за работоспособность насосных станций и каскада в целом. Ремонтные предприятия расположены вблизи каскада и имеют производственные базы для изготовления запасных частей, приспособлений и нестандартного оборудования, используемого для ремонта узлов и деталей насосно-силового оборудования на месте, т.е. на НС без его демонтажа.

Исходя из опыта эксплуатации, ремонтные работы разделены:

1. Ремонт механической части основного и вспомогательного оборудования.
2. Ремонт электрической части.
3. Ремонт контрольно-измерительных приборов.
4. Пуско-наладочные работы.

Графики ремонта составлялись совместно и контроль за их выполнением осуществлялся под единым руководством. На каждой насосной станции созданы ремонтные бригады, которые подчиняются ремонтному управлению (Р.У.) У главного энергетика в подчинении находится группа специалистов электроцеха, лаборатории контрольно-измерительных приборов и аппаратуры (КИПиА), а также специализированное управление пуско-наладочных работ (СУНР). Капитальный ремонт узлов насосного оборудования осуществляется в центральных ремонтных мастерских (ЦРМ).

В 1979 г. был введен хозрасчет на выполнение всех ремонтных работ - создано хозрасчетное управление (ХРУ), которое в 1983 г. преобразовано в ЮМК.

Графики загрузки ремонтников по объему работ по годам почти стабильны (рис.37). Как видно из графика объем работ в конце и начале календарного года возрастает. Поэтому при составлении графиков ремонта объемы работ выравнивались за счет наладки вспомогательного оборудования, а также подготовительных работ к ремонту основного оборудования.

По опыту эксплуатации все механические работы, связанные с ремонтом насосного агрегата, выполнялись одной и той же бригадой или звеном.

Исходя из опыта эксплуатации насосных агрегатов на ЮМК установились следующие межремонтные сроки: до текущего (профилактичес-

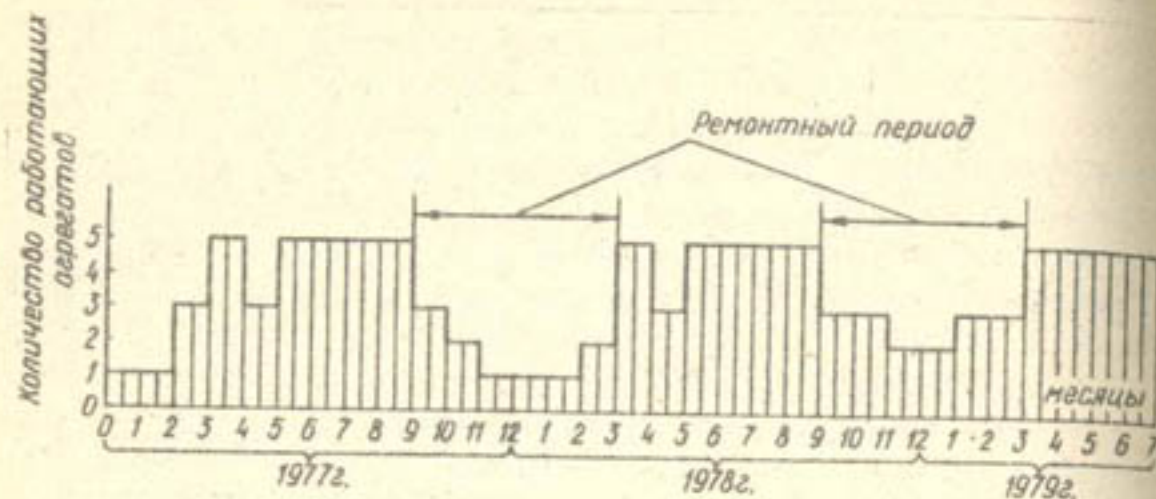


Рис.37. График работы насосных агрегатов за 1977-1979 гг. с выделением основного ремонтного периода.

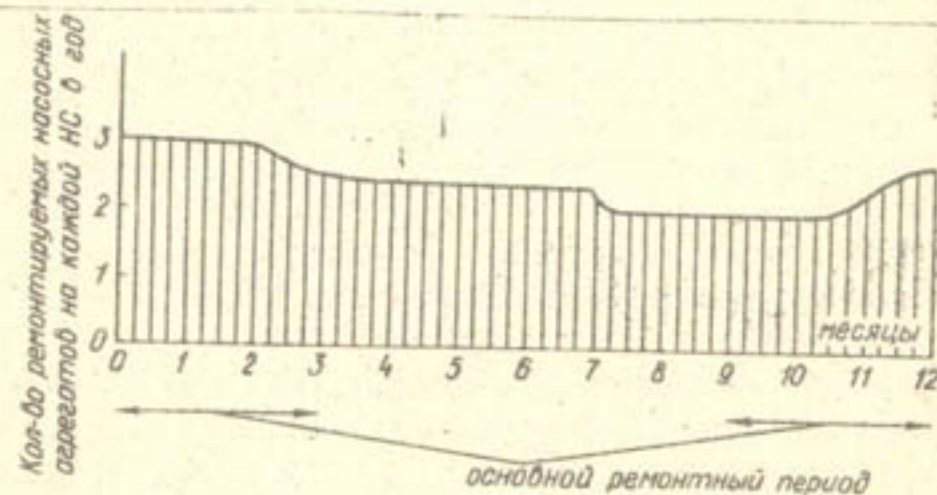


Рис.38. Распределение ремонтных работ на каскаде по месяцам.

кого) ремонта - 900 часов, до среднего - 3600, капитальный ремонт делается обычно через 10-15 тыс. часов.

В текущем ремонте, как правило, производится осмотр узлов

и их креплений, и в случае необходимости производится их регулировка. В среднем ремонте производится замена износившихся деталей: подшипников, сальников, уплотнений и т.д. Капитальный ремонт предусматривал полную разборку агрегата и ремонт или замену износившихся деталей.

Все виды ремонтных работ проводились в соответствии с разработанными планом и инструкциями.

Для поддержания работоспособности основного насосно-силового и вспомогательного оборудования насосных станций разработана система планово-предупредительных работ (ППР), тесно увязанная с графиком водоподдачи. В нее входили организационные и технические мероприятия по уходу, надзору, обслуживанию, чередованию и периодичности плановых, средних и капитальных ремонтов с целью обеспечения безотказной работы насосов (рис.38).

Система ППР предупреждала износ оборудования, облегчала предварительную подготовку всех ремонтов. Плановые и профилактические осмотры обеспечивали сохранность оборудования и длительную безаварийную работу.

7.2. Износ и способы восстановления основных узлов и деталей насоса.

Основным условием, обеспечивающим надежность и безотказность работы каждого насосного агрегата, кроме безусловного выполнения требований эксплуатации является качественный ремонт. Для любого оборудования в период проектирования предусматривается его работоспособность, определяющая по следующим признакам:

1. Восстановление на месте без демонтажа.
2. Восстановление путем демонтажа, ремонта в мастерских и последующего монтажа.

3. Восстановление путем замены новым оборудованием.

Если выполнение этих работ предусмотрено в проекте, то эксплуатация насосного оборудования обходится с наименьшими трудовыми затратами и расходами. Опыт эксплуатации насосного оборудования КМК показал, что эти работы в проектах не учтены. Ниже проводятся принятые способы восстановления основных деталей и узлов насосных агрегатов.

7.2.1. Рабочие колеса

На агрегатах каскада насосных станций КМК установлены два типа рабочих колес: ОП10 и ОП11, различающие числом лопастей, профи-

лями и конструкцией крепления пера лопасти. На насосах ОПИ-260Г, установленных на НС-1, перо лопасти крепило к фланцу пятью болтами, причем два болта были расположены сверху и три снизу. Такая конструкция не оправдала себя. Это привело к авариям из-за отрыва лопастей, последовательно на агрегатах 4, 6, 2, 3, 5 и была заменена.

Наиболее частыми дефектами рабочего колеса, помимо отмеченных являлись: кавитационно-коррозионные разрушения, стирание твердыми наносами, трещины, обрыв обтекателя, нарушение идентичности профиля лопастей из-за неравномерности износа их поверхности, входных и выходных кромок, нарушение герметичности гидропривода и др.

Мелкие неисправности, как правило, устранялись на месте без демонтажа рабочих колес. Устранение небольших трещин и царапин, вызвавших неидентичность профиля лопастей производилось наваркой по периметру с последующей шлифовкой.

Также на месте устранялись негерметичности в узлах гидропривода и дефекты обтекателя рабочего колеса. При значительном износе и более крупных дефектах, рабочие колеса демонтировались и отправлялись для ремонта в центральные мастерские (ЦМ).

При абразивно-коррозионном износе, который усиливается в режиме кавитации, наиболее интенсивному износу подвергалась входная кромка пера лопастей. Износу подвергалась также периферийная торцовая кромка лопастей от щелевой кавитации, задевания ее о рабочую камеру при чрезмерном износе направляющих подшипников. Глубокие раковины и царапины на плоскостях пера устранялись с зачисткой наждачным камнем с последующей наваркой, заплавкой и шлифовкой, как в условиях мастерских так и на месте. Износ торца по периферии пера лопастей восстанавливался наплавкой неплавящимися электродами марки ОЗМ-8 с последующей шлифовкой согласно размеру рабочего колеса, поддерживая необходимый зазор между камерой и лопастью в пределах 2-3 мм (рис.39).

При наплавке лазерный провод присоединялся непосредственно к наплавляемой лопасти. Чтобы наплавка являлась строгим продолжением профиля лопасти, к тыльной поверхности лопасти по периферийной кромке прихватывается медная или алюминиевая пластина (поддон). При таком способе, кроме поддержания линии профиля, улучшается качество поверхности наплавки и уменьшается объем работ по шлифовке. Контроль размера лопасти по перу производится с помощью шаблона 1 (рис.40), изготовленного по размеру камеры рабочего ко-

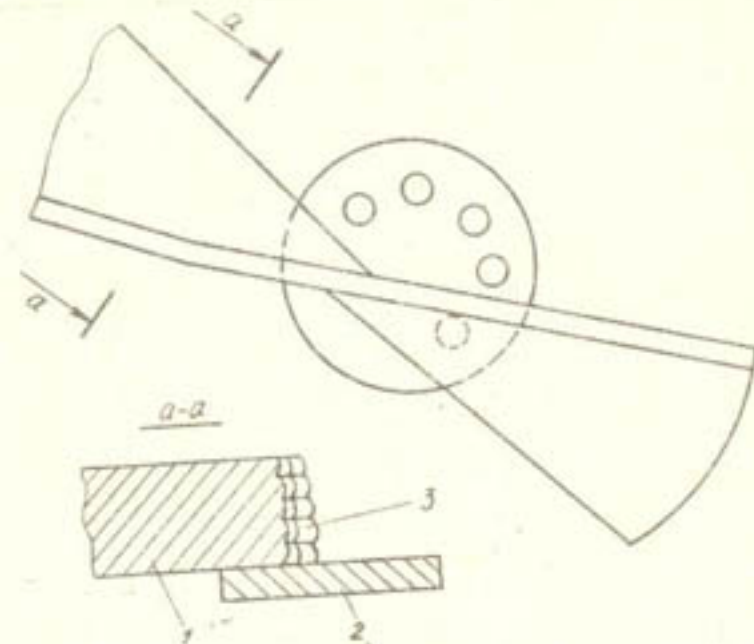


Рис.39. Восстановление периферийной кромки лопасти рабочего колеса: 1 - перо лопасти; 2 - медная и алюминиевая пластинка; 3 - накладываемые швы.

леса. Для этого снимается шток механизма разворота и на его место устанавливается посадочная втулка 3, изготовленная по размеру штока и закрепленная на раме 2. Путем вращения приспособления контролируется толщина наплавки и диаметральные размеры рабочего колеса в сборе, при шлифовке торцов пера лопастей.

В рабочих колесах типа ОПИ-260, как уже отмечалось, крепление лопастей было осуществлено недостаточно надежно. В 1978 году на рабочих колесах с цельной цапфой, после наработки в пределах 4000 часов, также имели место деформации - лопасти обвисали. Входные кромки пера лопасти по торцу имели износ больше, чем выходные. Рабочие колеса с цельносварными лопастями (жестко-лопастные) оказались более надежными, увеличилась подача насоса (при тех же углах установки). Соответственно увеличилась и потребляемая мощность. Объясняется это тем, что исключалось растрейство лопастей во время работы насоса и в соответствии с этим уменьшились щелевые утечки. С другой стороны, применение нерегулируемых по подаче насосов, отрицательно повлияло на каскадный режим, так как была исключена

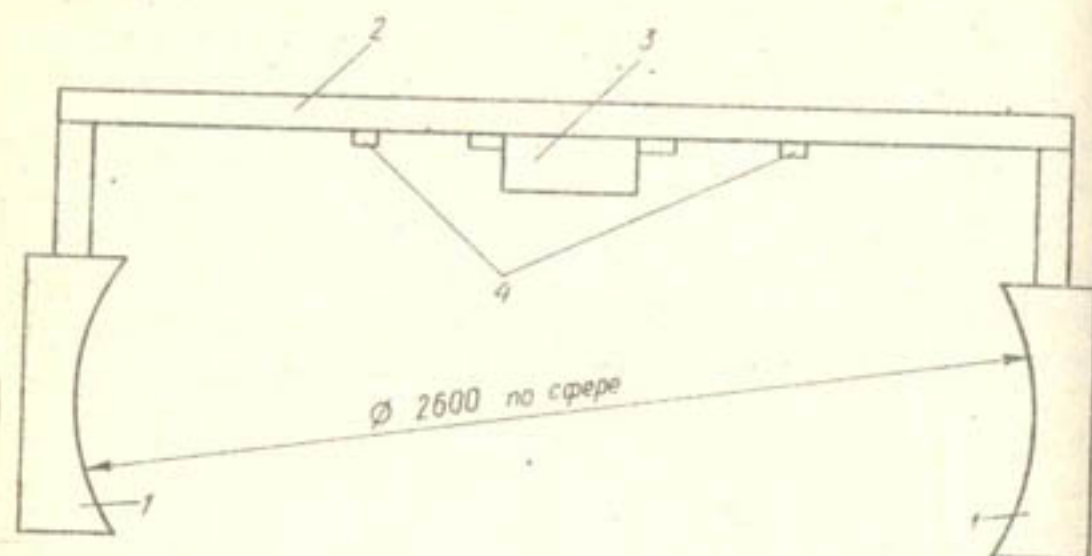


Рис. 40. Приспособление для контроля размеров лопасти рабочего колеса: 1 — шаблон для контроля размеров лопасти рабочего колеса; 1 — шаблон для контроля размера на сфере; 2 — рама, 3 — втулка, устанавливаемая в отверстие для штока; 4 — направляемая по торцу втулки колеса при вращении шаблона.

возможность регулировки подачи "на ходу".

На рабочих колесах типа ОНЧ-260, после наработки 8-10 тысяч часов, появлялись трещины в углах корневого сечения лопасти, которые хотя и редко, но иногда приводили к обрыву лопасти. Угловые трещины, в основном, появлялись на лопастях рабочих колес тех агрегатов, которые работали не в оптимальном режиме. Поэтому было принято решение после наработки агрегата 10 тыс. часов производить демонтаж насоса и ремонт рабочих колес в ЦРМ, с заменой болтов крепления. Трещины в корневом сечении лопасти заваривались только при снятой лопасти. После ремонта лопасти устанавливались на рабочее колесо; затяжка болтов контролировалась по динамометру. Дальнейшая доработка лопастей осуществлялась по шаблону.

В случае обнаружения люфта в механизме разворота лопастей, он устранялся во время ремонта в обязательном порядке.

Протечка масла в гидроприводе механизма разворота лопастей устранялась путем замены уплотнительных маслостойких резиновых колец и манжет. Для определения дефектов годности болтов и шпилек был внедрен переносной дефектоскоп типа ПМД-70. Контроль магнитно-

порошковым методом изделий производился, как правило, без демонтажа или на демонтированных в полевых, лабораторных, а также цеховых условиях. Дефектоскоп устойчиво работает при температуре окружающей среды от минус 30° до +40°С и относительной влажности до 95% (при температуре 25°С).

Дефектоскоп позволял контролировать различные по форме детали, сварные швы, внутренние поверхности отверстий путем намагничивания отдельных контролируемых участков или изделий в целом, циркулярным или продольным полем, создаваемым с помощью набора намагничивающих устройств, питаемых импульсами тока (электроконтакты, гибкий кабель), а также постоянным током (электромагнит соленоид).

Дефектоскоп обеспечивает качественное размагничивание деталей после контроля, путем автоматического реверса импульсов тока через намагничивающие устройства и снижение амплитуды выходных импульсов. Обслуживается одним оператором.

Работа с дефектоскопом включала следующие операции:

- подготовка изделия к контролю;
- намагничивание;
- нанесение суспензии;
- смотр изделия;
- размагничивание и контроль степени размагниченности.

В Управлении эксплуатации Каршинского магистрального канала и насосных станций были проверены несколько партий болтов крепления цапфы лопастей рабочего колеса на продольный и поперечный дефект (выявление микротрещин). Для этого предварительно очищенный болт устанавливался в зажим, включался питание прибора, затем — электромагнитный соленоид для создания магнитного поля в течении нескольких секунд.

Болт предварительно обрабатывался магнитно-порошковой суспензией. При наличии микротрещин вокруг них вырисовывался четкий рисунок трещины. После проверки болт размагничивался. Из первой партии испытываемых болтов 20% оказались с микротрещинами и были заменены.

7.2.2. Балансировка рабочего колеса

Рабочее колесо в сборе после ремонта подвергалось статистической балансировке, которая производилась после устранения наплывов, окончания шлифовочных работ и проверки по шаблону рабочей камеры в ЦРМ, на специальном балансирном станке в вертикальном положении

(рис.41). Станок состоит из плиты 7, на которой в центре приварена в строго вертикальном положении стойка 5. Наверху стойки располагалось гнездо 4 для шара 3. Гнездо на стойке и шар имели закаленные и тщательно отшлифованные поверхности.

На втулку рабочего колеса, в месте крепления вала, устанавливалось закрепленное болтами специальное приспособление 1, состоящее из фланца и рымболта. В нижней части рымболта устраивалось шаровое гнездо с отшлифованной и закаленной поверхностью.

Рабочее колесо 2 в сборе после ремонта, поднималось краном с захватом за рымболт и устанавливалось на балансирный станок. Под низ втулки колеса, на плите 7, устанавливались индикаторы часового типа 6 (иногда микрометрические стойки). Высота стойки 5 принималась с расчетом, чтобы опора 4 шара 3 находилась выше центра тяжести колеса.

Перед каждой балансировкой контрольную плиту 7 в обязательном порядке проверяли на горизонтальность уровнем, с точностью 0,02 мм в разных направлениях. Колесо проворачивалось вокруг оси и в разных точках определялось его биение и местоположение необходимого уравнивающего груза-дебаланса. Контроль осуществлялся по индикаторам.

7.2.3. Проверка угла установки лопастей на идентичность

Нарушение идентичности углов разворота лопастей приводит к гидравлическому небалансу. Для регулирования угла разворота каждая проушина крестовины сервомотора имеет специальную шайбу (формулярную), ее толщина подбирается при устранении неидентичности. Идентичность контролировалась с помощью шаблона (рис.42), отальцованного из листовой стали по диаметру рабочего колеса, на внутреннюю поверхность которого наклеивался ватман. Рабочее колесо устанавливалось так, чтобы ось его была строго вертикальна. Подводя поочередно шаблон к каждой лопасти на ватмане, прорисовывали очертание ее пера при максимальном и минимальном углах разворота, обычно разными цветами. При этом следили за тем, чтобы центры лопастей совпадали с горизонтальной осью шаблона. По вертикальному расстоянию выходных наружных кромок определяли величину разворота.

7.2.4. Вал насоса

Вал насоса является деталью с наибольшим весом и длиной. От

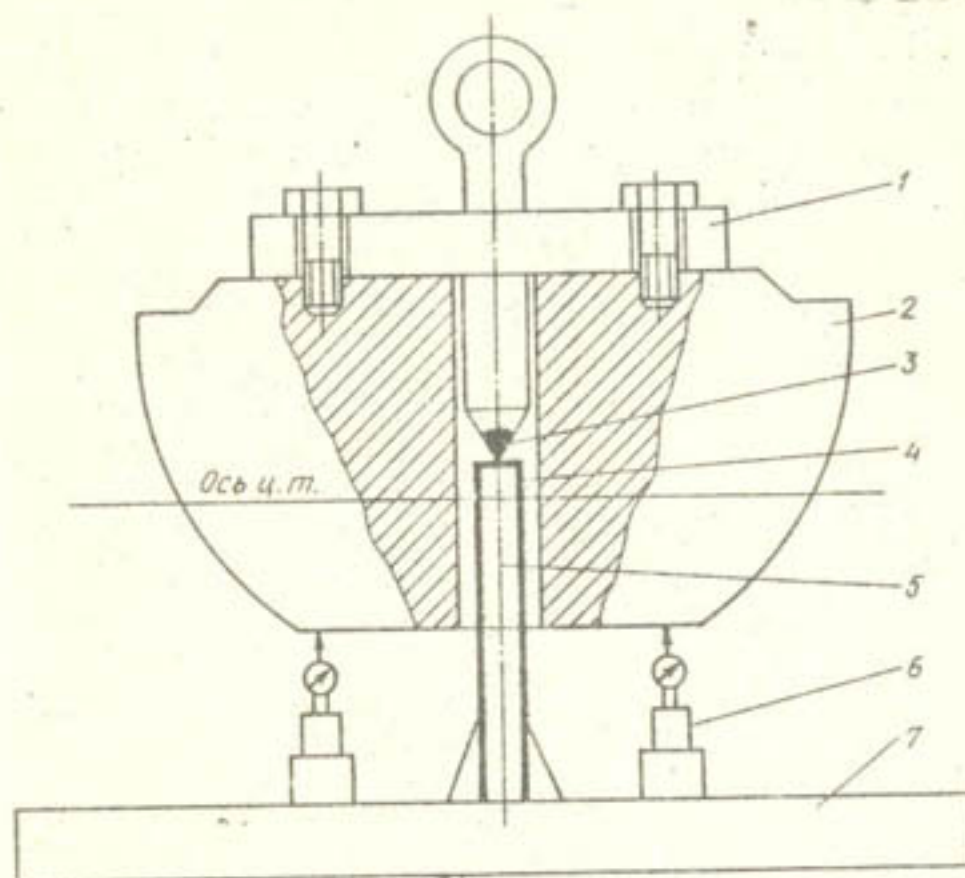


Рис.41. Статистическая балансировка рабочего колеса насоса:

- 1 - приспособление для крепления рабочего колеса;
- 2 - рабочее колесо; 3 - шар; 4 - закаленная пластина;
- 5 - стойка; 6 - приборы контроля отклонений рабочего колеса; 7 - плита.

его прочности, прямолинейности, соосности соединения с валом электродвигателя, наличия дебаланса во многом зависит долговечность работы насоса.

В основном, на валу изнашиваются две рабочие шейки в местах соприкосновения с направляющими подшипниками насоса, а также в местах установок резиновых уплотнений (рис.43). Очень редко, но наблюдались - выработка центрирующих выступов и прогиб вала. Шейки вала насоса покрыты износостойкой сталью марки IX18 Н9Т с последующей токарной обработкой и шлифованием. Износ нижней шейки вала зависит от качества балансировки рабочего колеса и качества литнофолья

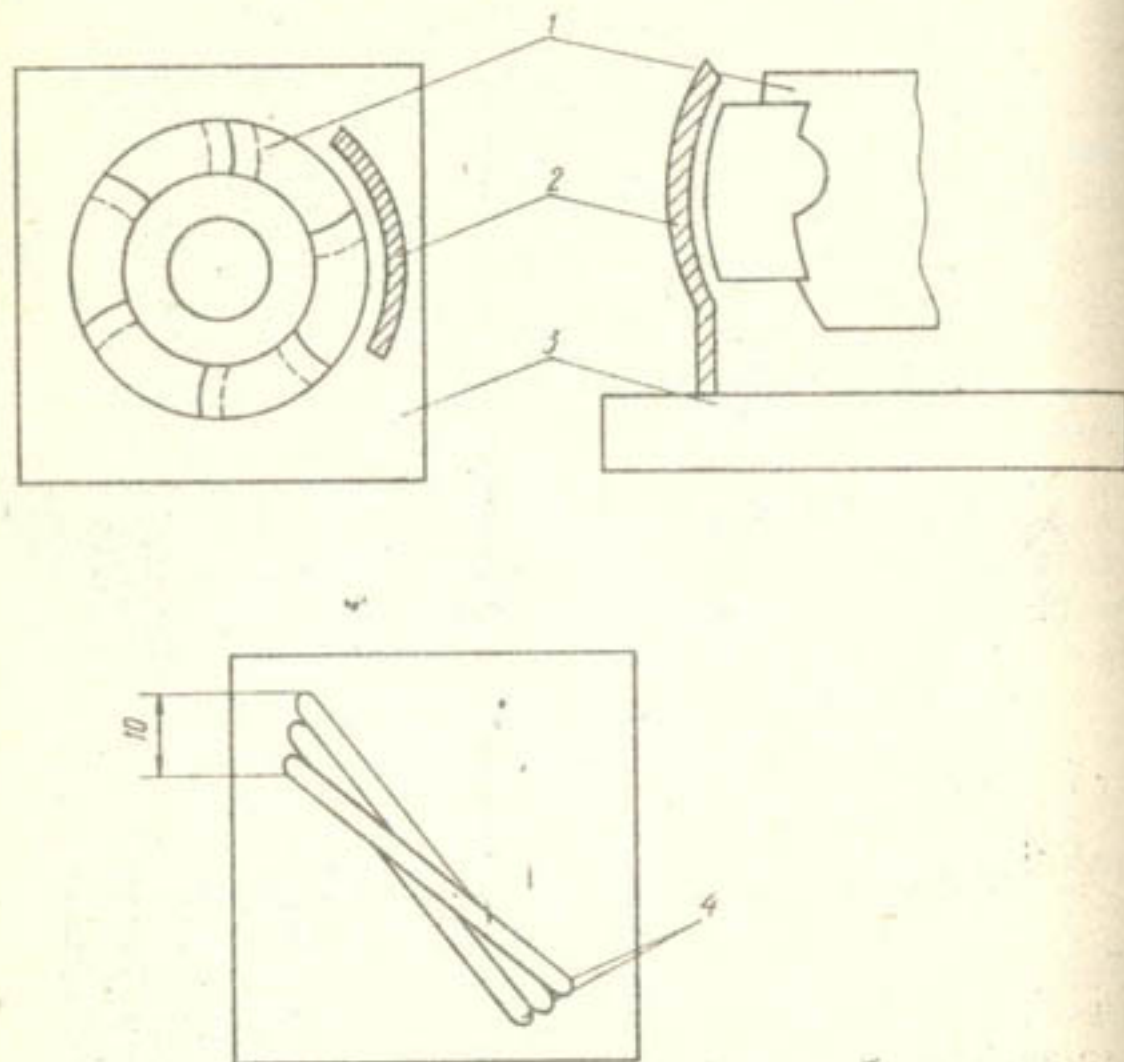


Рис.42. Шаблон для проверки идентичности углов разворота лопастей рабочего колеса насоса: 1 – рабочее колесо; 2 – шаблон; 3 – плита; 4 – перо лопасти.

подшипников. При разбалансировке рабочего колеса происходил односторонний износ шейки вала насоса на $1/4$ части окружности, образуя волнообразную выработку, на глубину до 25 мм. В зависимости от величины дебаланса вал выходил из строя при наработке в пределах даже 500 часов. По характеру работы насос с дебалансным рабочим колесом на слух отличался от нормальных агрегатов уже в начальный пе-

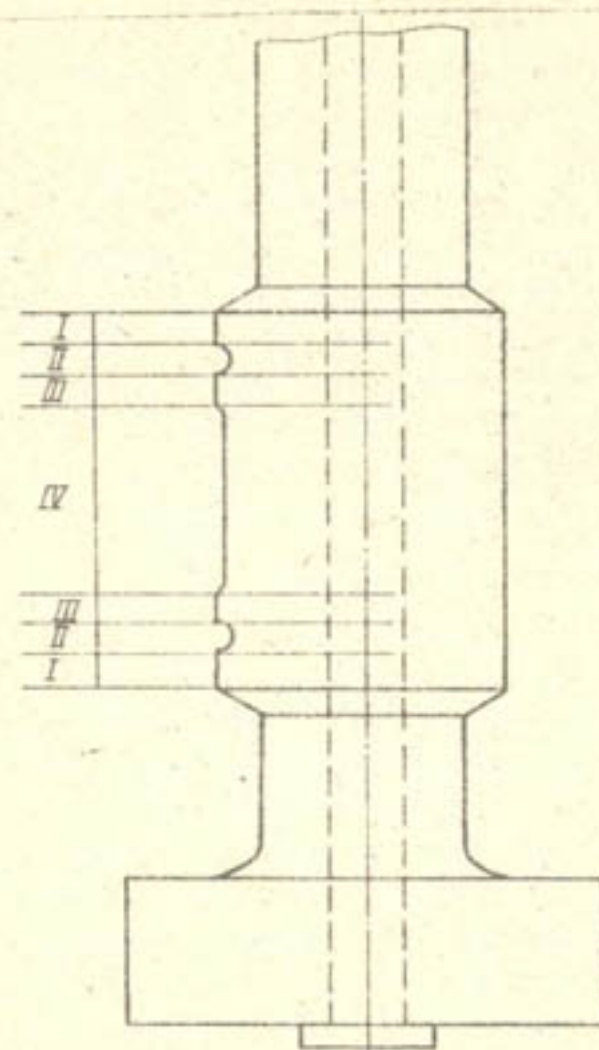


Рис.43. Зоны износа шейки вала насоса: I – нерабочая зона; II – зона соприкосновения с уплотнениями; III – промежуточная зона; IV – рабочая зона, соприкасающаяся с лигнофолевыми вкладышами подшипника.

риод своей работы. В таких насосах зазор между лопастями рабочих колес и камерой срабатывался очень быстро и начиналось одностороннее задевание лопастей о стенки камеры с ритмичными промежутками времени, прослушивались стуки со специфическим чирканьем металла о металл.

Выход из строя уплотнений направляющих подшипников приводил к ускоренному абразивному износу вала. В настоящее время состояние уплотнения подшипника контролируется без разборки насоса с по-

мощью индикатора-расходомера ИРС.

Изошенные шейки вала в местах посадки подшипников протачивались до глубины максимального износа и наплавлялись.

После этого проточку производили с выдерживанием большего диаметра, позволяющего при повторении износа ремонтировать только проточкой и шлифовкой, без наплавки, а также с целью увеличения ремонтпригодности вала без демонтажа, при равномерном износе, с изготовлением нового вкладыша подшипника на месте по размерам шейки на валу насоса или поджатия подшипника.

При замене вала насоса производилась его центровка с валом электродвигателя. При этом пригонка фланца осуществлялась с ш.бровкой, без применения клиновидных прокладок.

7.2.5. Выправляющий аппарат

В период эксплуатации на выправляющем аппарате изнашивались: входные кромки лопаток — подвергались абразивно-коррозионному износу при сопутствующей кавитации;

посадочные места под шейки направляющего подшипника насоса.

Восстановление их производилось путем сварки пластин из нержавеющей стали марки IX18 НЭТ. Это дало хорошие результаты в период эксплуатации 1976–1977 гг. на насосном агрегате №5 НС-1. Впоследствии этот способ был внедрен на многих агрегатах и других насосных станциях. Операция производилась путем автогенной вырезки мест износа пера лопаток на всю длину износа с последующей электроприваркой хорошо подогнанных пластин из нержавеющей стали (рис. 44). При электросварке использовались электроды ОЗЛ-8 или ПЛ-9, ЭНТУ-3, ПЛ-24-59, диаметром не более 3–4 мм.

При восстановительном ремонте сохранялся прежний профиль входной кромки лопаток, выступы и наплывы срубались и зашлифовывались; для снятия внутреннего напряжения после сварки проводили равномерный нагрев по периметру сварки противоположных лопаток до 200–400°C.

Восстановление посадочных мест под шейки направляющего подшипника, устанавливаемого во втулке выправляющего аппарата довольно сложно, так как выправляющий аппарат заделан в железобетонный монолит. Переносного станка для проточки в то время не было.

Целесообразно перейти от цилиндрических посадочных мест на конические, которые дали бы возможность ремонтировать на месте шейки направляющего подшипника и посадочные места под них в выправляющем

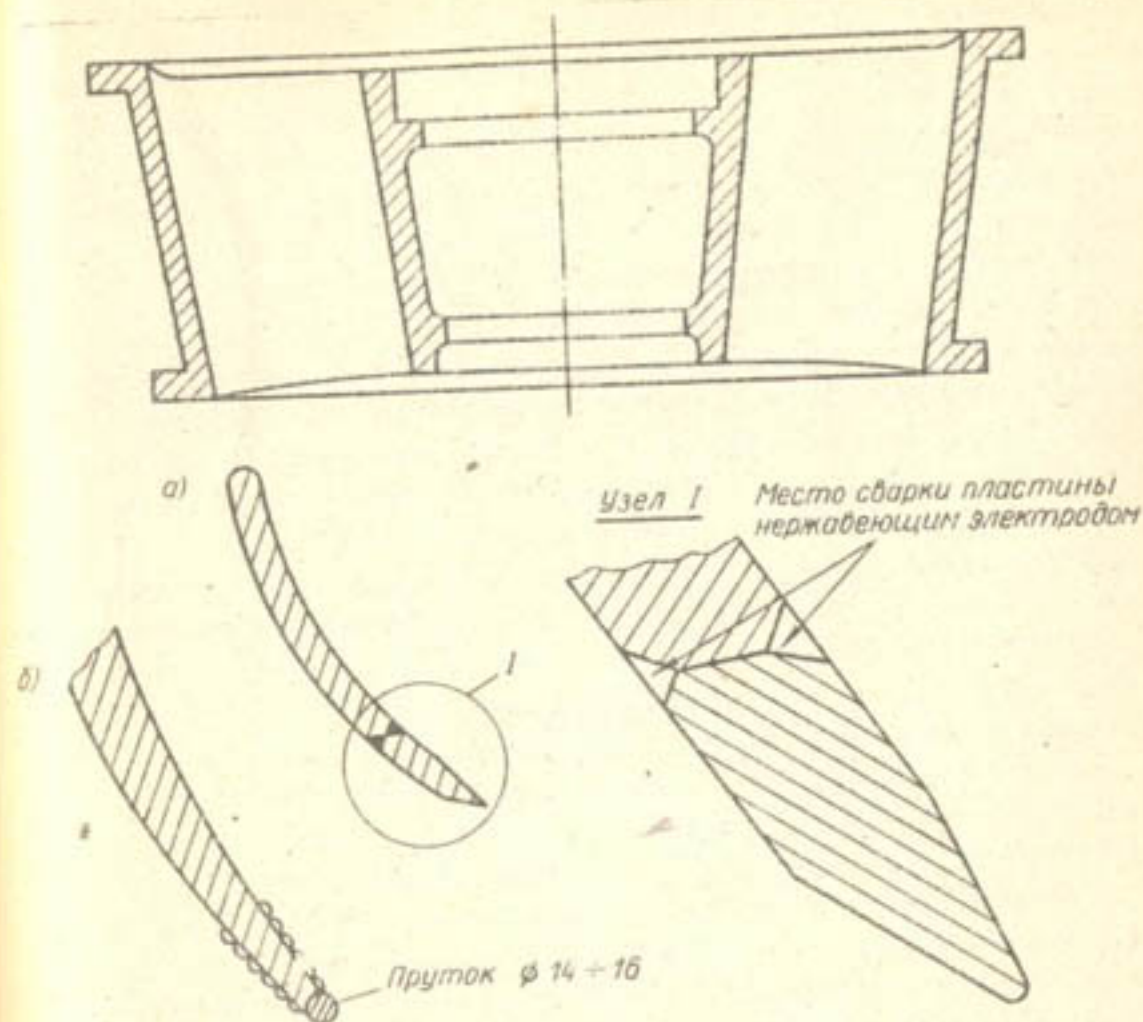


Рис. 44. Восстановление лопаток выправляющего аппарата насоса: а — путем сварки пластин из нержавеющей стали; б — наплавкой входной кромки с последующей тщательной зачисткой.

аппарате. В 1980 г. НПО "Технолог" изготовил такой переносной станок для проточки посадочных мест подшипников без разборки выправляющего аппарата. В настоящее время посадочные места во втулке выправляющего аппарата протачиваются на месте.

7.2.6. Подшипники насоса.

Насосы ОПН-260Г и ОПС-260Г имеют лигнофольевые подшипники, изготовленные из вкладышей лигнофоля марок ЛСП-А или ДСП-Б-10.

Во время эксплуатации систематически проводили контроль износа вкладышей. Увеличение зазора между клепкой и шейкой вала не допускалось более 2 мм. При износе более 2 мм перо лопасти начинало задевать о камеру, что на слух практически очень трудно определить. Задевание лопасти о камеру приводило к появлению трещин, надломов и даже к обрыву лопастей. Зазоры между валом и подшипником замерялись пластинчатым щупом и более точно проверялись на отжим. При проверке на отжим с одной стороны вала устанавливали индикатор, а с диаметрально противоположной — на вал нажимали домкратом, упертым в корпус насоса. Ход индикатора при нажатии и отжатии должен быть одинаковым, он и определял величину одностороннего зазора в подшипнике. Если замер не получался, проверялось крепление корпуса подшипника, замеры зазоров повторялись.

При значительном износе лигнофольевых вкладышей или при подгорании их поверхности, вкладыши заменялись. Для изготовления новых вкладышей применяли лигнофоль тех же марок ДСП-А, у которого волокна расположены во всех слоях параллельно, или ДСП-Б-10, у которого волокна девяти слоев расположены параллельно, а десятый — перпендикулярно предыдущим слоям. Лист лигнофоля разрезали на бруски (планки) перпендикулярно направлению волокон. Высоту заготовки определяли по толщине вкладыша, с припуском на обработку (2-3 мм) по наружной и внутренней поверхностям. Учитывалось, что антифрикционные свойства лигнофоля выше, если его волокна расположены перпендикулярно плоскости трения (оси вала); при наличии влаги лигнофоль интенсивно разбухает перпендикулярно волокнам, а вдоль волокон почти не разбухает, лигнофоль более изнаноустойчива на стирание при направлении волокон перпендикулярно оси вращения вала. Поэтому лигнофольевые планки устанавливались так, чтобы волокна были перпендикулярны оси вращения вала. Боковые стороны брусков под углом, равным половине центрального угла (рис. 45), в заготовке обрабатывались на фрезерном станке. Обработанные бруски собирались в "бочонок" и стягивались двумя или четырьмя хомутами, расположив их по краям и по середине. Вначале на токарном станке обрабатывалась наружная поверхность одной половины "бочонка", затем не снимая лигнофольевый "бочонок" со станка, переставлялись средние два хомута на обработанную поверхность и обрабатывалась оставшаяся поверхность "бочонка". И лишь после этого обрабатывалась внутренняя поверхность. Затем подрезался припуск по краям, выдержав требуемый размер планок меж-

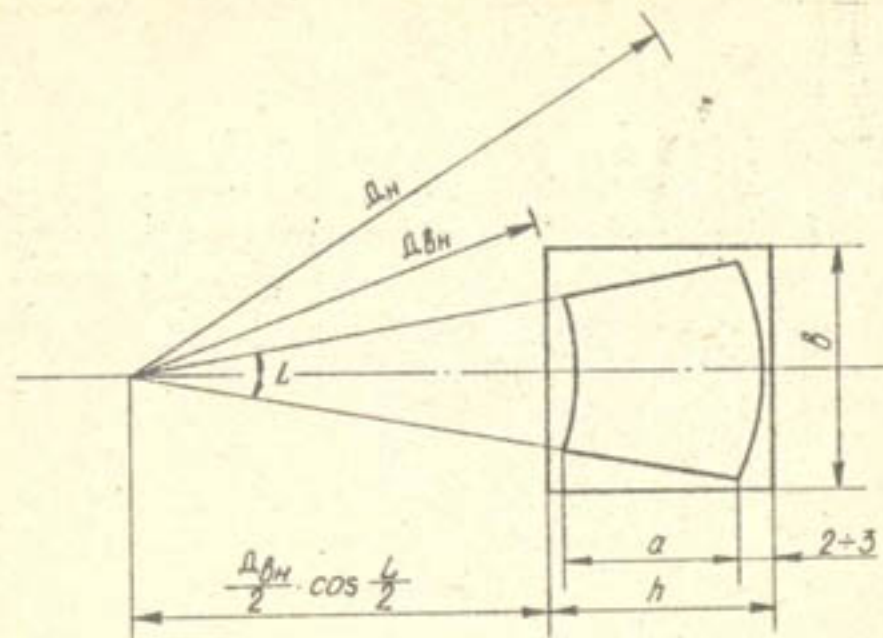


Рис. 45. К расчету изготовления лигнофольевых вкладышей (брусков пленки) подшипника насоса: $D_{вн}$ — внутренний диаметр подшипника; $D_{н}$ — наружный диаметр подшипника; B — ширина вкладыша (диаметральная) с припуском, a — толщина вкладыша без припуска, h — то же с припуском.

ду надрезами снимали "бочонок" со станка и маркировки планки, ножовкой отрезался припуск по длине и снимали хомуты.

При сборке клепок обращалось внимание на зазор между ними. В случае несоблюдения этого зазора, из-за набухания планки могут разорвать корпус подшипника в месте замка. Опыт эксплуатации подсказал, что прокладка из картона толщиной 0,5-1,0 мм, установленная через каждые четыре клепки, компенсирует усилия разбухания клепок. Подшипник до установки на место проверялся по находящемуся в горизонтальном положении валу; определялись действительные зазоры и степень касания расточкой вкладыша шейки вала. Диаметральный зазор выдерживался в пределах 0,3-0,4 мм.

Как на выправляющем аппарате, так и в корпусе подшипника постепенно, при многолетней эксплуатации, выходят из строя посадочные шейки, которые у каждого агрегата имеют свои особенности.

Так, крепление нижнего подшипника насоса ОПИ-260 оказалось

ненадежным, расстраивалось, поэтому было разработано и внедрено новое шлицевое крепление, которое хорошо зарекомендовало себя в поливном сезоне 1978 года и затем было внедрено на всех агрегатах НС №1.

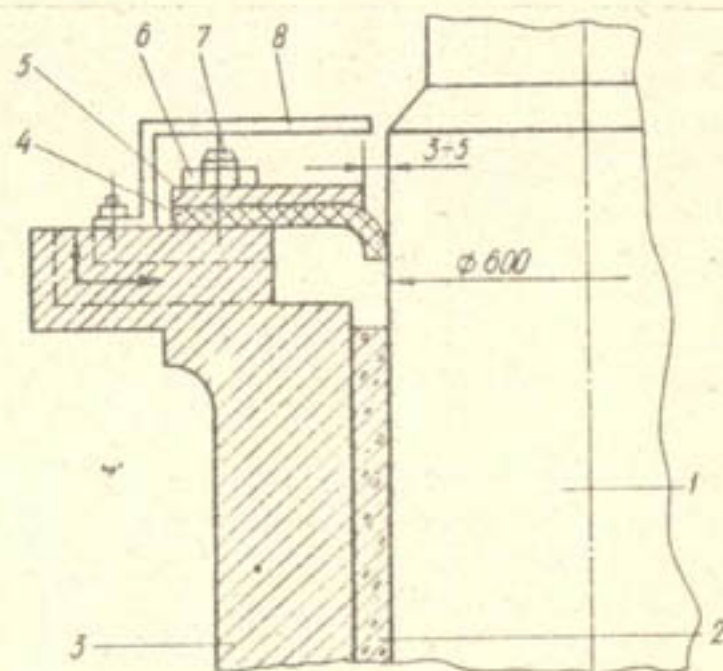


Рис. 46. Торцевое резиновое уплотнение направляющего подшипника воротникового типа: 1 - шейка вала; 2 - лигнофолевая пленка; 3 - корпус подшипника; 4 - резиновая манжета; 5 - прижимное кольцо; 6 и 7 - шпилька и гайка; 8 - ванна.

Подшипники насосов ОП10-260 и ОП11-260 имеют верхние и нижние воротниковые уплотнения (рис. 46), которые быстро изнашивались. В настоящее время на многих агрегатах внедрена замкнутая система смазки, разрешившая вопросы и крепления обтекателя насоса.

7.2.7. Замкнутая система смазки

Замкнутая система смазки была разработана совместными усилиями специалистов УЭ ЧК и НС, Средаз НИИГидромаш и ВНИИГим. При этом учитывались недостатки существующей конструкции, а именно:

раздельная подача технической воды в нижний и верхний направляющие подшипники;

отсутствие защиты каждого направляющего подшипника двумя не-

контролируемыми уплотнениями воротникового типа;

большие утечки технической воды через воротниковое уплотнение;

малый ресурс направляющих подшипников (не более 2000 часов) за счет попадания в подшипники перекачиваемой воды с песком.

С целью устранения перечисленных недостатков, повышения надежности вертикального осевого насоса и увеличения ресурса работы направляющего подшипника в новой конструкции системы смазки на вал насоса был установлен разъемный защитный кожух, закрепленный одним концом на верхней горловине насоса, а другим - на выправляющем аппарате.

В соответствии с проектом конструкции насоса и рекомендациями завода-изготовителя, верхний направляющий является нерабочим и включается только лишь в случае износа нижнего направляющего подшипника. При выработке лигнофолевых вкладышей нижнего подшипника, вал (по инструкции) должен опираться на верхний подшипник. Но, как показал опыт эксплуатации, при выработке вкладышей подшипника свыше 2-х мм, вал начинает опираться не на верхний подшипник, а на рабочее колесо, которое в свою очередь начинает задевать за рабочую камеру (зазор между лопастью и камерой не более 2 мм). Например, на насосном агрегате №6 НС-5 была допущена выработка вкладышей нижнего подшипника до 10 мм, лопасти рабочего колеса, соприкасаясь с рабочей камерой, имели значительный износ. Однако верхний подшипник при этом имел выработку вкладышей не более 0,7 мм, т.е. практически не участвовал в работе. Поэтому верхний направляющий подшипник был удален, защитный кожух выведен из корпуса насоса и заканчивался сальниковым уплотнением.

Герметизация системы смазки с помощью сальникового уплотнения защитного кожуха сверху и торцевого уплотнения защитного кожуха сверху и торцевого графитового уплотнения (вместо воротникового) под нижним направляющим подшипником обеспечивает постоянную смазку направляющего подшипника осветленной водой, что значительно увеличивает его долговечность. Защитный кожух, почти по всей длине вала, и обтекатель позволяют создавать единый объем технической воды, обеспечивающей смазку подшипника в течение 30 мин. работы, даже в случае прекращения подачи воды.

Устранение непосредственного контакта вала с перекачиваемой водой, достигаемое защитным кожухом, снизило общий шум, создаваемый насосным агрегатом, исключило дополнительную закрутку потока, защитило вал от коррозии и отложения на нем солей и наносов, частично снизило угонные обороты при остановке насосного агрегата.

Замкнутая система смазки, внедренная на всех насосных агрегатах, позволила увеличить ресурс направляющих подшипников почти в два раза. Возрос межремонтный срок в работе насосных агрегатов и соответственно снизились расходы на ремонт. Первые опытные два насоса с замкнутой системой смазки на НС-5 и 6 проработали свыше 4 тыс. часов без ремонта направляющих подшипников.

Годовая экономия от внедрения замкнутой системы смазки на всех насосах каскада насосных станций составило около 425 тыс. руб.

7.3. Основные отказы и способы восстановления узлов и деталей электродвигателя ВДС-375/130-24

Все агрегаты каскада насосных станций оборудованы однотипными электродвигателями, изготовленными на заводе "Уралэлектротяжмаш", с установленной мощностью 12,5 мВт. Обычно электродвигатели ремонтируются бригадами, вызванными с завода-изготовителя. В условиях эксплуатации КМК, из-за большой отдаленности, организовать такое обслуживание не удалось, поэтому ремонт электродвигателей пришлось организовать на месте. При этом следует отметить особо трудные условия эксплуатации электродвигателей в условиях Каршинской степи, когда температура воздуха достигает летом до $+50^{\circ}\text{C}$, а в машинном зале и того больше.

Ротор — один из самых массивных деталей в электродвигателе, цельносварной конструкции имеет двадцать четыре полюса, обмотка которых соединена последовательно. При эксплуатации он выходил из строя по следующим причинам:

- ослабление бандажировки (крепления) лобовых частей — износ резьбы гаек;

- при попадании посторонних предметов между ротором и статором;

- выход из строя полюсов ротора из-за межвитковых замыканий, пробоя на массу, выхода из строя межполюсной пайки, промасливания и загрязнения и др.

- ослабление крепления клиньев между полюсами.

Полюса ротора между витками изолированы асбобумагой и пропитаны спецлаком. При ослаблении клиньев и попадании масла, а также из-за старения асбобумаги, нарушения изоляции, происходило межвит-

ковое замыкание. В условиях эксплуатации КМК такие отказы происходили до 3-х раз в году. Необходимо отметить, что по заводской технологии замена полюсов ротора двигателя без демонтажа статора не предусмотрена. Это значительно осложняло эксплуатацию, так как из-за одного полюса приходилось производить полный демонтаж электродвигателя.

Кроме того, в роторе двигателя слабым узлом является вентилятор, служащий для воздушного охлаждения двигателя. Он состоит из четырех секций, каждая из которых изготовлена из двух сегментов (листовая сталь), скрепленных между собой лопатками вентилятора на заклепках. Демонтаж полюса ротора без демонтажа вентилятора также невозможен, поэтому частые демонтажи и монтажи приводили к ослаблению крепления вентилятора и последующему обрыву при угонном вращении, при остановке агрегата. Были случаи отрыва вентилятора даже в нормальном насосном режиме.

С этой целью желательно рекомендовать следующие конструктивные изменения:

- а) предусмотреть возможность демонтажа ротора без разборки вентилятора или усилить конструкцию вентилятора и его крепления к ротору;

- б) необходимо изменить крепление межполюсного клина, сделав его более доступным для демонтажа и монтажа;

- в) предусмотреть в конструкции верхней крестовины двигателя место для демонтажа полюса ротора строго вертикально (не демонтируя статор).

Многолетний опыт эксплуатации показал, что посадочные отверстия крепления ротора к валу двигателя, где не соблюдена конусность при изготовлении, превращаются в цилиндрические. Приходилось производить двухстороннее крепление с гайками и стопорными шайбами в труднодоступных условиях. Поэтому при изготовлении необходимо строго соблюдать конусность развешиваемых отверстий во фланцах ротора, во фланцах вала двигателя и при изготовлении крепежных деталей.

При замене полюса ротора, его подбирали по весу, а если не было такой возможности, замерялась разность в весах между новым и демонтированным полюсами и учитывали ее при балансировке ротора после замены полюса.

После ремонта полюса заново составляли формулярный замер по воздушному зазору на всех полюсах, в заходе и выходе каждого полю-

ся через 30° .

7.3.1. Вал электродвигателя

При многолетней эксплуатации у вала выходили из строя:

посадочные отверстия под шпильки крепления бочки ротора (износ);

токопроводящие шины (старение или повреждение);

рабочая поверхность направляющих подшипников (износ);

посадочная шейка под запорное кольцо для крепления втулки.

Посадочные отверстия вала двигателя рейберовали с изготовлением новых шпилек для крепления, после замены полюсов ротора.

Токопроводящие шины заменяли или ремонтировали при демонтаже верхней крестовины электродвигателя. После ремонта испытывались токопроводящие шины.

Следует отметить, что величина ресурса вала, по сравнению с другими деталями двигателя, значительно больше, в несколько раз превосходит ресурс других деталей двигателя, ресурс работы вала насоса. Для его ремонта не требуется наплавка. Как правило, износ рабочей шейки под направляющие подшипники двигателя устраняется путем шлифовки и полировки.

7.3.2. Статор электродвигателя

Статор — это сварная конструкция, внутри которой по окружности располагаются лепестки статора, набранные из отдельной трансформаторной стали, изолированных друг от друга лаком, для ликвидации самоиндуктирующих паразитных токов. В местах расположения полюсов статора штамповываются пазы для укладки обмоток.

Сердечник статора разделен на пакеты радиальными вентиляционными каналами. Обмотки статора из шаблонных катушек с укороченным шагом, имеют изоляцию класса В. Начала и концы трехфазных обмоток статора выведены наружу за пределы статора.

Основными причинами его выхода из строя являются:

загрязненные обмотки, особенно лобовых ее частей за счет промывания, что приводит к повышению температуры обмотки и выходу из строя ее изоляции. При старении изоляции обмоток статора имели место пробой (искрение) между фазами или на корпус;

ослабление бандажировки лобовых частей;

ухудшение состояния лобовых частей;

попадание посторонних предметов между ротором и статором;

ослабление крепления воздухопроводящих шлангов;

задевание полюсов ротора за статор.

Долговечность и надежность работы электродвигателя зависит прежде всего, от состояния изоляции обмоток статора. Снижение рабочей температуры всего на 10° увеличивает срок службы изоляции почти вдвое. Поэтому двигатель изолирован от внешней атмосферы камерой горячего воздуха, за изолированностью которой тщательно следят особенно в летнее время. При надежной изоляции обмоток статора от воздействия жары создавался нормальный режим работы двигателя, в результате увеличивался ресурс его работы.

7.3.3. Верхняя крестовина двигателя

Одним из ответственных узлов в верхней крестовине является подпятник, который воспринимает на себя вес ротора двигателя и насоса, а также всю массу перекачиваемой воды. Этот огромный вес передается через зеркальный диск на сегменты подпятника.

Опыт эксплуатации показал, что наименее надежным узлом является подпятник. Причиной возникающих повреждений являлись волнистость зеркальной поверхности диска из-за низкого качества его шлифовки, температурные деформации сегментов, возникающие в результате неравномерности нагрева рабочей поверхности и тыльной стороны сегментов и др.

Установлено, что долговечность работы подпятника в большей степени зависит от качества центровки насосного агрегата.

При центровке выверялась перпендикулярность опорного торца втулки к валу двигателя; устранялся излом оси во фланцевом соединении валов двигателя и насоса путем шпайровки фланца вала насоса;

выверялся уклон линии вала агрегата;

производилась центровка относительно закладных узлов.

При выполнении операций нагрузки между сегментами распределялись равномерно. Это главное условие, обеспечивающее нормальные условия эксплуатации подпятника. Кроме того, обращалось внимание на:

— чистоту обработки и прямолинейность зеркального диска, чистоту масловывода, контролировалось качество масла, правильность шпайровки сегментов подпятника, а также качество заливки их бабитом.

Зеркальный диск подпятника восстанавливался путем проточки на токарном станке с последующей шлифовкой, а также полировкой. Срок службы его ограничен и зависит от количества проточек. Особенно хорошо зарекомендовали себя алмазные штифтарелки, после

обработке которым требуются минимальные затраты труда и времени полировки. Зеркальная поверхность дисков доводилась с помощью шлифовальной шкурки и войлочными кругами, пропитанными пастой ГОИ.

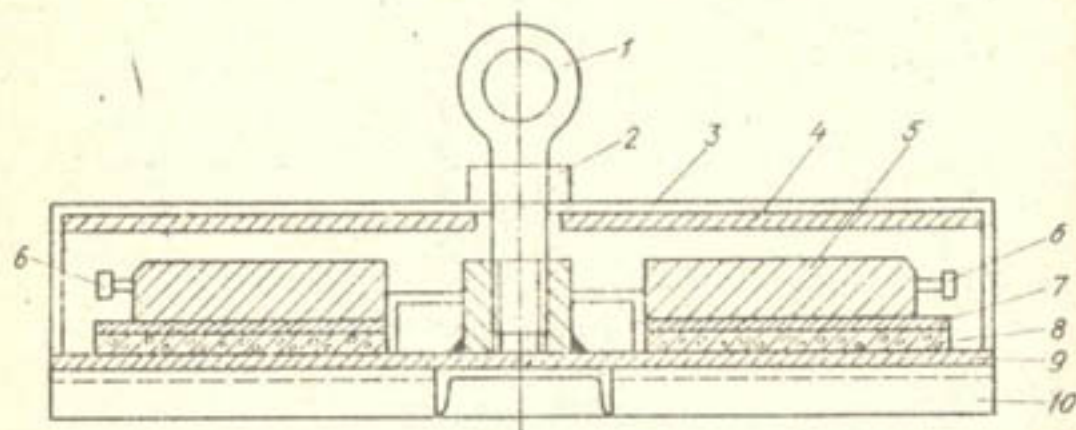


Рис.47. Контейнер для транспортировки и хранения зеркального диска: 1 — рымболт; 2 — гайка; 3 — крышка; 4, 7 — резина; 5 — зеркальный диск; 6 — рымболты диска; 8 — пластина деревянная; 9 — поддон из листовой стали с приваренной к нему резьбовой втулкой; 10 — каркас из швеллеров.

Транспортировка зеркального диска производилась в специальной упаковке (рис.47), обитой внутри мягкими материалами. Подъем осуществлялся с помощью рымболта 1, ввернутого в основание приспособления. Практика эксплуатации показала, что при изготовлении насосов необходимо учесть взаимозаменяемость зеркальных дисков.

Сегменты подпятника являются наиболее слабым его узлом и очень капризны в эксплуатации. Рабочая поверхность их заливалась бабитом и обрабатывалась вручную, с контролем обработки по шабровочным плитам. Выход из строя бабитовой поверхности сегмента происходил по следующим причинам:

- потеря рабочей структуры бабита при нарушении температурного режима;
- отслаивание бабита от стальной опоры;
- растрескивание бабита с образованием раковин и обнажением металлического основания сегмента.

Эти случаи приводили к выходу из строя зеркального диска.

Сегменты подпятника восстанавливались путем перезаливки. Перед заливкой металлическую поверхность основания сегмента подвергали

химической обработке и нагревали. Затем проводили его охлаждение до 10-20°C.

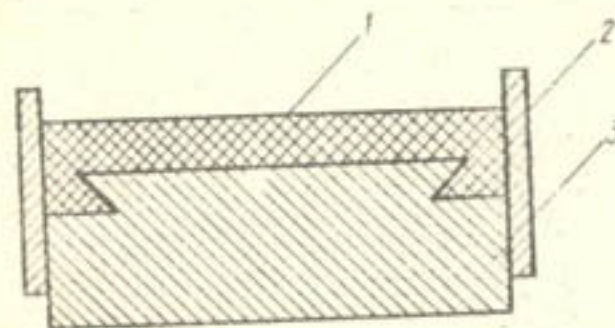


Рис.48. Заливка сегмента бабитом: 1 — залитый бабит; 2 — ограничительный хомут; 3 — корпус сегмента.

После заливки бабита производилась токарная обработка сегмента с последующей шабровкой и контролем обрабатываемой поверхности сначала по плите, а окончательно по зеркальному диску (рис.48).

Шабровка поверхности сегмента производилась, согласно инструкции завода-изготовителя, также как и у гидротурбин, но с двусторонним заходом по всему периметру, для создания масляного клина между зеркальным диском и сегментами при работе в насосном режиме и обратном вращении на угонной скорости (при остановке агрегата), превышающей почти в 1,5 раза скорости насосного режима.

Пьезометрические измерения действующей осевой силы, передаваемой на тарелки паты при различных режимах работы агрегата показали, что отрывные шпильки отрицательно влияют на распределение нагрузки на сегменты, так как воспринимают на себя часть нагрузки. Эксперимент показал — распределение нагрузки на сегменты до и после установки отрывных шпилек сильно различается. Для ликвидации этого явления увеличивали отверстия на корпусе или уменьшали диаметр шпилек. Этим исключили восприятие нагрузки на себя отрывными шпильками и тем самым обеспечили нормальную самоустановку сегментов при разных режимах. Этот опыт хорошо себя зарекомендовал на агрегате И И С-2 и в настоящее время внедряется на других насосных механизмах (рис.49).

Демонтаж втулки крепления зеркального диска на валу производится с нагревом ее, используя для этого сварочный аппарат переменного тока. Время и температура нагрева ограничивалась временем выдерживания втулки. Строповка втулки осуществлялась строго горизонтально.

горизонтально, с тем чтобы не привести к выходу из строя посадочной шейки вала. Восстановление посадочной шейки производилось следующим образом:

- наваркой посадочной шейки с последующей проточкой на токарном станке по размеру втулки. Этот способ оказался наиболее эффективным;
- проточкой посадочной шейки с насадкой новой втулки;
- восстановление втулки электролизным способом.

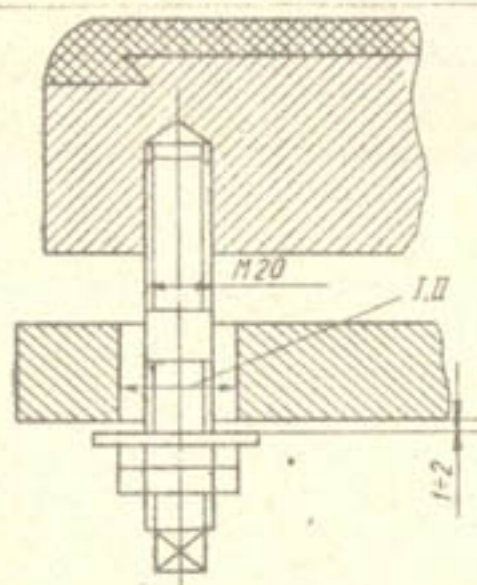


Рис. 49. Механизация крепления отрывных шпилек: I - заводской вариант $\varnothing 22$ мм; II - после модернизации $\varnothing 30$ мм.

Выверка излома опорного торца втулки к валу двигателя производилась при монтаже, путем шабровки гетинаксовой прокладки между зеркальным диском и втулкой, наждачными кругами и шлифовальной бумагой. Диаметр наждачного круга подбирался по размеру прокладки. Гетинаксовые прокладки изготавливались по шаблону с отверстиями под шпильки и штифты на зеркале и втулке. Толщина прокладки контролировалась при шлифовке приспособлением с индикаторной головкой (рис. 50).

7.3.4. Нижняя крестовина двигателя

Нижняя крестовина воспринимает радиальные усилия через направляющие подшипники двигателя. На ней крепится нижняя маслованна для смазки направляющих подшипников двигателя.

Нижняя крестовина установлена на гидравлические домкраты для подъема ротора агрегата перед пуском. В гидравлических домкратах, в основном, выходили из строя резиновые манжеты. При выходе из строя двух соседних домкратов прокладки заменялись, не дожидаясь очередной профилактики или ремонта агрегата.

В направляющих подшипниках двигателя имели место: отслаивание бабитовой заливки от металла вкладыша;

выкрашивание бабитовой заливки с образованием раковин и обнажением металла вкладыша.

С целью увеличения сроков и облегчения ремонта рекомендуется: маслоохладители делать с верхним креплением, а также в секционном исполнении;

- крышку маслованны изготавливать с двойным уплотнением;
- усилить крепление обоймы.

7.3.5. Возбудитель

В якоре возбудителя часто выходили из строя коллектор и токосъемные кольца. При отправке его в ремонт применялся специальный контейнер, обеспечивающий его сохранность. Ремонт коллектора производился проточкой.

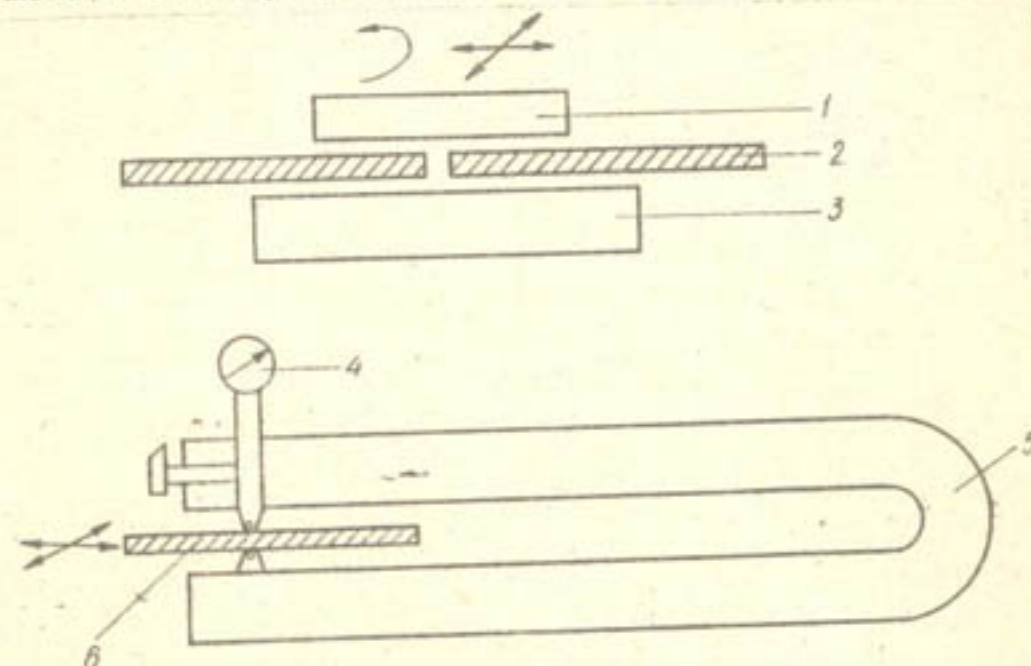


Рис. 50. Приспособление для контроля толщины гетинаксовой прокладки при шабровке: 1 - шлифкруг; 2 и 6 - гетинаксовая прокладка; 3 - шабровочная плита; 4 - индикатор; 5 - штатив.

Нарушение центровки вала выше допустимого приводило к интенсивному износу коллектора и щеток, поэтому токосъемные щетки систематически регулировались. Имело место обмасливание паяк петушков и загрязнение. После проточки коллектор продоравливался и производилась его шлифовка наждачной бумагой нулевого номера с помощью приспособления, изготовленного по радиусу коллектора (рис. 51). Шлифовка производилась на вращающемся коллекторе с возвратно-поступательным движением приспособления по всей длине коллектора. После шлифовки коллектор продували сжатым воздухом.

В перспективе намечается замена машинного возбудителя тиристорного типа ТБ630Р, с согласующим трансформатором ТСН-400/10.

7.4. Вспомогательное оборудование

Вспомогательное оборудование нами разделено на две группы: непосредственно связанное с насосно-силовым агрегатом и не связанное с ним. К первой группе относятся:

- система охлаждения двигателя;
- система смазки подшипников насоса;
- маслосистема для смазки подшипников и подпятника двигателя;
- аккумуляторная.

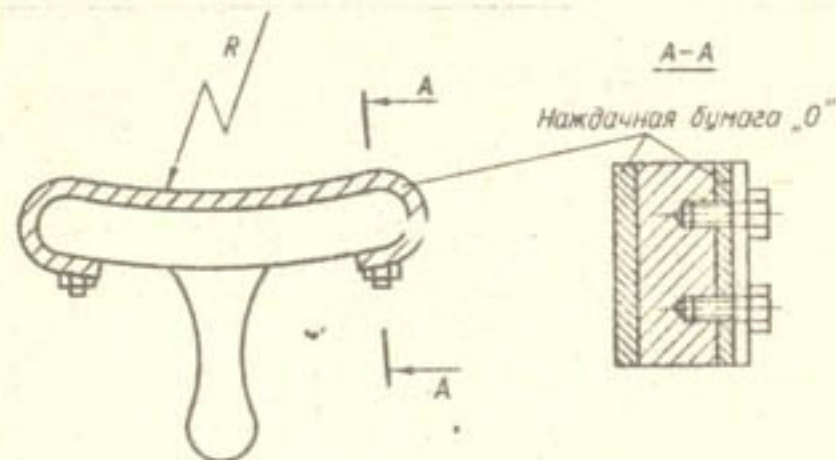


Рис. 51. Приспособление для шлифовки коллектора якоря электродвигателя: Р — радиус коллектора.

7.4.1. Система охлаждения электродвигателя

Система охлаждения или, так называемая, система технического водоснабжения (ТВС) питается водой непосредственно от работающего насоса, с предварительной ее очисткой в песколовках. Песколовки в условиях перекачки амударьинской воды работают плохо, часто засоряются и выходят из строя, поэтому требуют частой их прочистки (рис. 52).

Охлаждающая вода из напорного трубопровода I поступает в песколовку 2, проходит через ее сетчатые отверстия и поступает в напорный трубопровод ТВС и, пройдя через масло и воздухоохладители, поступает в сливной трубопровод.

Вода, перекачиваемая насосом, содержит размельченные корни водорослей, которыми засоряются отверстия сетки песколовки, что приводит к перебоям подачи воды на охлаждение двигателя и нарушению его температурного режима.

Проектный вариант песколовки имеет существенный недостаток. Здесь не предусмотрена взаимозаменяемость сетчатого узла. При обвязке песколовки технологическими трубами довольно много поворо-

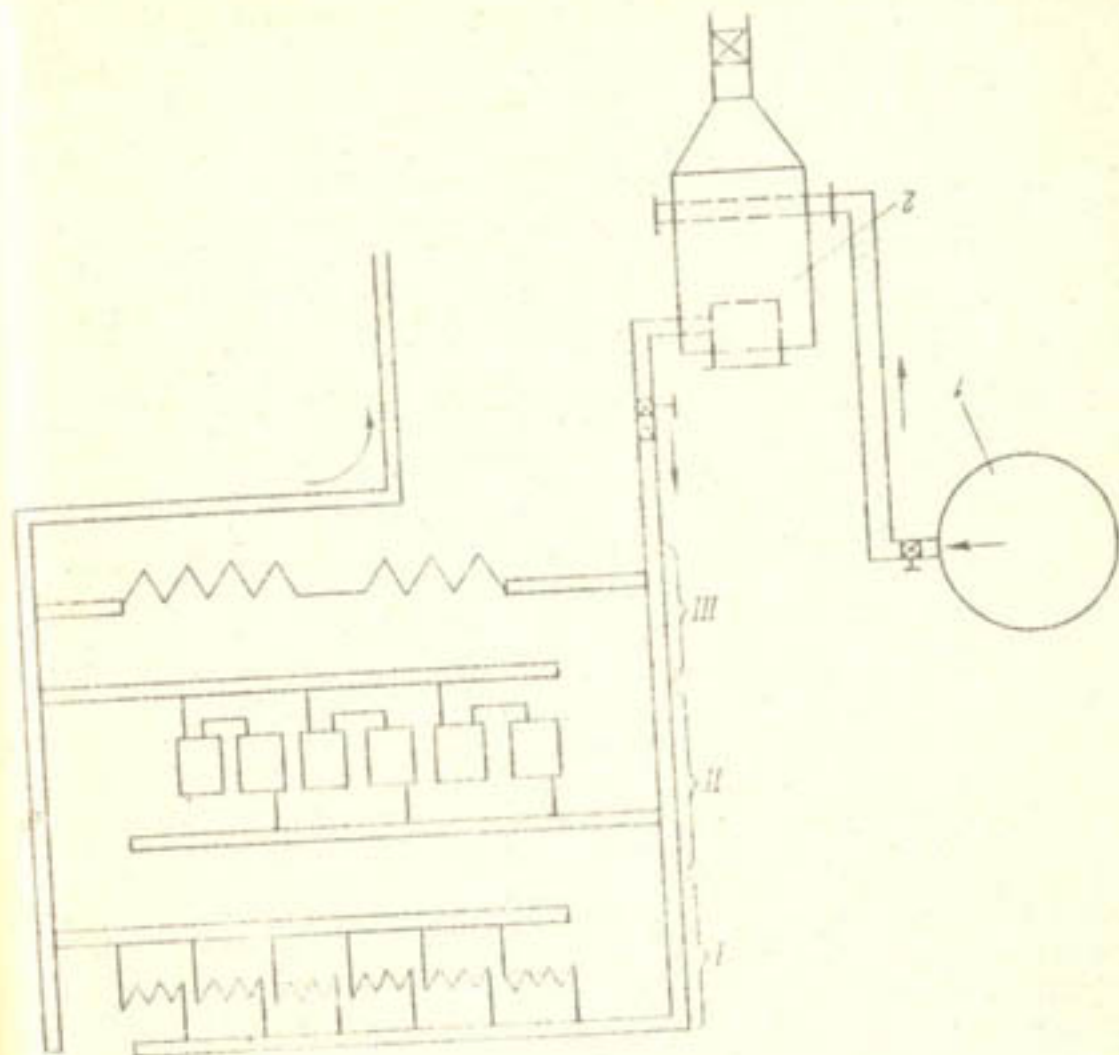


Рис. 52. Схема системы охлаждения электродвигателя: I — напорный трубопровод; 2 — песколовка; I и II — маслоохладители; III — воздухоохладитель.

тов и других местных сопротивлений, которые вызывают большие потери напора и снижают давление в системе охлаждения. Охлаждаемые системы находятся на разных отметках, поэтому регулировку давления в них приходится осуществлять практически вручную.

По проекту система охлаждения рассчитана на автономную работу и только в аварийных случаях, при замене какого-либо узла, системе заводится для обеспечения охлаждения других агрегатов, но при этом необходимо следить за состоянием обрат-

ного клапана на трубопроводе остановленного агрегата, так как при его неисправности, работающие агрегаты остаются без охлаждающей воды. Такой случай имел место в эксплуатации на ИС-3. Поэтому следует установить сигнализацию, что, к сожалению, не предусмотрено в проекте.

7.4.2. Система смазки направляющих подшипников насоса

Согласно проекта Кузнецовского филиала института "Гидропроект" им.С.Я.Куца при строительстве насосных станций было предусмотрено сооружение для осветления воды технического водоснабжения, включающее успокоительную камеру, артезианский смеситель, вертикальный отстойник и резервуар осветления воды. В дальнейшем проект был дополнен горизонтальным двухсекционным отстойником. При строительстве первых насосных станций вместо осветлительной установки были сооружены двухкамерные закрытые отстойники с реагентной очисткой воды.

Во время опытной эксплуатации их выявились следующие существенные недостатки:

- дренажная система, оборудованная насосами промывки и откачки отстоя, не обеспечивает удаления выпавшего осадка со дна отстойника;

- предусмотренная система хранения коагулянта, приготовления и дозирования раствора сложная по своей конструкции;

- конструкция узла отбора осветленной воды не позволяет использовать полезный объем отстойников без постоянной подпитки;

- затруднено регулирование расхода осветляемой воды через отстойник, вследствие чего отстойник работает с постоянным переливом;

- трудоемка очистка отстойников, в связи с чем постоянно требуется ручная очистка по выполнению всех технологических операций.

В связи с этим в эксплуатацию были приняты отстойники разработанные институтом "Среднегидроводхлопок" - открытого типа, обеспечивающие качественный отстой воды и позволяющие производить их очистку без применения ручного труда.

Служба эксплуатации построила открытые отстойники, вначале земляного типа, а затем с бетонной облицовкой.

Открытые бетонные отстойники были построены с расчетом на самозаполнение из промежуточного отводящего канала. Водозабор из отстойников осуществлялся из верхних осветленных слоев воды со сторо-

ны противоположной заливки, с помощью поплавкового устройства. Поплавковый водозабор размещается на понтоне, изготовленном из двух заваренных по торцам труб 1, соединенный с гофрированным шлангом 2 и с трубой 3, подающей воду в систему смазки (рис.53). В отстойнике 4 имеется сливная труба для его опорожнения и очистки. С этой целью дно отстойника имеет уклон в сторону сливного приема. По контуру отстойника сделана защита от ветровой эрозии в виде ограждения, и озеленения.

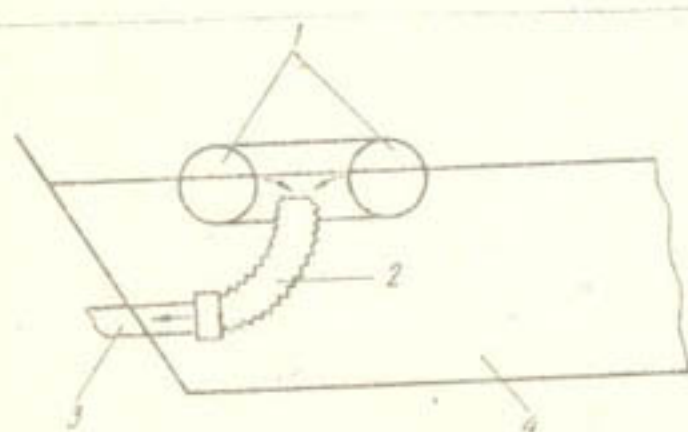


Рис.53. Водозабор системы смазки направляющих подшипников насосов из горизонтального отстойника: 1 - поплавок (понтон); 2 - гофрированный шланг; 3 - отводящая труба на систему подшипников насоса; 4 - отстойник.

Подача воды на смазку подшипников осуществляется с помощью вспомогательных насосов. В проекте, на каждый агрегат предусматривалась подача с помощью двух насосов 2К-6 (рабочий и резервный), которые требовали больших трудозатрат на их обслуживание и ремонт. В процессе эксплуатации эти насосы были заменены более мощными (4К-12), с единой системой для всех агрегатов. На каждом подводном к агрегату трубопроводе были установлены индукционные расходомеры, которые дали возможность контролировать расход воды на каждый агрегат. В зависимости от расхода поступающей воды на агрегат судили о состоянии торцевых уплотнений подшипников.

7.4.3. Маслохозяйство

Учитывая, что каждый агрегат требует на одну заливку более 3-х тонн, а для всех насосных агрегатов каскада 108 тонн турбинного масла (УТ-30) было организовано централизованное маслохозяй-

ство с установками для регенерации масла. На каждой насосной станции оборудовали приемно-сдаточный пункт, для концентрации уже отработанного масла, а в другой специальной емкости содержали свежее масло пригодное для использования. Опыт эксплуатации показал, что после каждой холостой прокрутки агрегата, а также ремонта подшипников целесообразна замена масла, что и производилось службой эксплуатации.

В процессе эксплуатации электродвигателя ВДС-375/130-24, в системе его смазки произведены некоторые изменения. Например, в заводском варианте в маслованне, при сливе, оставался мертвый объем, который вычерпывали вручную. В настоящее время сделан слив со дна маслованна, который обеспечивает вытекание всего масла без остатка, что значительно ускорило ремонтные работы. При монтаже гидрпровода тщательно производилась очистка внутри его и после завершения монтажа система маслопровода закольцовывалась и через нее насосом прогонялось масло с последующей заменой фильтра. В связи с этим следили и не допускали подтеков масла через вентили и соединения, что иногда приводило к загрязнению двигателя и его преждевременному износу.

7.4.4. Дренажная насосная станция

Дно в водосборнике дренажной насосной станции (насосной станции откачки) заглублено значительно ниже уровня воды нижнего бьефа. Всевозможные утечки уплотнений основных и вспомогательных насосов, фильтрация воды, поступают через дренаж в водоприемник насосной станции откачки и из него перекачиваются с помощью дренажных насосов в нижний бьеф. Оси рабочих колес дренажных насосов находятся на уровне верхней отметки мокрой потерни, поэтому для их пуска (заливки перед пуском) требуется заблаговременно заполнять потерну. В связи с этим всасывающие трубы насосов находятся в зоне переменного увлажнения и часто выходят из строя из-за коррозии. Для демонтажа и монтажа насосного оборудования в помещении дренажной насосной станции не предусмотрено грузоподъемное оборудование, что усложняет ремонт насосов и замену всасывающих труб. Нецелесообразным, с точки зрения безопасности, является принятое совмещение распределителя с насосным оборудованием дренажной станции.

7.5. Контрольно-измерительные приборы и аппаратура

Принятый способ замеров верхнего и нижнего бьефов по схеме сельсин-датчик не оправдал себя в эксплуатации и заменен другим,

основанным на базе релейного преобразователя, зарекомендовавшим себя более удовлетворительно. Однако, предложенный и внедренный метод контроля за бьежами требует постоянной подстройки прибора после отключения сети и повторных пусков насосных агрегатов при разных уровнях воды в каналах.

Проектная схема разворота лопастей по тем же причинам, также по неудобству в эксплуатации была заменена схемой, работающей на базе прибора ДИРА-13, исключающей вышеперечисленные недостатки. Прибор ДИРА-13 имеет дифференциально-трансформаторную схему, исключающую погрешности внешних магнитных полей, имеет реостатный зарядник, обеспечивающий выдачу сигналов на пульт управления, указывающий угол разворота лопастей рабочего колеса насоса (рис.54). Кроме того, позиционный регулятор производит автоматическую установку пускового узла, что значительно упрощает эксплуатацию насосного агрегата. Прибор ДИРА-13 утвержден Госстандартом, имеет погрешности $\pm 1,5\%$ или ± 15 , взаимозаменяем, при подаче напряжения (после погрешности нагрузки) восстанавливает истинное значение показаний.

В период эксплуатации также не оправдали себя приборы реле потока РП. По предложению САННИРИ был применен индикаторный способ учета расхода воды на базе ротаметрического расходомера ИРС, с выдачей показаний на вторичный прибор, установленный на пульте управления, что позволяло вести постоянный контроль за расходом воды на смазку направляющих подшипников насоса. Расходомер ИРС внедрен на всех насосных агрегатах каскада (рис.55). Производится работа по усовершенствованию термоконтроля узлов насосного агрегата. Взамен кабеля со свинцовым покрытием и жесткой оболочкой неудобной в монтаже, с резиновой изоляцией, которая выходит из строя под действием масла, на термосопротивлении к защитному чехлу припаивался гибкий провод ПТСД-2, что исключило поломки при демонтаже и монтаже и тем самым удлинило срок службы датчиков. Новый провод имеет металлический экран, защищающий его от внешних магнитных полей и тем самым улучшает точность замера приборов термоконтроля.

Для улучшения условий эксплуатации, а также для повышения надежности произведен ремонт коммутаций щитов управления с заменой алюминиевого провода на медный. Упорядочена схема клеммных рядов.

К недостаткам КИПиА следует отнести плохую работу приборов для осуществления контроля за параметрами насосных агрегатов. На одном из агрегатов нет расходомеров и приборов контроля параметров

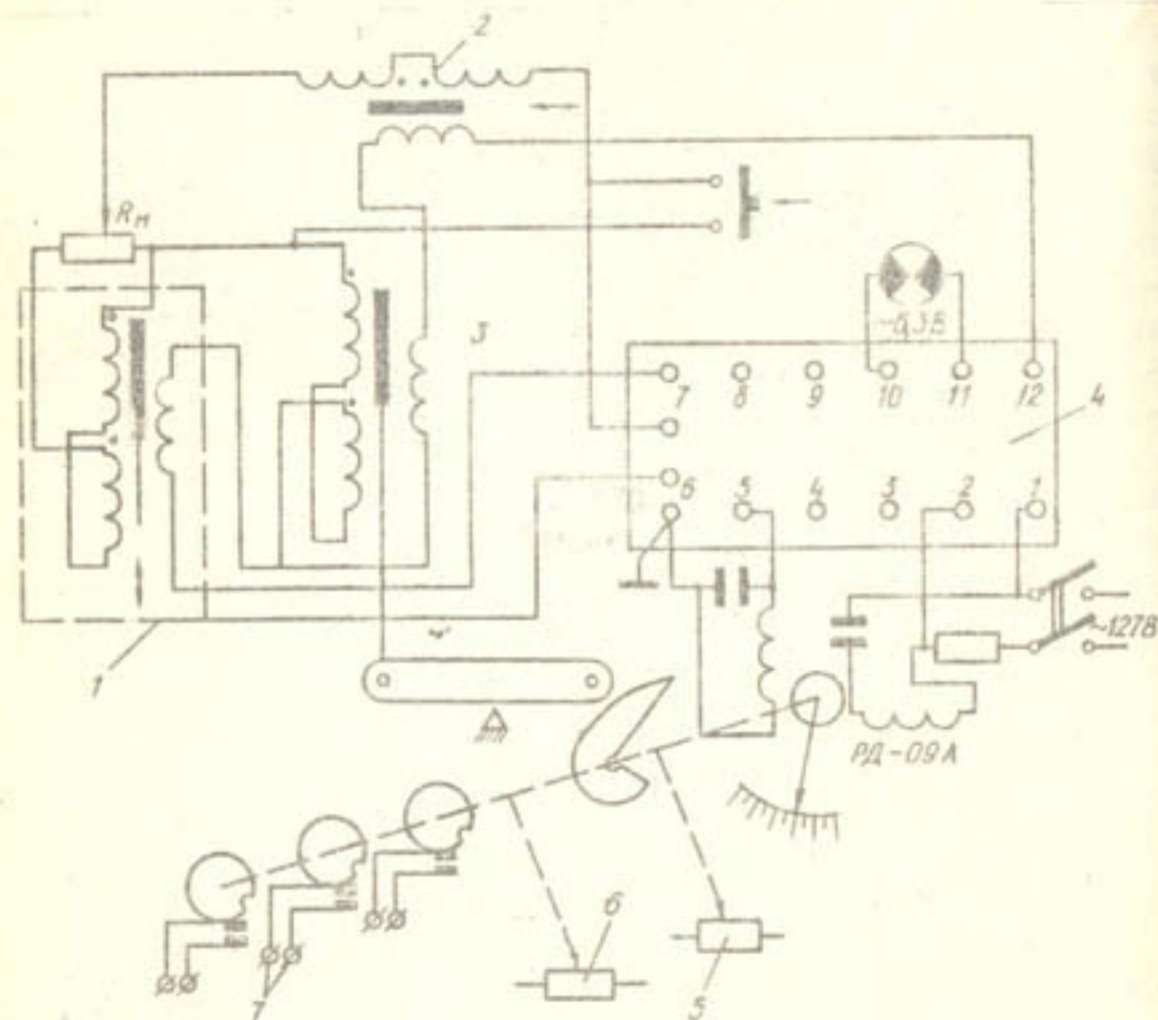


Рис.54. Схема устройства контроля угла разворота лопастей рабочего колеса насоса: 1 - дифференциальный трансформатор измерительного преобразователя; 2 - корректирующая катушка; 3 - дифференциальный трансформатор прибора; 4 - усилитель УЭМ-213К; 5 - задатчик; 6 - расхорд дистанционной передачи показаний; 7 - сигнал.

сифонов.

Восстановить проектную схему измерения подачи насосов не удалось. Она оказалась неработоспособна: забивают мусором и илом закладные трубы, заложенные в монолите на колене всасывающей трубы.

В настоящее время внедряется новая схема электромагнитного расходомера с интегратором типа ИР-56. Однако, при первичном спро-

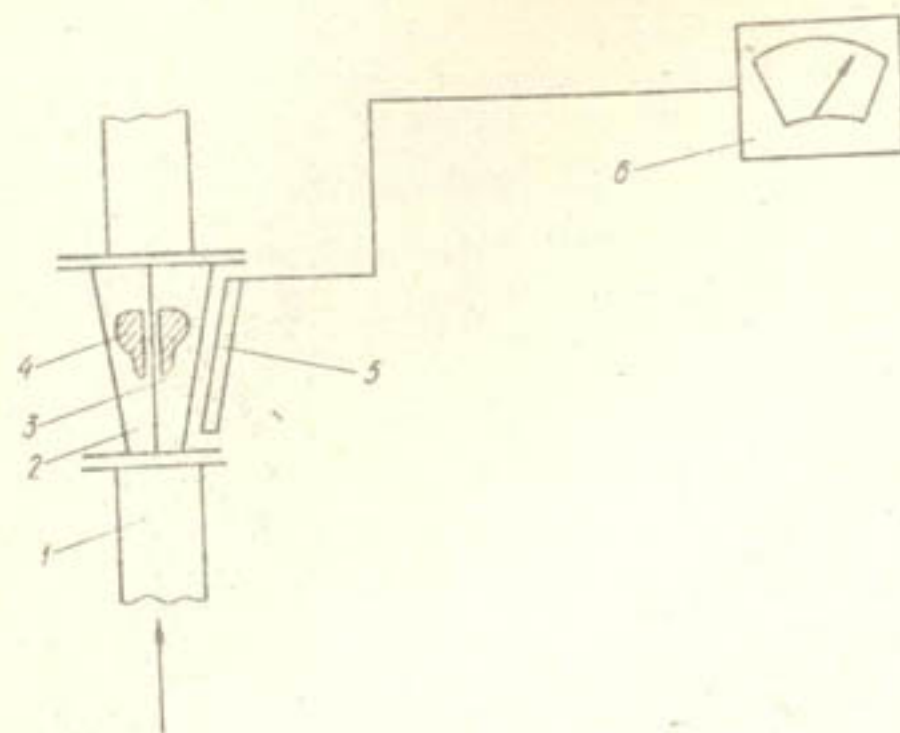


Рис.55. Схема установки индикатора расхода подачи воды на смазку подшипников насоса: 1 - трубопровод; 2 - корпус (стакан); 3 - направляющая струна из капрона или нержавеющей стали; 4 - плавающий магнит (герком); 5 - катушка, определяющая положение магнита; 6 - указатель расхода.

бывании прибора магнитная система со штангой, представляющая собой неразъемный узел, изготовленный из стали 12Х18Н10Т, оказалась ненадежной в условиях высокомутных вод (от налипшего мусора штанга сгибалась и выходила из строя). Настройка на "нуль" требует заполнения напорного трубопровода неподвижной водой.

Учитывая, что новый тип ультразвукового способа измерения расхода жидкости не зависит от количества плавника и наносов, проходящих по трубопроводу, УЗ КМК и НС считает целесообразным применить расходомеры УЗР-В.

В настоящее время внедряется прибор по определению равномерности осевой нагрузки на сегментах подпятника.

Нормальная работа подпятника (сегментов) в основном зависит от равномерности распределяемой нагрузки, которая при соблюдении технологии сборки или ремонта зависит от качества окончательной подбивки. До настоящего времени эта операция ничем не

шандор, решаток и другого вспомогательного оборудования.

В настоящее время для обслуживания ремонтами Каршинского каскада насосных станций принято решение о создании такой базы. Отведено место и начато ее строительство и оснащение. Однако пока еще все виды ремонта осуществляются ПМК в центральной ремонтной мастерской, предназначенной для обслуживания землеройной техники.

Новая ремонтная база будет организована в г.Талимарджане.

Рассчитывается, что здесь будут храниться и одновременно находиться в ремонте до шести-восьми рабочих колес насосов, валов и других деталей, привезенных на капитальный ремонт. Будут изготавливаться мелкие нестандартные конструкции и метизы, гидравлические системы, осуществляться перемотка электродвигателей и эксплуатационная наладка систем электропривода и т.д.

Расчеты необходимых площадей ремонтной базы проведены из условия одновременного капитального ремонта одного насосного агрегата ОПВ-260.

Ориентировочная потребность в площадях для ремонтной базы, с учетом обслуживания всего каскада, включая НС-7 Талимарджанского водохранилища, составляет 8000 кв.м. Годовая стоимость ремонтов порядка 1 млн. рублей. Оборудование подобрано по рекомендациям заводов-изготовителей "Уралгидромаш" и "Уралэлектротяжмаш".

8. СВЯЗЬ С НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМИ ИНСТИТУТАМИ И ЗАВОДАМИ

С целью изучения эффективности внедрения технических новшеств а также разработки предложений по улучшению работы каскада насосных станций и работе на объектах Каршинского магистрального канала привлекается ряд ведущих научно-исследовательских институтов страны. Тесная связь существует с заводами-изготовителями "Уралгидромаш" и "Уралтяжмаш". Содружество с научно-исследовательскими институтами и предприятиями ведется по следующим направлениям:

- улучшение технологии водоподдачи;
- модернизация технологического оборудования;
- улучшение качества ремонта, механизация трудоемких работ;
- внедрение средств автоматизации.

По проекту Куйбышевского филиала института "Гидропроект" им. С.Л.Жука предусматривалось поддерживать уровни нижнего бьефа на-

сосной станции №1-3м, а насосных станций №2-6 - 3 м. Такой режим приводил к неустойчивой работе агрегатов, частой их кавитации, быстрому износу подшипников. Специалистами УЭ КМК и НС совместно с работниками институтов ВНИИГим, Совэзипропроект была разработана новая технология водоподдачи с применением подпорных режимов. При этом уровни нижних бьефов, в зависимости от числа работающих агрегатов, повысились на НС №1 до 0,4-5,8 м, на НС №2 от 7,90 до 9,8 м, на НС №3 от 7,8 до 86,8 м, на НС №4 от 7,90 до 9,5 м, на НС №5 от 8,1 до 8,5 м и на НС №6 от 8,1 до 8,9 м. Применение новой технологии водоподдачи с применением подпорных режимов привело к значительному сокращению потребления электрической энергии, увеличению ресурса работы насосных агрегатов.

В течение ряда лет САНИИРИ им.Журина занимается вопросами улучшения условий водозабора. САНИИРИ совместно с работниками Управления эксплуатации был внедрен ряд мероприятий, улучшающих условия бесплотинного водозабора, значительно повысивших экономический эффект. Так, например, перенесение водозабора в верх по течению позволило поднять уровень воды в подводящем канале.

Внедрение данного устройства позволило значительно сократить донные и взвешенные наносы, поступающие в магистральный канал. Экономический эффект составил 939000 рублей.

Эксплуатационным персоналом каскада насосных станций совместно со Среднеазиатским филиалом ВНИИГидромаш и ВНИИГимом разработаны и внедрены самодействующие клапаны срыва вакуума с электромагнитной защелкой СКСВЗ, изготовленные заводом "Уралгидромаш" и ИПО "Технолог". Внедрение новшества позволило расширить диапазон работы насосов, увеличить их ресурс, исключить аварии при внезапном отключении электроэнергии, увеличить число допустимых остановок насосных агрегатов в межремонтный период и привело к значительной экономии электроэнергии, порядка до 9,5 млн. кВт/час в год.

Ввиду того, что мутность Амударьинской воды доходит до 14 мг/л происходит быстрый износ подшипников и вала. С целью увеличения сроков службы подшипников ВНИИГим, УЭКМК и НС и Среднеазиатского филиала ВНИИГидромаш разработали и внедрили в постоянную промышленную эксплуатацию замкнутую систему смазки, которая создает единый объем технической воды для смазки направляющих подшипников, препятствуя попаданию в них перекачиваемой воды, увеличивая тем самым ресурс работы подшипника и насосного агрегата в целом.

Совместно с кафедрой "Использование водной энергии и насосные станции" ТИИМСХ в последние годы проводятся научно-исследовательские работы по анализу качества технической воды, совершенствованию системы технического водоснабжения и охлаждения, исследованию сифонных водовыпусков и всасывающих труб насосов типа ОПВ. Реализация этих работ позволяет улучшить эксплуатацию системы технического водоснабжения, снизить расход воды на технические нужды, повысить надежность и экономичность водовыпусков насосных станций.

Ввиду большой сложности и трудоемкости ремонта насосного агрегата, одним из важных факторов себестоимости перекачиваемой воды является снижение затрат на ремонт основного оборудования. Этими вопросами занимаются ВНИИГидромаш, СредазВНИИГидромаш совместно с заводом "Уралгидромаш" и НПО "Технолог". Так при ремонтных работах внедрен специальный рабочий станок, позволяющий производить расточку посадочных мест нижнего направляющего подшипника в выправляющем аппарате без демонтажа последнего. Внедрение такого станка позволило добиться экономического эффекта порядка 230000 рублей.

СредазВНИИГидромаш совместно с НПО "Технолог" создана и внедрена тележка для монтажа и демонтажа рабочих колес насосных агрегатов ОПВ10-260 и ОПВ11-260. Применение данной монтажной тележки значительно сокращает время на демонтаж и монтаж рабочего колеса насоса и облегчает условия труда слесарей-монтажников.

Ленинградским политехническим институтом им. М.И. Калинина проводятся работы по комплексным гидродинамическим и вибрационным исследованиям работы насосных агрегатов по плану важнейших научно-исследовательских работ. В результате первого этапа проведенных работ установлено, что аварийные переходные процессы в насосном агрегате происходят, в основном, при внезапном отключении электродвигателя. Любое изменение режима работы насосной станции вызывает электромагнитные, механические и гидравлические переходные процессы. Более опасными для оборудования являются переходные процессы и они должны учитываться при проектировании и эксплуатации насосных станций. Исследования в этом плане продолжаются.

На насосных станциях Карпинского магистрального канала эксплуатируется большое количество насосов типа ОПВ10-260, ОПВ11-260, 8НП-4, 10НП-26, 6НП-6, НПС-1-13, 6-К12 и др., выпускаемые ВПО "Со-

взнасосмаш".

В процессе и эксплуатации выявилась необходимость осуществления контроля качества ряда деталей насосов. Наличие скрытых внутренних и поверхностных дефектов в деталях к созданию аварийных ситуаций и большим затратам для их устранения. Для исключения аварийных ситуаций службой эксплуатации совместно со специалистами Казанского института ВНИИТнасосмаш проведена разработка и внедрение прогрессивной технологии неразрушающего контроля крепежных деталей осевых деталей осевых и других насосов. Данная разработка предусматривает контроль во всех стадиях изготовления крепежных деталей с использованием структуроскопии. Отличительной чертой данного процесса является обратная связь, входной контрольно-изготовление-контроль-эксплуатация и авторский надзор со структуроскопией. От внедрения данной перспективной технологии, имеющей обратную связь материал-контроль-изделие-контроль, повышается надежность и качество изделий.

Управлением эксплуатации каскада совместно с организациями объединения "Союзводсистемаавтоматика" внедрены устройства измерения температуры подпятников и подшипников с автоматическим оббеганием и цифровой информацией точек измерения, что позволило улучшить качество ремонта и увеличило срок службы подпятника.

Содружество Управления эксплуатации с проектными и научно-исследовательскими, учебными институтами, заводами-изготовителями, предприятиями позволило постоянно снижать себестоимость перекачиваемой воды, улучшать культуру производства и увеличивать подачу перекачиваемой воды.

Краткие итоги опыта эксплуатации КМК и НС за 1973-1985 гг.

Особенностью эксплуатации каскада насосных станций следует отметить совмещенность работы первых агрегатов со строительством станции, монтажом, наладкой и пуском в эксплуатацию последующих агрегатов. Одновременно проводились длительные исследования по определению оптимальных режимов работы насосных механизмов, канала и сооружений.

Персоналом Управления эксплуатации постоянно ведется большая работа по совершенствованию узлов насосных агрегатов, улучшению эксплуатации и качеству ремонта, определению оптимальных режимов

работы оборудования, канала и сооружений, что позволило повысить надежность работы основных узлов насосных агрегатов, значительно увеличить межремонтный период основного и вспомогательного оборудования и в течение ряда поливных сезонов работать в форсированном режиме, с подачей до 220 куб.м. воды в секунду.

В 1975-1985 гг. сотрудниками каскада были разработаны и внедрены ряд принципиально новых конструкций, признанных изобретениями СССР.

Успешная работа рационализаторов и изобретателей, правильная и грамотная эксплуатация оборудования и сооружений, внедрение средств автоматики, телемеханики и информации позволили ежегодно увеличивать подачу и экономить электроэнергию.

Потребление и экономия электроэнергии характеризуется следующими цифрами:

Таблица 30

Г о д ы	В тыс. кВт/час			Примечание
	Планируемый расход электр. энерг. на воду	Фактический расход элект.	Экономия	
1973	116 311,9	112 052,6	-4 259,2	
1974	524 728,8	506 978,8	-17 750,1	
1975	1047 570,7	1033 781,7	-12 875,0	
1976	1177 397,6	1168 056,6	-11 341,0	
1977	1380 284,1	1373 226,0	-7 058,1	
1978	1575 513,6	1562 499,5	-13 014,1	
1979	1602 040,4	1566 683,2	-35 357,2	
1980	1745 211,8	1720 403,8	-24 808,0	
1981	1847 133,4	1813 718,5	-33 414,9	
1982	2104 561,0	2087 600,2	-17 060,8	
1983	2231 425,6	2210 702,1	-20 723,5	
1984	2349 289,1	2328 890,6	-20 398,5	

За тринадцать лет работы каскада, с начала эксплуатации и по настоящее время, в целях увеличения надежности оборудования выполнены следующие изменения по сравнению с проектом:

1. Подпорный режим

Принятые в проекте режимы работы насосных станций и подпоры

над рабочими колесами осевых насосов НС 2-6 приводили к неустойчивой работе насосных агрегатов: частой их кавитацией, помпажу, выходу из гидравлического режима. Эти явления удалось ликвидировать путем внедрения нового увеличенного подпорного режима.

2. Отказ от головного регулятора

При существующем бесплотинном водозаборе головной регулятор создает перепад до 70см, что затрудняет забор воды из р.Амударьи особенно в вегетационный период и, кроме того, создает трудности для перемещения земснарядов при очистке подводящей части канала от заиления. Поэтому головной регулятор не был построен.

3. Перенос водозабора (вторая голова)

В районе водозабора основной поток Амударьи непрерывно блуждает по широкой пойме, изменяя свое направление. Вследствие этого, особенно в период межени и в маловодные годы, плановый водозабор был затруднен из-за неустойчивости основного потока.

В 1981 году принят в эксплуатацию новый участок подводящего канала, длиной 1,60 км и берущий свое начало у скального берега мыса Пулизиндан.

Устойчивый берег реки при входе в канал и осуществление водозабора выше по течению создали дополнительный подпор у насосной станции №1, обеспечивающий более высокую надежность водозабора и большую пропускную способность подводящего канала, особенно в периоды низких уровней в реке Амударье.

У порога входа в канал оставлена подводная дамба с целью удержания донных наносов. Она создает значительный эффект при условии наличия перед ней углубления относительно дна реки, так называемого "кармана" и постоянной очистке его от заиления. Эта работа выполняется электрическими снарядами, сброс пульпы осуществляется в проходящий поток русла реки.

После ввода в эксплуатацию нового водозабора в подводящей части КМК, происходило разрушение левобережной дамбы; особенно тяжелое положение создавалось при высоких горизонтах воды в реке. Была проведена конструкция левобережной дамбы: ее удлинили примерно на 10 км, с последующим железобетонным укреплением носовой части, набросками рваного камня с тяжелым грунтом на откос. Эти мероприятия позволили обеспечить гарантированный водозабор, снизить ежегодные эксплуатационные расходы на восстановление и защитить дамбу во время паводка.

4. Реконструкция решетки СУС (сороудерживающего сооружения) насосной станции К1

Предусмотренный проектом вариант очистки входа у насосной станции К1 от плавающего мусора с помощью решеткоочистительной машины РСМ практически себя не оправдал. В настоящее время решетки СУС переделаны. Из двух половин решетки сделан один облегченный вариант с мусоронакопительными штырями.

5. Запань для улавливания плавающего мусора на входе к насосной станции К1 и входе в голову канала

Установленная решеткоочистительная машина не справлялась со своими функциями, поэтому в аванкамере насосной станции К1 перед входом в приемные камеры под углом 30° , относительно течения воды, была установлена плавучая запань. Она позволила отводить скопление поверхностного плавающего мусора к берегу и производить его уборку механизмами.

В р. Амударье перед головой канала установлена аналогичная конструкция, которая отталкивает плавающий мусор от входа в канал и способствует уносу его речным потоком.

6. Применение на подводящем канале однокамерного отстойника вместо двухкамерного

По проекту было предусмотрено строительство двухкамерного отстойника в виде двух параллельных участков канала, в конце слияния которых предусматривалось строительство головного регулятора. Исходя из накопленного опыта эксплуатации и учитывая специфику очистки канала земснарядами, отказались от двухкамерного способа очистки. В голове канала построили однокамерный отстойник, дно которого было заглублено на 2 м и увеличена ширина. Очистка отстойника производится поэтапно, охватывая половину ширины канала и на всю длину расширенного участка. Это позволило облегчить маневренность земснарядов и производить укладку наносов по двум берегам.

7. Переход на цельносварную конструкцию лопасти рабочих колес насоса ОПВ-II-260

Недостаточное заглубление насосов ОПВ-II-260 НС К1 не позволяло обеспечить подачу требуемого расхода при низких уровнях воды в реке. Подпор этой насосной станции целиком зависит от уровня воды реки Амударьи.

В связи с этим с 1975 года начались аварийные выходы из строя насосных агрегатов из-за срыва лопастей рабочих колес, так как их болтовое крепление оказалось ненадежным.

Рабочие колеса насосов НС К1 были переведены на цельносварную конструкцию, после чего обрывы лопастей прекратились.

8. Автодорожный мост на ПК 62-80

Автодорожный мост на ПК 62-80 не достроен в связи с тем, что он мешает работе земснарядов при очистке подводящего канала, создавая трудности при их маневрировании. Поэтому, в дальнейшем необходимо или отказаться от строительства моста или предусмотреть конструкцию с раздвижным пролетом, учитывая габариты земснаряда.

9. Реконструкция акведука на ПК 364

В связи с переходом на подпорный режим, акведук на ПК-364 оказался подтопленным и создавал перепад до 25-30 см. В связи с этим, в период осушения канала, верхний пролет акведука был демонтирован. Предусмотрена его реконструкция.

10. Реконструкция сифона насосной станции К2

Малое расстояние (0,9 км) между насосными станциями К2 и К3, отсутствие регулировочной емкости в подводящем канале НС К3 не позволили увеличить подпор над рабочими колесами третьей насосной станции и усложнили их эксплуатацию.

Чтобы улучшить условия работы насосной станции К3, по предложению эксплуатационников, гребень сифона НС К2 был поднят на 0,3 м, что позволило, соответственно, увеличить подпор и уменьшить напор насосной станции К3, за счет подъема уровня воды в подводящем канале. Кроме того, была наращена дамба канала, поднята ее отметка.

11. Гаситель волн между насосными станциями К2 и К3

При работе каскада в форсированном режиме, особенно в случае внезапного отключения электроэнергии, из-за незначительного расстояния между насосными станциями К2 и К3, волны перехлестывались через бермы канала, что могло привести к разрушению бетонной облицовки.

В настоящее время по рекомендации САННИРИ ведется строительство гасителя волн.

12. Реконструкция клапана срыва вакуума (КСВ) на сифонном водовыпуске насосной станции

Клапаны срыва вакуума конструкции инженера Мамзалева, установленные в сифонных водовыпусках сооружений на первых смонтированных насосных агрегатах, не обеспечивали герметичность сифонов, что привело к перерасходу электроэнергии и ухудшению условий работы насосов. Кроме того, они значительно усложняли эксплуатацию насосных агрегатов. В связи с этим они были заменены простейшими гидравлическими клапанами срыва вакуума (КСВ) — аэрационными трубами, которые хорошо зарекомендовали себя при работе одного и двух насосных агрегатов. При увеличении количества работающих агрегатов диапазон действия аэрационных труб не соответствовал требованиям эксплуатации, поэтому была выполнена модернизация устройств для срыва вакуума. Однако это новшество имело недостатки:

зарядка сифона осуществлялась при ограниченных горизонтах верхнего бьефа, что позволяло нормально работать при низких горизонтах;

создавалось дополнительное сопротивление в проточной части напорного трубопровода;

после отключения агрегата срыв вакуума происходил с задержкой по времени.

В настоящее время на каскаде внедрен новый клапан срыва вакуума электромагнитного типа с расширенным диапазоном действия. Внедрение его позволило сократить время работы агрегатов в угонном режиме, снизить напор насосных агрегатов, особенно на НС-6, что естественно, позволило снизить расход электроэнергии.

13. На каскаде была произведена большая работа по антикоррозионной защите металлоконструкций насосных станций, напорный трубопроводов, кранового хозяйства и основного оборудования.

14. Замена проектных тележек для транспортировки рабочих колес

Новая конструкция тележек для транспортировки рабочих колес позволила значительно снизить трудоемкость операций при ремонте насосных агрегатов, полностью механизировать подъем и спуск рабочего колеса, вес которого 12 тонн. Тем самым сократилось время замены рабочих колес, что особенно важно при максимальной нагрузке работы каскада.

15. Отказ от вторых мостовых кранов на НС 5Б и 5В

Проектом предусмотрена установка на каждой насосной станции двух мостовых кранов, грузоподъемностью 50 тонн. Согласно технологии ремонта демонтаж вала насоса должен выполняться с помощью двух мостовых кранов через транерс.

Практически такая технология оказалась неприемлемой и до настоящего времени демонтаж вала насоса выполняется с помощью одного мостового крана. Учитывая меньшую загруженность, наличие резервных агрегатов, на насосных станциях 5 и 6 принято решение оставить по одному мостовому крану.

16. Безреактивный пуск насосного агрегата

Реакторный пуск агрегатов ОПВГО-26С с электродвигателем БДС-375/24, который был предусмотрен проектом, заменен на прямой пуск, исходя из условий КМ (отдаленность от источника энергии).

Прямой пуск имеет преимущество в части более удлиненного периода набора оборотов от 0 до номинала. Это практически доказано испытаниями, проведенными совместно с заводом-изготовителем и специалистами научно-исследовательских институтов.

17. Замена насосов дренажной откачки: 6НЭ, 8НЭ на 6Г600/33 и 6Г450/30

Замена вызвана тем, что насосы 6НЭ и 8НЭ в настоящее время сняты с производства.

18. Отказ от насосной для полива территории НС 1-6

Существующая в настоящее время схема полива территории насосных станций от напорного трубопровода проста, экономична. Отпала необходимость строительства проектных насосных станций для полива.

19. Замена проектных приборов для контроля воды на смазку подшипников РП-40 на ИРС-1

В связи с тем, что принятые проектом реле проточка РП-40 не удовлетворяли требованиям эксплуатации, они были заменены более надежными индикаторами расхода воды ИРС-1.

20. "Крест" в помещении КРУ

По проекту предусмотрено выполнить "крест" снаружи здания на токопроводе. По предложению эксплуатации, учитывая сильные порывистые ветры и для облегчения обслуживания, "крест" перенесен внутрь

здания, в помещение КРУ.

21. Замена закрытых отстойников на открытые

По проекту на насосных станциях предусматривалось строительство трехкамерных закрытых отстойников с принудительным заполнением. Практика показала, что эксплуатация таких отстойников трудоемкая и требует содержания на каждой насосной станции дополнительно бригаду в 12 человек.

Построенные открытые отстойники по объемам в несколько раз больше, чем закрытые, очень удобны для производства очистных работ, которые производятся экскаватором "Малютка" каждые 2-3 года, в зависимости от заиливания. Забор воды производится со стороны, противоположной заполнению поплавковым способом.

Строительство подобных отстойников в несколько раз дешевле проектных. Заиливание открытых отстойников от ветровой эрозии, чего так опасались проектировщики, незначительно.

22. Замена насосов технического водоснабжения 2К-6 на насосы 6К-8

Согласно проекту в системе техводоснабжения, для смазки подшипников на каждом агрегате были установлены по два высокооборотных насоса типа 2К-6, которые при эксплуатации часто выходили из строя.

Службой эксплуатации была изменена схема подключения системы техводоснабжения, с осуществлением через общий коллектор, что позволило использовать всего лишь два насоса 6К-8, которые имеют большую производительность, меньшую частоту вращения и высокую надежность в эксплуатации.

23. Дренаж под компенсаторами

По проекту было предусмотрено, что утечки из уплотнений компенсаторов по дренажной канавке под нижним коллектором и по дренажному трубопроводу сбрасываются в нижний бьеф. После внедрения подпорного режима, нижние компенсаторы у насосных станций №2, 4, 5, 6 оказались подтопленными в нижней части. В связи с этим сток утечек из верхнего компенсатора сбрасывается в аварийный водосброс. Утечки из нижнего компенсатора удаляются путем слива в потерну.

24. Аккумуляторная

По первоначальному проекту питания вторичных коммутаций производится из аккумуляторной подстанции. С целью резервирования и оперативности, по рекомендации эксплуатационников, был разработан на

каждой насосной станции проект строительства аккумуляторной.

Одним из основных и наиболее важных отклонений от проекта является работа каскада в форсированном режиме, без резервных агрегатов. С 1977 года, в период вегетации, насосные станции 1, 2, 3, 4 работают шестью агрегатами, что затрудняет производством всех видов ремонтных работ. На ремонтные работы отводится крайне недостаточное количество времени, что приводит к эксплуатации оборудования на износ. В этих условиях работоспособность каскада, в первую очередь, зависит от надежности насосно-силового оборудования, чему на каскаде уделяется большое внимание.

Заслуживает внимание и требуют соответствующей поддержки для внедрения следующие технические предложения службы эксплуатации обеспечивающие высокую производительность головной части КМК:

внедрение металлопластмассовых подпятников. Такие сегменты изготавливаются на Чебоксарском заводе "Энергозапчасть" Минэнерго СССР;

внедрение замкнутой системы подачи воды на смазку подшипников;

автоматическая или плазменная наплавка вала насоса; замена всех рабочих колес на конструкцию с цельной цапфой; замена клапанов срыва вакуума на новую улучшенную конструкцию;

комплектование оборудованием РСММ (ремонтные электромеханические мастерские).

Установленные на каскаде насосные агрегаты с электродвигателями ежегодно ремонтируются. Каждый год капитальный ремонт проходят 12 основных агрегатов. Капитальный ремонт осуществляется с заменой вала и рабочего колеса. Остальные агрегаты ежегодно проходят текущий ремонт, через каждые 2000-2500 часов наработки производится замена подшипников насоса.

Ремонт электрического оборудования осуществляется по ходу ремонта насоса. На основные узлы и детали разработаны паспорта и ремонтные формуляры, работы выполняются согласно утвержденной технологии.

Благодаря проводимым мероприятиям по экономии электроэнергии, материально-технических ресурсов, увеличению надежности оборудования, обеспечению гарантированного водозабора, снижению затрат на очистку подводящего канала от заиливания, внедрению изобретений и

рационализаторских предложений, объем перекачиваемой воды в 1984 году увеличился до 5,2 млрд. куб. м., в то же время себестоимость одного куб. м. перекаченной воды снизилась, по сравнению с 1960 годом, на 0,04 коп.

За время эксплуатации каскада с 1973 по 1985 гг. сэкономлено более 13 млн. руб. Средняя заработная плата на одного работающего выросла с 200 до 214 руб., производительность труда повысилась на 7%.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Принятый бесплотинный водозабор в ЮМК, расположенный у песчанного неустойчивого берега, имеющего большие колебания уровней воды и несущего значительное количество наносов в виде песка, ила и плавника не обеспечивал необходимые расходы воды для нормальной работы каскада насосных станций.

Перенос головы водозабора в более устойчивое скальное ложе, устройство порога на водозаборе и установка плавучей конструкции по регулированию поверхностного потока с отводом плавающего мусора в значительной мере уменьшили количество наносов, поступающих в подводящий канал. Следует считать, что бесплотинный водозабор при его совершенствовании и более правильном выборе места может быть принят при проектировании и устройстве крупных насосных станций и их каскадов.

2. Облицовка машинных каналов монолитными железобетонными плитами в значительной степени способствовала уменьшению фильтрации и исключила заболачивание земель вдоль каналов. Скорости движения воды в каналах, между НС, при всех режимах обеспечивали транспортирование взвесей, не допуская размыва и нарушения облицовки.

3. Мосты и акведуки через машинные каналы целесообразно делать однопролетными, без опор в проточной части канала или, при необходимости, с опорами, имеющими обтекаемый профиль. В случае отсутствия водного транспорта расстояния от верхнего максимального форсированного уровня воды в канале до низа проезжей части моста рекомендуется принимать не менее 1,0 м. При въездах и съездах с моста, по берегу канала рекомендуется предусматривать оградительные стенки (парапеты).

4. Принятая по проекту аванкамера с вертикальными стенками параллельными оси потока в недостаточной степени выравнивала поток,

подходящий ко всем насосам. Перед всасывающими трубами образовались водовороты. В особо тяжелых условиях находились крайние агрегаты и, в сочетании с принятым малым подпором, это вызвало сильные вибрации и кавитацию насосов.

Установка дополнительной донной стенки и развитого входа позволили создать более равномерный подвод воды к насосам, в значительной степени уменьшить воронкообразование, подсосы воздуха, кавитационные явления и вибрации агрегатов. Рекомендуется продолжить научные исследования по созданию рациональной конструкции аванкамеры.

5. Применение (СУС) сороудерживающих сооружений работающих в условиях забора воды из источников несущих значительное количество плавника и мусора, не в полной мере отвечали предъявляемым требованиям. Плавник, собирающийся на решетках перед входом во всасывающие трубы трудно очищать (убирать). Он создает дополнительные увеличения напора насоса (перепады). Установка плавучей запани улучшила работу СУС. Однако, в условиях Амударьи не в полной мере и надежности. Поэтому на насосной станции №1 необходимо дополнительно устройство берегового кармана, собирающего плавник и позволяющего механическую его очистку.

6. Принятые открытые отстойники технического водоснабжения с ограждениями типа снегозащиты обеспечивали работу НС. Очистку их от наносов производить более просто, быстрее и дешевле. Техническое водоснабжение имеет лучшее обеспечение при централизованной подаче на всю станцию, а не на каждый отдельный агрегат.

7. Большие уклоны подъездных дорог к НС при подвозе оборудования больших габаритов создавали затруднения, особенно в зимний период. Рекомендуется при проектировании и строительстве НС соблюдать нормы уклонов подъездных дорог и площадок около здания.

8. Осевые насосы, разработанные ВНИИ Гидрошлем и изготовленные БПО "Уралгидрошлем", при условии их нормальной технической эксплуатации, вполне удовлетворяли условиям подачи больших масс воды с содержанием значительного количества взвесей (на подъемы до 24 м).

Крупные осевые насосы следует устанавливать с заведомо большим подпором. В частности, для условий каскада НС ЮМК насосы ОП11-260 и ОП10-260 обеспечивают бесперебойную работу при подпорах порядка 9,0-9,5 м. Центробежные насосы -- при подпорах 7,0-7,5 м.

9. С целью облегчения монтажа крупных элементов насосно-си-

лового агрегата (в основном длинного вала), в тексте по условиям техники безопасности, желательно в машинном зале устанавливать один мостовой кран. При этом соответственно увеличить высоту машинного зала.

Эксплуатация каскада была бы значительно облегчена при увеличении количества резервных агрегатов.

Монтаж насосных механизмов следует производить, начиная с дальнего от основного входа. Лифт и головную лестницу обязательно предусматривать только со стороны входа, с монтажной площадки.

10. Конструктивные недостатки гидравлической системы разворота лопастей рабочих колес насосов ОПИ-260 и ОПИО-260 часто приводили к вибрации агрегатов и поломке цапф лопастей. Бесточное крепление лопастей к втулке рабочего колеса позволило увеличить ресурс работы насосного агрегата, однако усложнило пусковые режимы и исключило возможность регулирования их работы.

Применение лопастей рабочих колес из нержавеющей стали уменьшило кавитационный износ. Однако этому явлению подвержены втулки рабочих колес, изготавливаемые из углеродистой стали. Желательно втулки рабочих колес и лопатки выправляющего аппарата изготавливать из нержавеющей стали. А корпуса подшипников, корпус и крышку сальника конуса изготавливать стальными.

11. Конструктивное исполнение закрытой системы смазки подшипников крупных осевых насосов в значительной степени увеличивает ресурс работы агрегата.

12. Из апробированных на НС НКК клапанов срыва вакуума, наилучшие результаты в работе показали ГУСВ с применением клапана с электромагнитной защелкой, позволяющего ускорить впуск воздуха в горловину сифона и сократить время угонного режима НС. Однако в каждом отдельном случае, в зависимости от напора и подачи НС, клапаны следует конструктивно дорабатывать с проведением натурных испытаний.

13. Охлаждение статора и подпятника (маслованни) электродвигателя, с целью увеличения его ресурса, желательно осуществлять очищенной водой, забирая ее из отстойника.

14. При длине напорного трубопровода до 100 м вполне достаточно одного компенсатора-расширителя. Его установить надо так, чтобы отвод просачиваемой через него воды осуществлялся непосред-

ственно в водосброс.

15. Аварийные сбросы с затворами в эксплуатации оказались неманевренными. Более целесообразно применение автоматического водосброса (водослива).

16. Закладные трубы (переходные части, выходящие из бетона) желательно изготавливать из нержавеющей стали.

17. Обеспеченность электроэнергией каскада насосных станций по второй категории иногда вызывала перебои в работе насосных станций и большие убытки из-за недопдачи воды. Рекомендуется при проектировании предусматривать обеспеченность электроэнергией каскадов крупных насосных станций по первой категории.

В условиях эксплуатации крупных насосных станций, и особенно каскадов, где источник их питания зависит от погодных условий, существующее ограничение ежедневными лимитами расхода электроэнергии нерентабельно.

18. Создание хорошо оборудованной ремонтной базы при крупных каскадах НС является обязательным.

19. Считать целесообразным иметь при каскаде насосных станций специализированное маслохозяйство, обеспечивающее централизованную очистку, регенерацию и сепарирование масла.

20. При проектировании и строительстве НС и каскадов насосных станций необходимо предусматривать комплектацию сухопутных и водных транспортных средств, обеспечивающих нормальную эксплуатацию.

21. Рекомендуется при проектировании каскадов насосных станций предусматривать аварийный запас основных частей гидромеханического и электротехнического оборудования, материалов и ремонтного специнвентаря.

22. Считать целесообразным в проектах НС предусматривать комплектование эксплуатационными инструментами и инвентарем в соответствии с техническими нормами.

23. Обязательно предусматривать телефонизацию управления всеми процессами внутри НС, а также связи с центральными базами, диспетчерскими пунктами и АСУ Управления эксплуатации. Считать целесообразным предусматривать передачу необходимых параметров всех НС на диспетчерский пункт.

24. Наличие на каждой НС помещения для аккумуляторной и опе-

ретиного тока в значительной мере улучшает эксплуатацию ИС.

25. Считать обязательным обеспечение каждой ИС диагностической аппаратурой по вибрации ИС.

26. Считать обязательным предусматривать в проектах укрупнительность технического управления каскада насосных станций паспортами станций или ее элементов и оборудования, эксплуатационными инструкциями, техническими условиями, наглядными пособиями безопасности и пожаротушению.

27. Отсутствие достаточно простых, надежных и точных расходомеров затрудняет учет поданной воды и нарушает взаимоотношения при расчетах с подпользователями. Считать целесообразным обратить внимание на отсутствие приборов, учитывающих водоподачу насосных станций и планировать их срочную разработку.

28. В проекте каскада насосных станций КМК не предусматривалась круглогодичная работа насосных станций, что сильно отразилось на эффективности использования кадров. Поэтому рекомендуется в штатном расписании насосных станций каскада и Управления эксплуатации предусматривать необходимое количество номенклатурных инженерно-технических работников и специализированных кадров, обеспечивающих безаварийную грамотную эксплуатацию в три смены круглый год.

Учитывая аналогичности гидросилового оборудования по мощности и сложности эксплуатации из крупных насосных станций и каскадов и гидроэлектростанциях с целью стабильности эксплуатационных кадров, предлагается ввести систему оплаты труда эксплуатационному персоналу насосных станций, действующую на ГЭС.

29. Отметить отсутствие специализированной подготовки кадров по эксплуатации насосных станций. Считать целесообразным рекомендовать централизованную подготовку кадров для эксплуатации насосных станций по всем профилям. Предусматривать пермолчискую переподготовку и аттестацию кадров по всем специальностям при Управлении эксплуатации.

30. Грамотно поставленная техническая эксплуатация КМК с каскадом из 7 крупных насосных станций позволила освоить свыше 200 тыс. га новых орошаемых земель Каршинской степи и с начала ввода в действие первых насосных агрегатов сэкономить 67,78 млн. руб.

Головой экономический эффект за последние годы достиг 12 млн. рублей.

Себестоимость одного кубометра поднятой воды сократилась за 13 лет с 0,878 коп. до 0,645 коп. в 1984 году.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по приемке в эксплуатацию крупных мелиоративных насосных станций. САННИРИ, Ташкент, 1970 г.
2. Организация управления объектами Каршинского магистрального канала с помощью средств автоматики, телемеханики и вычислительной техники. Д-71/72, САННИРИ, Ташкент, 1972 г.
3. Производственные исследования режима работ каскада насосных станций КМК. Д-47/73, раздел II, САННИРИ, Ташкент, 1973 г.
4. Обождение натурных данных по исследованиям русловых процессов на р. Амударья в районе водозабора КМК и разработка рекомендаций по бесплотинному водозабору. Д-8/73, САННИРИ, Ташкент, 1973 г.
5. Исследование методов эксплуатации каскада Каршинских насосных станций и способов повышения надежности насосных агрегатов. САННИРИ, Ташкент, 1973 г.
6. Лабораторные исследования схем бесплотинного водозабора в Каршинский магистральный канал на реке Амударья, САННИРИ, Ташкент, 1973 г.
7. Натурные испытания головных образцов насосов ОП10-260 и ОП11-260Г на Каршинском магистральном канале. Тема 19-83. ВНИИ Гидромаш, М., 1973-1974 гг.
8. Производственные исследования работы, условий эксплуатации, ремонта и обслуживания насосного оборудования, установленного на насосных станциях КМК. IT-74, 8/74, Средаз ВНИИ Гидромаш, Бектемир, 1974 г.
9. Исследование отложения наносов в головной части Каршинского магистрального канала. Д-37/74. САННИРИ, Ташкент, 1974 г.
10. Производственные исследования режима работы Каршинского магистрального канала. Д-6/74 б. САННИРИ, Ташкент, 1975 г.
11. Производственные исследования бесплотинного водозабора в Каршинский магистральный канал на р. Амударья. Д-6/74а, САННИРИ, Ташкент, 1974 г.
12. Рекомендации по регулированию русла и режима эксплуатации бесплотинного водозабора в Каршинский канал. Д-12/74а, САННИРИ, Ташкент, 1975 г.
13. Исследование воздуховодного варианта клапана срыва вакуума

- в сифонах Каршинских насосных станций в натуре. Д-52/75. САННИРИ, Ташкент, 1976 г.
14. Производственные исследования каскада Каршинских насосных станций в режиме постоянных объемов воды в промежуточных каналах. Д-59/75, САННИРИ, Ташкент, 1975 г.
 15. Технические предложения по повышению надежности отдельных узлов насосов ОПВЮ-260Г и ОПВІІ-260Г. СредазВНИИГидромаш, Бектемир, 1975 г.
 16. Исследования датчиков контроля износа направляющих подшипников крупных насосов. Тема І4-75, СредазВНИИГидромаш, Бектемир, 1975 г.
 17. Программа и методика исследований экстремальных узлов и деталей осевого насоса ОПВЮ-260Г. СредазВНИИГидромаш, Бектемир, 1975 г.
 18. Разработка принципов управления, технических средств для насосных станций Каршинского магистрального канала. Д-62/76, Том І, 2, САННИРИ, Ташкент, 1976 г.
 19. Изучение русловых процессов бесплотинного водозабора в КМК при резком увеличении водозабора из р. Амударья. Д-68/76д, САННИРИ, Ташкент, 1976 г.
 20. Исследование насосного режима Каршинского магистрального канала. Д-62/76, САННИРИ, Ташкент, 1976 г.
 21. Исследование положительных волн перемещения в Каршинском магистральном канале и разработка методов их гашения. Д-62/76 раздел 4, САННИРИ, Ташкент, 1976 г.
 22. Создание первой очереди системы технической диагностики насосного агрегата ОПЮ-260. Тема 0660-76-3. Этап ІУ. Зависимость вибрации насосных агрегатов ОПЮ-260 от технического состояния наработки, условий работы. Испытание опытного образца датчика контроля износа подшипников. СредазВНИИГидромаш, Бектемир, 1976 г.
 23. Натурные исследования бесплотинного водозабора КМК и подводящей части канала при резком увеличении водозабора из реки Амударья. Д-30/77, САННИРИ, Ташкент, 1978 г.
 24. Эксплуатационные исследования водовыпускных сооружений Каршинского магистрального канала. Д-24/77, САННИРИ, Ташкент, 1977 г.
 25. Разработка принципов управления и технических средств для

- каскада насосных станций Каршинского магистрального канала. Д-28/77, САННИРИ, Ташкент, 1977 г.
26. Исследование эксплуатационной надежности насосных агрегатов Каршинского магистрального канала. Д-17/77, САННИРИ, Ташкент, 1978 г.
 27. Лабораторные и натурные исследования сифонного водовыпуска и клапанов срыва вакуума насосной станции ІІ Каршинского магистрального канала. ВПИИЭИ "Гидропроект", ВНИИТМ., М., 1977 г.
 28. Разработка контрольно-измерительной аппаратуры для поддержания водозабора в Каршинском канале. Д-І-76, ТИИМСХ, Ташкент, 1977 г.
 29. Расчет неустановившегося течения в каналах Каршинского каскада насосных станций. Д-16-75, ТИИМСХ, Ташкент 1976-77 гг.
 30. Создание І-ой очереди системы технического диагностирования насосного агрегата ОПЮ-260. СредазВНИИГидромаш, Бектемир, 1977 г.
 31. Внедрение второй очереди системы диагностирования насосного агрегата ОПЮ-260 (анализ методов вибрационной диагностики, выбор метода диагностики) СредазВНИИГидромаш, Бектемир, 1978 г.
 32. Программа и методика экспериментальных исследований по определению осевой силы, действующей на роторе насоса ОПВІІ-260ЗГ. СредазВНИИГидромаш.
 33. Подконтрольная эксплуатация насосов типа ОПВЮ-260ЗГ и ОПВІІ-260ЗГ на ИС КМК и исследования насосного оборудования с выдачей рекомендаций. СредазВНИИГидромаш, Бектемир, 1978 г.
 34. Исследование эксплуатационной надежности насосных агрегатов Каршинского магистрального канала. Д-17/79, САННИРИ, Ташкент 1979 г.
 35. Натурные исследования по рациональным способам определения расхода воды на больших каналах (на примере рабочей части Каршинского магистрального канала). Д-8/79, САННИРИ, Ташкент, 1980 г.
 36. Регулирование русла и осадения наносов при бесплотинном водозаборе Каршинского канала на р. Амударья, Д-32/80, САННИРИ, Ташкент, 1981 г.
 37. Лабораторные исследования комплексного гидравлического уст-

- ройте для срыва вакуума. ВНИИ и ИИИ "Гидропроект", ВНИИИМ, М., 1980 г.
38. Натурные исследования насосных агрегатов с сифонными впускными, оборудованными гидравлическими устройствами для срыва вакуума. Промежуточный отчет. ВНИИ и ИИИ "Гидропроект" М., 1978-1979 гг.
 39. Расчет неустановившегося течения воды в подводящем канале насосной станции II Каршинского магистрального канала. ТИИМСХ, Ташкент, 1979 г.
 40. Программа и методика испытаний сальникового уплотнения насоса типа ОПВ-260. Этап I, ОССО-79-12, СредазВНИИГидромаш, 1979 г.
 41. Разработка второй очереди системы диагностирования насосного агрегата ОПВ-260. СредазВНИИГидромаш, Бектемир, 1979 г.
 42. Исследование и разработка методики нормирования удельного расхода электрической энергии по уровню нижнего бьефа и выбор оптимального режима работы насосных станций при заданных значениях водопотребления (расходов) по отдельным узлам водовыдела Каршинского магистрального канала. УзНИИЭиА, Ташкент, 1981 г.
 43. Разработка и исследования технологического процесса нанесения защитных покрытий на лопасти рабочих колес и корпусные детали крупных центробежных и осевых насосов, для условий Средней Азии. Тема ОВ51-80-89, ВНИИГидромаш, Специальное конструкторское бюро ВК, "Союзэнергозащита", М., 1981 г.
 44. Исследование эксплуатации элементов насосных станций. Д-II-81, ТИИМСХ, Ташкент, 1981 г.
 45. Подконтрольная эксплуатация насосов типа ОПВ-260Э на насосной станции КЖ "Сбор статистических данных о работе насосов типа ОПВ-2600 Диагностирование насосных агрегатов в поливной период с целью предотвращения аварий. Краткий отчет ОВ60-80-4, СредазВНИИГидромаш, Нариманов, 1981 г.
 46. Регулирование русла и режим наносов р.Амударья у водозаборного узла и подводящей части КЖ при интенсивном увеличении водозабора на орошение. Д-20/82, САИИТИ, Ташкент, 1984 г.
 47. Опытно-производственные испытания и исследования эффективности действия плавучего устройства для обеспечения равноценных условий подвода воды к всасывающим трубам насосных агре-

- гатов насосной станции II Каршинского магистрального канала. Д-1/82, САИИТИ, Ташкент, 1983 г.
48. Исследование переходных процессов в работе насосных агрегатов ОПВ-260 на насосной станции II Каршинского магистрального канала. ВНИИИМ, М., 1982 г.
 49. Исследование эксплуатации основного и вспомогательного оборудования и сооружений насосных станций. Д-13-83, ТИИМСХ, Ташкент, 1983 г.
 50. Разработка методов и нормативов для управления ремонтными работами на насосных станциях Каршинского магистрального канала. Д-28/84, САИИТИ, Ташкент, 1984 г.
 51. Исследование эксплуатационной надежности оборудования насосных станций КЖ. Д-54-84, ТИИМСХ, Ташкент, 1984 г.
 52. Гидродинамические и вибрационные исследования насосных станций с вертикальными осевыми агрегатами. ЛПИ им.Калинина, Л., 1984 г.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

ВВЕДЕНИЕ.	1
1. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ И КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАРИВНСКОГО МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА.	1
2. СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ, СОЗДАНИЕ СЛУЖБЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ.	2
3. ИСПЫТАНИЕ ГОЛОВНЫХ ОБРАЗЦОВ НАСОСОВ ОН10-260Г И ОН11-260Г.	3
3.1. Краткая характеристика насосного оборудования.	3
3.2. Проверка работоспособности узлов насоса.	3
3.3. Энергетические испытания.	3
3.4. Тарировка расходомерных створов.	3
3.5. Вибродиагностические испытания.	3
3.6. Гидромеханические (динамические) исследования.	3
3.7. Вибрационное состояние агрегатов ОН10-260Г и ОН11-260Г.	3
3.8. Испытание сифонного водовыпуска.	3
3.9. Основные выводы и предложения.	3
4. ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАНАЛОВ И НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ.	4
4.1. Водозабор в подводящий канал.	4
4.2. Головная машинная часть магистрального канала.	4
4.2.1. Оптимальные горизонты воды в аванкамере.	4
4.2.2. Оптимальные горизонты воды в верхних бьефах за водовыпускными сооружениями.	4
4.2.3. Регулирование подачи воды и рекомендации по пуску и остановке насосных агрегатов.	4
5. ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВАНКАМЕР И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УЛУЧШЕНИЮ ИХ РАБОТЫ.	5
5.1. Гидравлические исследования аванкамер.	5
5.2. Рекомендации по улучшению работы аванкамер и внедрению на каскаде насосных станций.	5

6. СИФОННЫЕ ВОДОВЫПУСКНЫЕ СОУДУДЫ.	6
6.1. Гидравлическое устройство сифона вакуума (ГУСВ).	6
6.2. Натурные испытания.	6
6.3. Остановка насосного агрегата.	6
6.4. Результаты натурных экспериментов.	6
7.5. Выводы.	6
7. УВЕЛИЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОБСЛУЖИВАНИЯ.	7
7.1. Организация и проведение ремонтных работ.	7
7.2. Износ и способы восстановления основных узлов и деталей насоса.	7
7.2.1. Рабочие колеса.	7
7.2.2. Балансировка рабочего колеса.	7
7.2.3. Проверка угла установки лопастей на идентичность.	7
7.2.4. Вал насоса.	7
7.2.5. Выправляющий аппарат.	7
7.2.6. Подшипники насоса.	7
7.2.7. Замкнутая система смазки.	7
7.3. Основные отказы и способы восстановления узлов и деталей электродвигателя ВДС-375/130-24.	7
7.3.1. Вал электродвигателя.	7
7.3.2. Статор электродвигателя.	7
7.3.3. Верхняя крестовина двигателя.	7
7.3.4. Нижняя крестовина двигателя.	7
7.3.5. Возбудитель.	7
7.4. Вспомогательное оборудование.	7
7.4.1. Система охлаждения электродвигателя.	7
7.4.2. Система смазки направляющих подшипников насоса.	7
7.4.3. Маслосодержание.	7
7.4.4. Дренажная насосная станция.	7
7.5. Контрольно-измерительные приборы и аппаратура.	7
7.6. Специализированная ремонтная база.	7
8. СВЯЗИ С НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМИ ИНСТИТУТАМИ И ЗАВОДАМИ.	8

9. ИТАЛИИ ИТОИ ОИТА ЭКСПЛУАТАЦИИ КАНАЛА СКОГО	
НАИ ИСТРАДИНОГО КАНАЛА И НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ЗА	
ПЕРИОД 1973-1980 ГГ.	
10. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.	
ЛИТЕРАТУРА.	
ОГЛАВЛЕНИЕ.	

Иван Кондратьевич Дуденко, Рустам Арамович Очилор,
Олег Яковлевич Глоганский, Сергей Кузьмич Переперзев, Виктор
Михайлович Некрасов

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАШИНСКОГО МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА С КАСКАДОМ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Ташкент - "Мехнат" - 1987

Зав.редакцией	Р.Шагулямов
Редактор	Р.Ибрагимов
Худ.редактор	И.Кученкова
Тех.редактор	Н.Сорокина
Корректор	А.Цукерник

ОИБ № 604

Подписано в печать 05.03.87. Р-05288. Формат 60x84 1/16.
Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать
офсетная. Усл.печ.л. 10,93. Усл.кр.=отт.11,14. Уч.изд.л.11,54.
Тираж 1000экз. Заказ № 1936. Цена 90 к.
Издательство "Мехнат". 700129, Ташкент, Навои, 30. Изд. № 302-86.

Типография № 4 ТПО "Матбуот" Государственного комитета
УзССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Ташкент, Радиальная, 4.