

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПОДАЧИ СМЕСИ ВОДЫ СО ВЗВЕШЕННЫМИ НАНОСАМИ

И. Махмудов, И. Утемуратов, У. Садиев,
Д. Махмудова, Ш. Рустамов



Warsaw 2022

**Махмудов Илхомжон Эрназарович
Утемурастов Махсет Маратович
Садиев Умиджон Абдусамадович
Махмудова Дилбар Илхомжон қизи
Рустамов Шохрух Тўлқинбов ўғли**

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПОДАЧИ СМЕСИ ВОДЫ СО ВЗВЕШЕННЫМИ НАНОСАМИ

МОНОГРАФИЯ

**RS Global
Warsaw, Poland
2022**

УДК 628.228
DOI: 10.31435/rsglobal/051

*Монография рекомендована к изданию решением Научного Совета Научно-исследовательского института ирригации и водных проблем
Протокол № 2 от 20 января 2022 года*

Рецензенты:

д.т.н., профессор Э.Ж. Махмудов,
д.т.н., профессор Д.Т. Палуанов

**Махмудов И. Э., Утемуратов М. М., Садиев У. А., Махмудова Д. И.,
Рустамов Ш. Т.**

Гидравлический расчет трубопроводов насосных станций в условиях подачи смеси воды со взвешенными наносами. Монография. – Warsaw: RS Global Sp. z O.O., 2022. – 81 с.

ISBN 978-83-965085-3-9 (eBook)

Монография посвящена вопросам установления гидравлического сопротивления в длинных напорных трубопроводах при движении смеси воды и взвешенных наносов, биокоррозионного износа и разрушения напорных труб. В книге разработаны рекомендации по повышению эффективности и эксплуатационной надежности напорных трубопроводов насосных станций. Материал, изложенной в монографии, представляет большой интерес для сектора водного хозяйства и позволит решить большое количество практических задач в условиях водного дефицита. Книга может служить пособием для научных работников и магистрантов.

© И. Э. Махмудов, 2022
© М. М. Утемуратов, 2022
© У. А. Садиев, 2022
© Д. И. Махмудова, 2022
© Ш. Т. Рустамов, 2022
© RS Global Sp. z O.O., 2022

ISBN 978-83-965085-3-9 (eBook)

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ЭКСПЛУАТАЦИЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПОДЪЕМА ВОДЫ, СОДЕРЖАЩЕЙ ВЗВЕШЕННЫЕ НАНОСЫ.	8
1.1. Гидрологические условия источников водозабора в насосные станции.	7
1.2. Условия функционирования насосных станций в условиях подъема воды, в которой имеются взвешенные наносы	10
1.3. Обследование состояния трубопроводов особо крупных насосных станций Республики Узбекистан	12
1.3.1. Напорные трубопроводы насосной станции Бешарик в Ферганской области	13
1.3.2. Напорные трубопроводы 2-й Джизакской насосной станции	15
1.3.3. Напорные трубопроводы 3-й Джизакской насосной станции	16
1.3.4. Напорные трубопроводы НС«Жайхун» в Сурхандарьинской области	16
1.3.5. Напорные трубопроводы Насосной станции Кую-Мазар в Бухарской области	18
1.3.6. Напорные трубопроводы насосной станции Хамза-1 в Бухарской области	19
1.3.7. Напорные трубопроводы насосной станции «Шерабад» в Сурхандарьинской области	22
Выводы по главе 1	23
ГЛАВА 2. ОБЗОР РАБОТ, ПОСВЯЩЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЮ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ	24
2.1. Исследование условий функционирования подводящего канала, аванкамеры и водоприемника	24
2.2. Обзор работ, посвященных гидравлическим исследованиям трубопроводов	29
Выводы по главе 2	31
ГЛАВА 3. ПОТЕРИ НАПОРА НА ТРЕНИЕ ПРИ НАПОРНОМ ДВИЖЕНИИ СМЕСИ ВОДЫ И ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ	32
3.1. Основные условия для определения гидравлического сопротивления на трение в трубопроводе при движении смеси воды и взвешенных наносов	32
3.2. Вывод уравнения равновесного равномерного напорного движения смеси воды и взвешенных наносов	33
3.3. Численное решение уравнения для определения гидравлического сопротивления на трение в трубопроводе	37
Выводы по главе 3	40

ГЛАВА 4. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОТЕРИ НАПОРА ПРИ ДВИЖЕНИИ СМЕСИ ВОДЫ И ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ.....	41
4.1. Устройство экспериментальной установки.....	41
4.2. Методика проведения исследований и точность измерений.....	42
4.3. Объем экспериментальных исследований.....	44
4.4. Результаты экспериментальных исследований.....	45
4.4.1. Определение гидравлических сопротивлений	45
Выводы по главе 4.....	54
ГЛАВА 5. БИОЛОГИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ И БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ.....	55
5.1. Контрольные измерения толщины оболочки напорных трубопроводов	55
5.2. Биологическая коррозия металлических напорных водоводов насосных станций.....	56
5.3. Гидрохимическое разрушение бетонных сооружений и коррозия железобетонных конструкций	58
Выводы по главе 5.....	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	63
ВЫВОДЫ	63
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	64
ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	65
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	72
Приложение 1	73
Приложение 2	79

ВВЕДЕНИЕ

Для нужд ирригации и поддержания мелиоративного состояния земель по данным Минсельводхоза Республики Узбекистан эксплуатируются 8940 насосных станций, в том числе 24 крупных с суммарным расходом воды 6,4 млрд. м³. Наиболее важными в стратегическом отношении сооружениями для Республики являются Аму-Зангский, Аму-Бухарский и Каршинский каскады насосных станций, обеспечивающие водой практически все орошаемое земледелие и население Сурхандарьинской, Кашкадарьинской, Бухарской и Навоийской областей. Наряду с этим Аму-Бухарский и Каршинский машинные каналы обеспечивают водой Бухарский нефтеперерабатывающий завод, Шуртанский, Мубарекский и другие нефтегазохимические комплексы, а также Талимарджанскую ГРЭС мощностью 3200 тыс. кВт. Самый крупный из них – Каршинский каскад насосных станций поднимает амударьинскую воду на высоту 132 м.

В настоящее время в республике орошается 4268,1 тыс. га земель, из них 1533 тыс. га (38,3 % от общей площади) – машинного орошения. Затрата электроэнергии при машинном водоподъеме для орошения более 1,5 млн. га составляет 7,5-8 млрд. кВт. ч в год.

На балансе Минсельводхоза РУз имеется свыше 1580 межхозяйственных насосных станций с общей установленной мощностью 3255 тыс. кВт, ежегодный объем водоподдачи – около 50 км³.

Из общего количества насосных станций 76 шт. – уникальные (подача более 100 м³/с) и крупные, 496 шт. – средние (подача 1-10 м³/с) и 561 шт. – мелкие (подача менее 1,0 м³/с). Значительная часть насосных станций функционирует в условиях, когда в составе перекачиваемой воды содержится от 2 до 20 кг/м³ взвешенных наносов. При этом особо сложная ситуация сложилась с машинным водоподъемом при наличии большого количества наносов в бассейнах р. Амударья и Зарафшан. При проектировании насосных станций в условиях подъема воды с большим содержанием наносов предусматривались специальные отстойники, однако большинство из них вследствие плохой эксплуатации и конструктивных недостатков либо вообще не работали, либо к настоящему времени не выполняют свои функциональные назначения. В частности, при строительстве Каршинского каскада насосных станций предусматривались строительство специального речного гидроузла на Кызылякском створе р. Амударья, а на правом берегу реки водохранилище для надежного обеспечения водозабора к насосным агрегатам первого подъема водохранилища. Последнее, обеспечивая необходимые горизонты для безкавитационной эксплуатации насосных агрегатов первого подъема Каршинского каскада, должно было удерживать основную часть взвешенных наносов. Тем не менее Кызылякский гидроузел и водохранилище на правом берегу р. Амударья не были построены, а подводящий канал к первой насосной станции остался привязанным к временному бесплотинному водозабору из реки. Река Амударья в среднем своем течении, в частности в створе Кызыляк, протекает в неустойчивом русле. Русло блуждает и в большинстве случаев,

отходя от левого берега, где располагается водозабор в Каршинский машинный канал, для создания нормальных условий водозабора проводят выпрямительные работы русла. Гидромеханический способ очистки подводящего русла способствует возмущению, размываемому песчаную часть его профиля, что обуславливает попадание в машинный канал потока воды с большей, чем естественной мутностью. Все это препятствует нормальной эксплуатации всего комплекса сооружений насосных станций. Опыт эксплуатации ирригационных насосных станций, особенно в бассейнах р. Амударья и Зарафшан, показывает, что из-за содержания в воде большого количества взвешенных наносов осложняется функционирование аванкамеры, водоприемника, а в местах, где имеются сужение или расширение труб, повороты, узлы соединения или распределения и другие элементы, возникают местные сопротивления. Наличие их в напорных трубопроводах насосных станций обуславливает накопление, а в дальнейшем – образование серьезных препятствий для движения воды. Наличие взвешенных наносов существенно влияет на режим работы насосных агрегатов, снижая КПД, увеличивая энергетические затраты на водоподъем и самое существенное способствуя возникновению опасности биокоррозионного разрушения напорных водоводов из-за осаждения во внутренней части труб твердых материалов механического и органического происхождения.

В создании данной монографии приняли участие сотрудники Научно-исследовательского института ирригации и водных проблем: введение, главы 1 и 2 монографии написаны И.Э. Махмудовым, глава 3 – М.М. Утемураевым, глава 4 – У.А. Садиевым и глава 5 – Э.А. Казаковым.

Авторы и редакторы заранее благодарят всех читателей монографии, которые возьмут на себя труд сделать критические замечания, направленные на улучшение монографии в будущем.

Актуальность данного исследования обусловлена, прежде всего, резким повышением цен на энергоносители, стоимости насосов и энергетического оборудования, ростом удельных энергозатрат на водоподъем, снижением надежности эксплуатации комплекса сооружений насосных станций, а также нарастающим дефицитом водных ресурсов для обеспечения потребности отраслей экономики Узбекистана.

ГЛАВА 1. ЭКСПЛУАТАЦИЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПОДЪЕМА ВОДЫ, СОДЕРЖАЩЕЙ ВЗВЕШЕННЫЕ НАНОСЫ.

1.1. Гидрологические условия источников водозабора в насосные станции.

Насосные станции по условиям эксплуатации относятся к внутрихозяйственным и государственным. (таблица 1.1 и 1.2, приложение 1). Основная часть насосных станций внутрихозяйственной системы 5546 шт. из 7354 шт. перекачивают воду рр. Амударья и Зерафшана, которые содержат в большом количестве взвешенные наносы. Из государственных насосных станций число эксплуатируемых в таких экстремальных условиях составляют 668 из 1586. Проведенные исследования по изучению мутности воды р. Амударья показывают (рис.1.1...1.6), что в местах водозабора в подводящие каналы насосных станций содержание взвешенных наносов по расходу наносов в многолетнем разрезе колеблется от 2000 кг/с до 18000 кг/с.

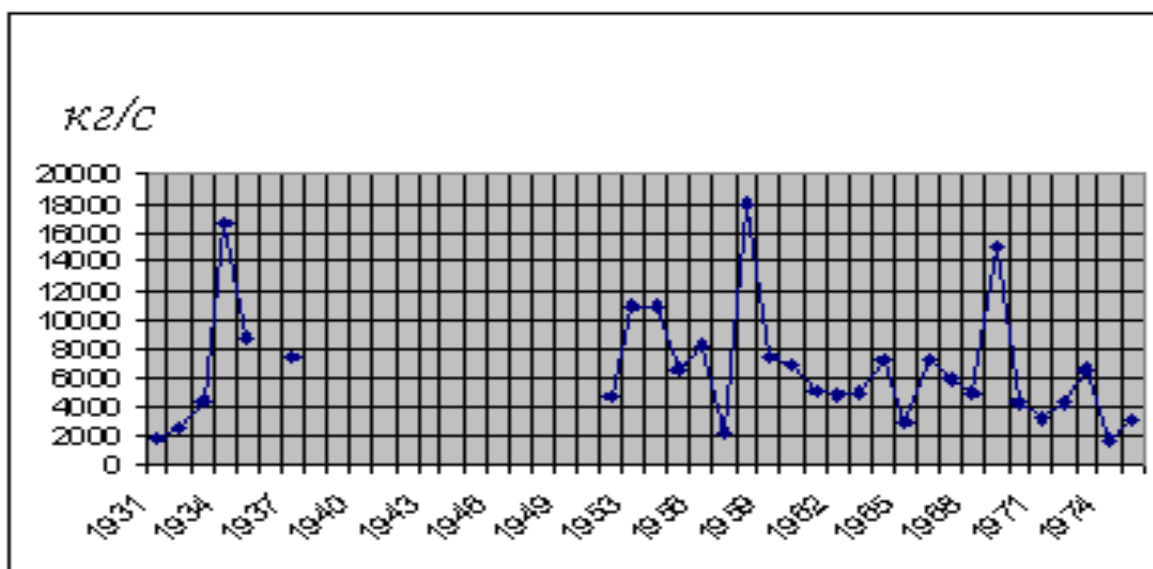


Рис.1.1. Средние расходы наносов р. Амударья, пост Керки

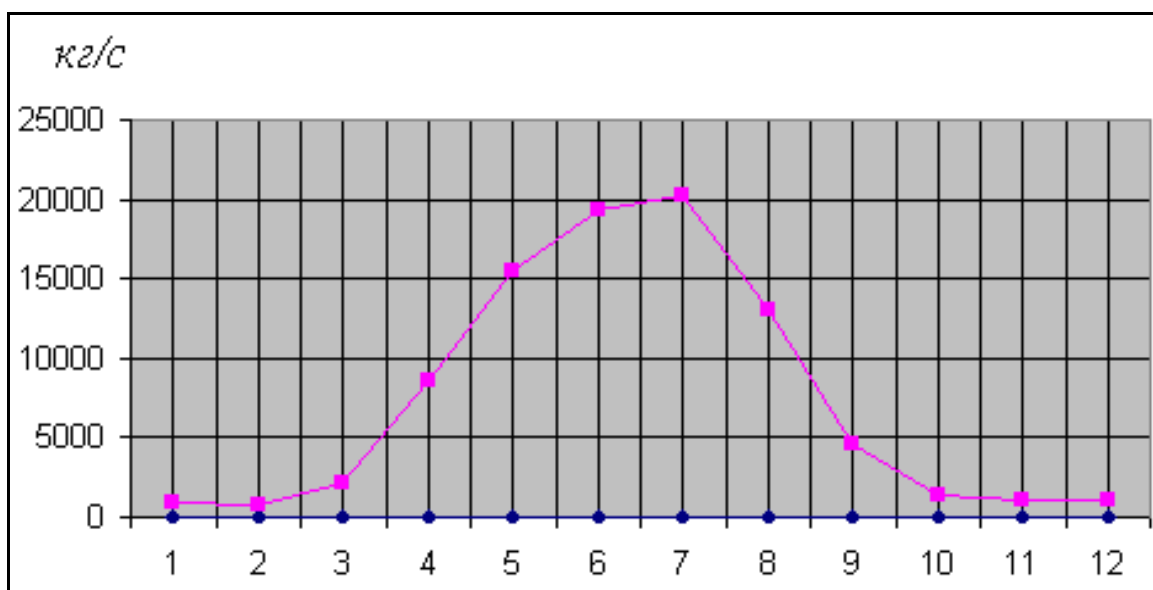


Рис.1.2. Среднемесячные расходы наносов р. Амударья, пост Керки

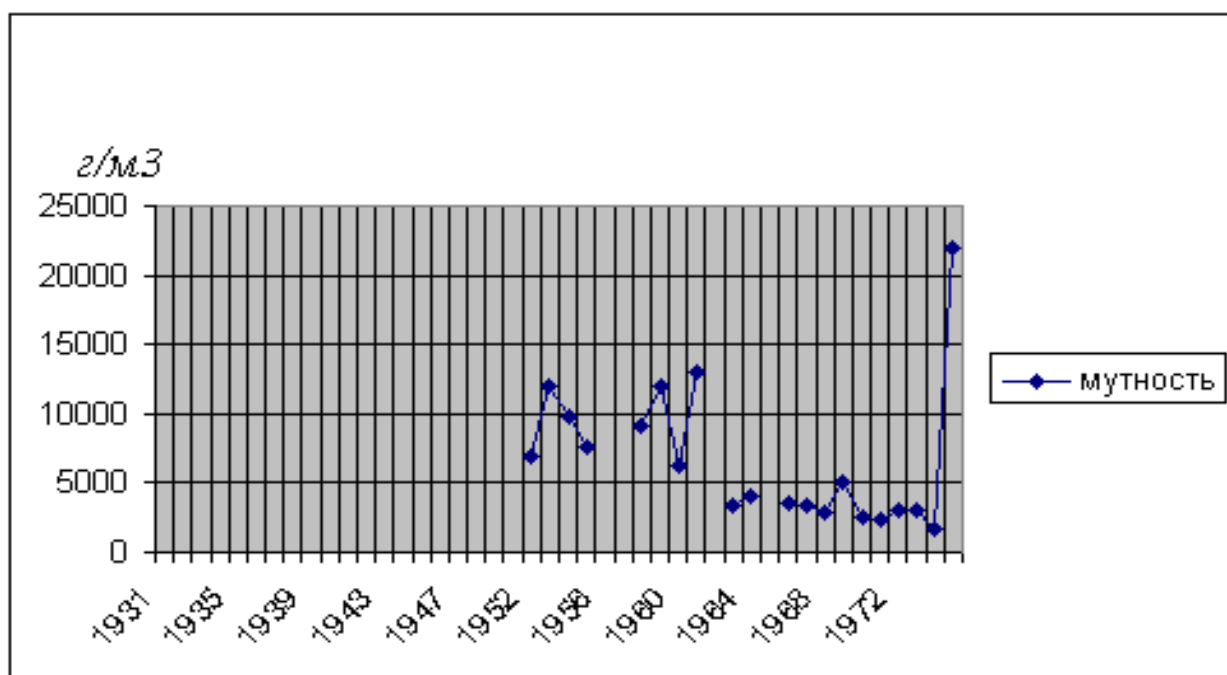


Рис.1.3. Средняя годовая мутность р. Амударья

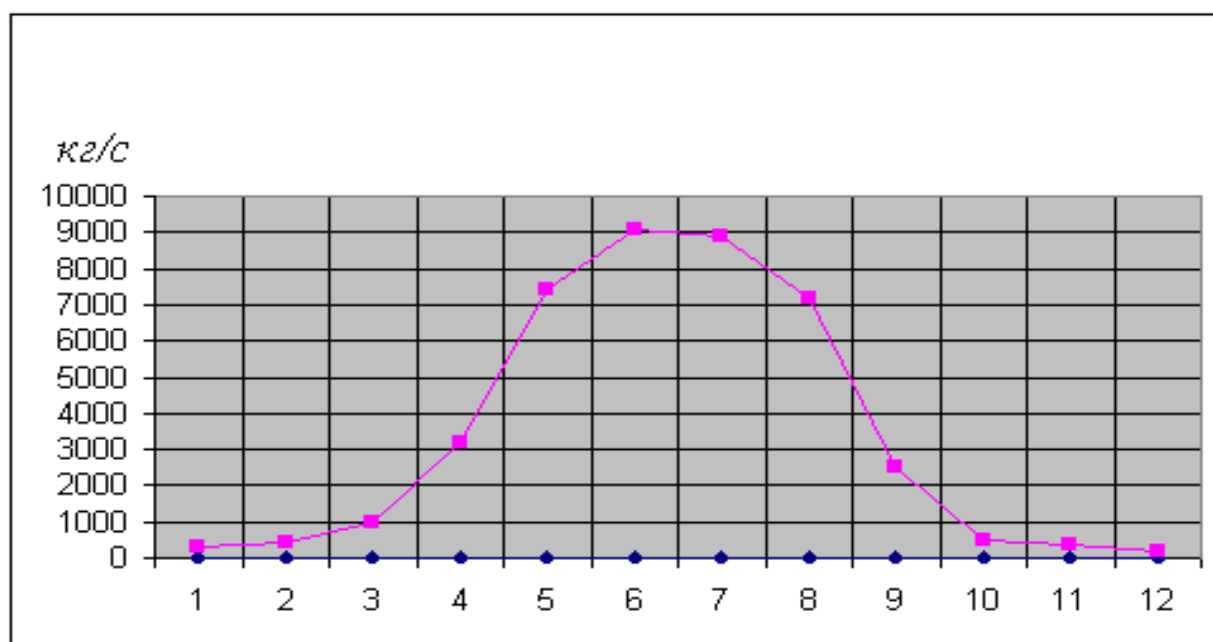


Рис.1.4. Среднемесячные расходы наносов р. Амударья, пост Верхнеамударьинский

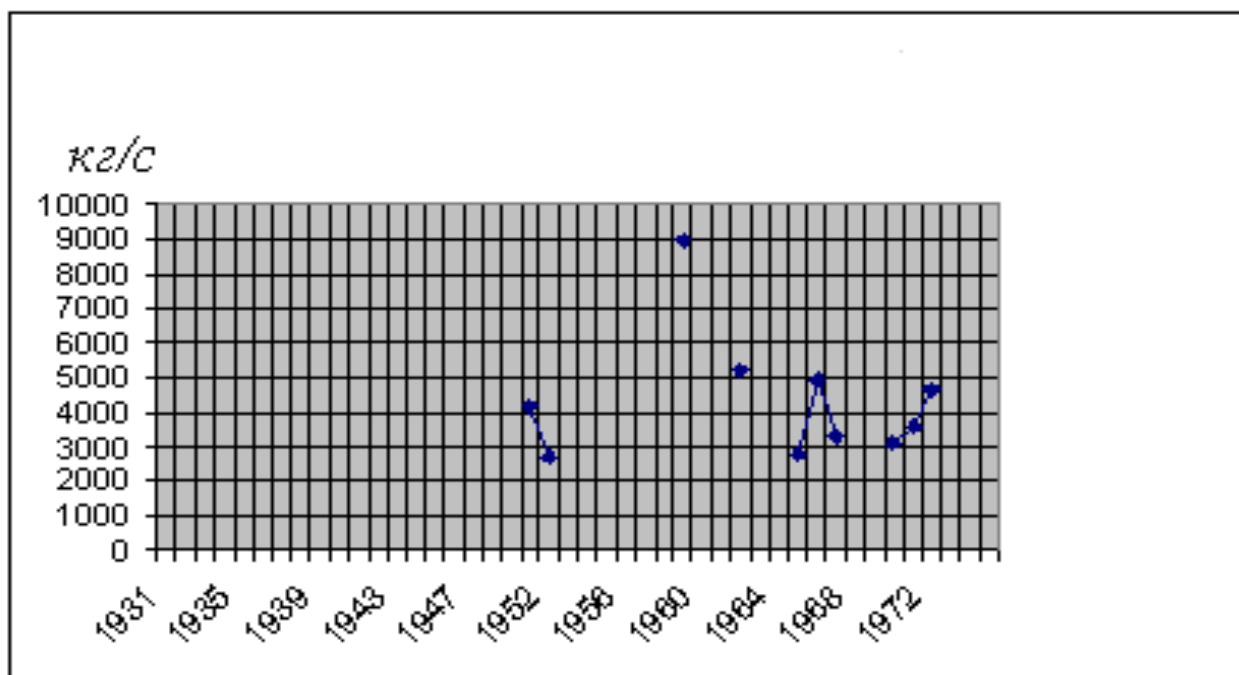


Рис.1.5. Средние расходы наносов р. Амударья, пост Верхнеамударьинский

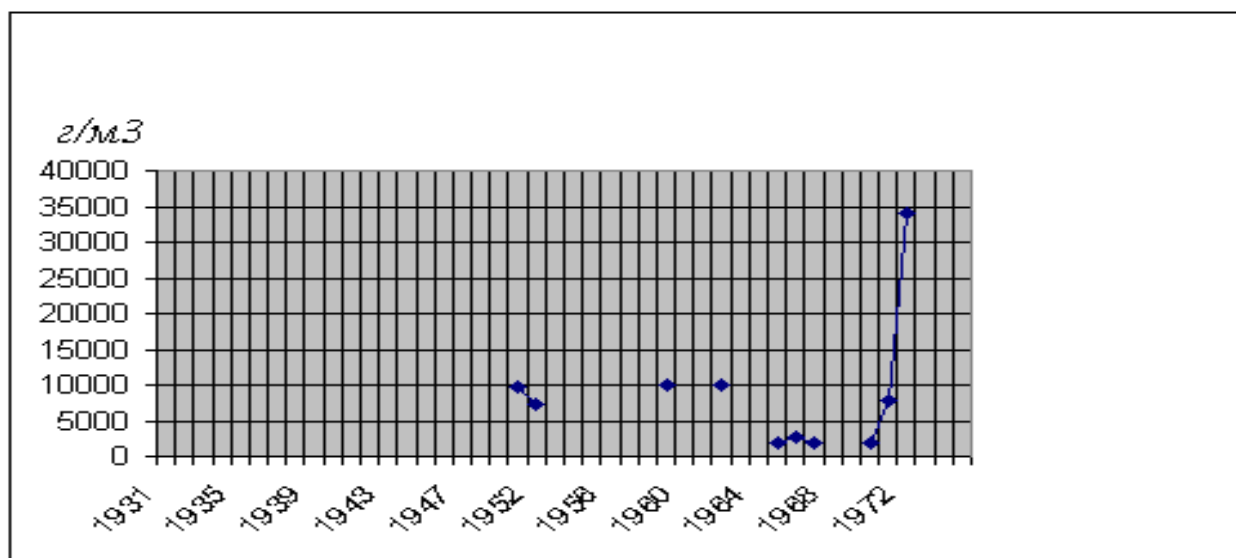


Рис.1.6. Среднегодовая мутность р. Амударья, пост Верхнеамударьинский

График изменения среднемесячных расходов наносов показывают, что его максимальная величина приходится на июнь и июль месяцы или когда насосные станции работают с максимальной производительностью. Мутность потока воды от 2 кг/м³ до 34 кг/м³. Гидрологические особенности рек, основных источников забора воды насосными станциями достаточно подробно изложены в работах [1, 13, 14, 24, 25]. При этом для управления использованием стока рек бассейна Аральского моря построены водохранилища и другие гидротехнические сооружения. По оценке [55, 56] по бассейну р. Сырдарья достигнута зарегулированность стока около 94%, а по бассейну р. Амударья – 84%, в том числе стоки малых и средних рек на территории Узбекистана зарегулированы

водохранилищами и другими гидротехническими сооружениями полностью. Водохранилищные и водозаборные гидротехнические узлы, предназначенные для регулирования стока реки, имеют также функциональные особенности аккумулировать вместе с водой и взвешенные наносы. Принимая во внимание это обстоятельство, при создании систем машинного водоподъема сокращались работы по строительству специальных сооружений, защищающих работы насосных станций от негативного влияния водонесущих твердых материалов. Вместе с этим по бассейну р. Амударья полностью незарегулированной осталась река Пяндж, основной приток р. Амударьи. Более того, как уже отмечено выше, главные водозаборы в машинные каналы в систему Аму-Занг в Сурхандарьинской области, Каршинский каскад насосных станций в Кашкадарьинской области и Аму-Бухарский канал для Бухарской и Навоийской областей эксплуатируется без каких-либо условий защиты от попадания в систему машинных каналов большого количества взвешенных наносов (рис. 1.7). Незарегулированность стока в местах бесплотинного водозабора не обеспечивает гарантированной подачи воды к подводящим каналам насосных станций. Для улучшения водозабора на участках водозабора в Каршинский и Аму-Бухарские машинные каналы организованы с помощью землесосных агрегатов непрерывные руслоочистительные работы. Постоянное возмущение песчаного русла землесосными агрегатами усиливает попадание в подводящий канал насосных станций песчаных материалов, продуктов размыва русла реки.

1.2. Условия функционирования насосных станций в условиях подъема воды, в которой имеются взвешенные наносы

Результаты натурных исследований водозаборного участка и подводящих каналов на насосные станции систем каналов Аму-Занг и КМК показывают [7, 17-23], что в канал поступает вода с высоким содержанием взвешенных наносов, мутность которой изменяется по данным измерений от $1,6 \text{ кг/м}^3$ до $3,2 \text{ кг/м}^3$. Фракционный состав донных наносов, в основном, представлен песчаными, пылеватыми и глинистыми частицами. По крупности диаметра частицы состоят: мелкий песок $0,25-0,10 \text{ мм}$, фракции, которого составляют по отношению к общему объему взятой пробы-10%; песок тонкозернистый $0,10-0,05 \text{ мм}$, что составляет 24%; пылеватые частицы $0,05-0,005 \text{ мм}$, соответственно -35%; глина $< 0,005 \text{ мм}$ – 31%. Ввиду того, что в источнике КМК и системе каналов Аму-Занг р. Амударья паводковый период приходится, в основном, на летние месяцы, то в канале максимальным сток наносов приходится на данный период. Особенно сложный режим эксплуатации бесплотинного водозаборного сооружения в Каршинском машинном канале. Функционирование работы насосной станции в среднем течении р. Амударья (где на правом берегу производится водозабор в Каршинский каскад насосных станций) развивается процесс дейгиша (это сложный гидравлический процесс размыва берегов реки свальными течениями), в результате основной поток воды стремится к левому берегу. В настоящий момент около 80 % потока воды р. Амударья отошло к левому берегу. В результате этого создаются крайне тяжелые условия для

водозабора в Каршинский каскад НС, который находится на правом берегу реки, а на левом берегу возрастает интенсивность размыва береговой линии, создавая серьезную опасность смыва туркменистанского поселка Кызылаяк. Узбекистан, для обеспечения на правом берегу условий водозабора в Каршинский каскад использует мощные земснаряды, с ежегодной затратой 18-20 млрд. сум на их эксплуатацию. В действительности, когда проектировали и строили каскад насосных станций предполагали, что водозабор будет плотинным и для регулирования русла реки будет построен Кызылаякский гидроузел на р. Амударья. Однако Кызылаякский гидроузел не был построен и необходимые условия водозабора из р. Амударья не были доведены до логического завершения, от чего страдают Узбекистан и Туркменистан. Водозабор в подводящий канал первой насосной станции Каршинского каскада насосной лимитируется горизонтом воды в р. Амударья, что создает серьезные препятствия для обеспечения надежного функционирования водоснабжения Кашкадарьинской области. Исследованиями установлено, что при бытовом горизонте воды (ГВ) в створе водозабора в подводящий канал на отметке 243,98 допускаются функционирование 6 насосных агрегатов, при ГВ 243,18 – 5 агрегатов, при ГВ 242,88 – 4 агрегата и при ГВ 242,7 – 3 агрегата. В настоящее время сложилась крайне сложная обстановка по соблюдению необходимых бытовых горизонтов воды в голове подводящего канала Каршинского каскада насосных станций.

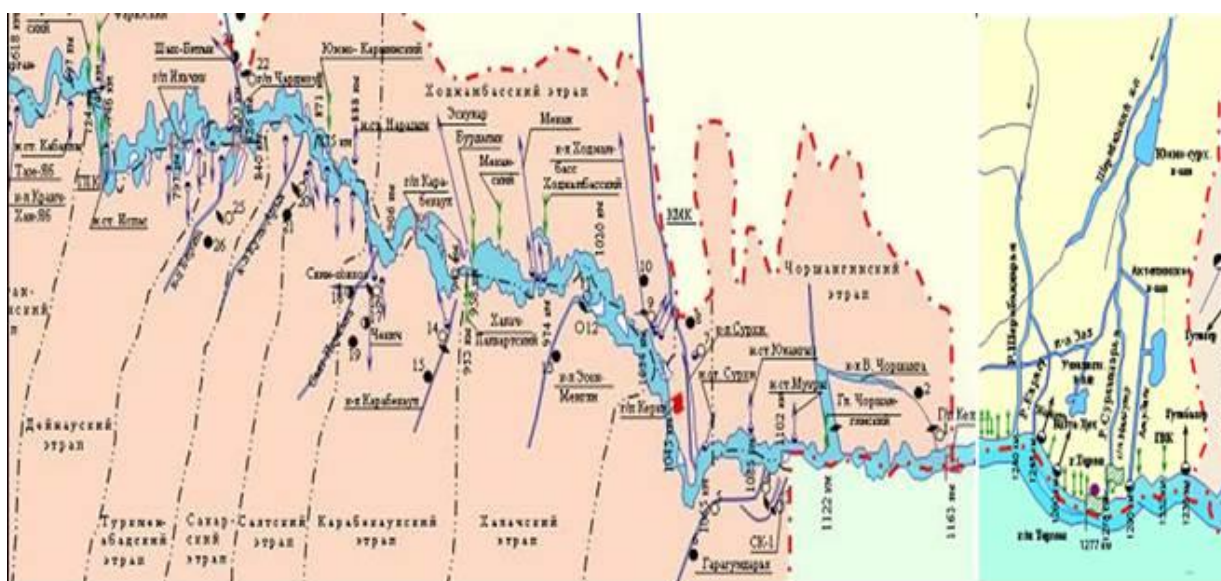


Рис.1.7. Схема водозабора из р. Амударья для Республики Узбекистан и Республики Туркменистан

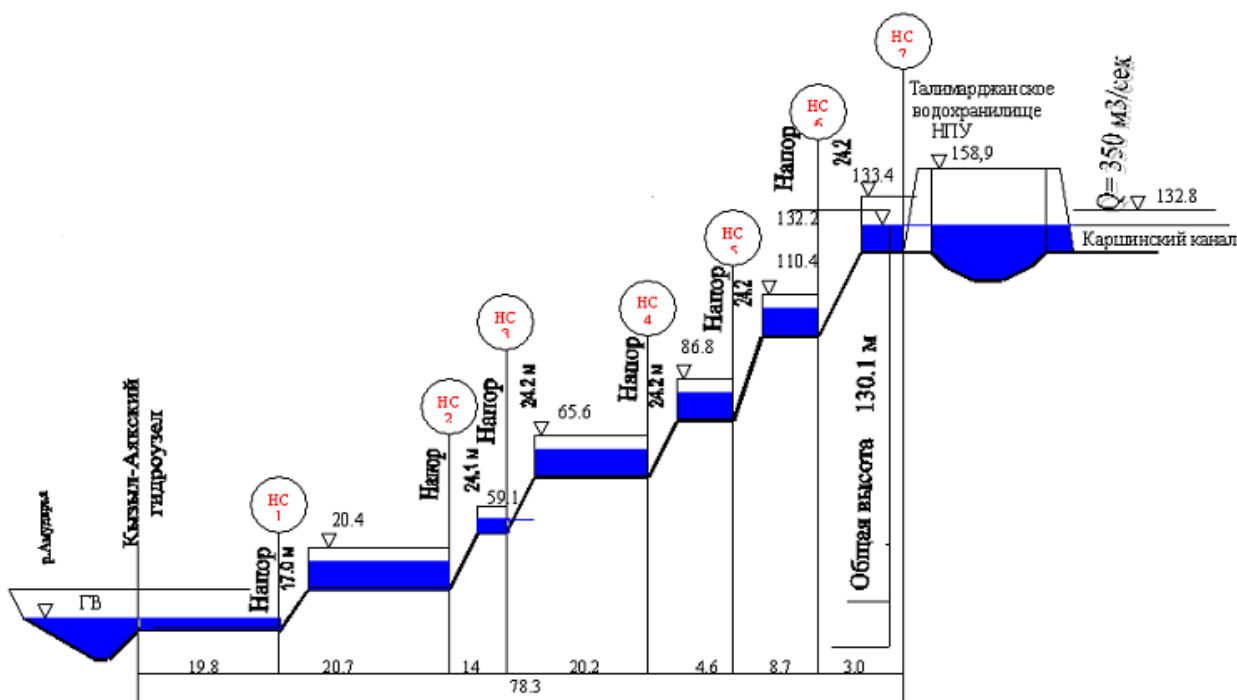


Рис.1.8. Условие водозабора и функционирование Каршинского каскада насосной станции

По заказу Государственной инспекции «ГОСВОДХОЗНАДЗОР» при Кабинете Министров Республики Узбекистан Институт водных проблем (ИВП) проводил комплексное исследование ряда особо крупных насосных станций Узбекистана, где в качестве исполнителя участвовали авторы монографии. Используя материалы исследования ИВП, а также фондовые материалы Государственной инспекции «ГОСВОДХОЗНАДЗОР» составлен перечень основных сооружений, подверженных негативному влиянию наличия в составе воды большого количества взвешенных наносов.

Установлено, что наличие взвешенных наносов в составе перекачиваемой воды особенно негативно отражается на состоянии напорных трубопроводов насосных станций.

1.3. Обследование состояния трубопроводов особо крупных насосных станций Республики Узбекистан

Для выявления главного фактора, который оказывает самое серьезное негативное влияние на работоспособность трубопроводов (приложение 1, таблица 1.3.), ниже приводится описание результатов обследований условий гидравлического функционирования сооружений насосных станций.

1.3.1. Напорные трубопроводы насосной станции Бешарик в Ферганской области

Всасывающие и напорные трубопроводы. Всасывающие трубопроводы диаметром 1420 мм и проектной толщиной 10 мм за пределами здания НС находятся под грунтом. В пределах здания трубопроводы заканчиваются коротким (около 2 м) переходным конфузором на диаметр 800 мм. Выборочные измерения остаточной толщины оболочки конфузора, произведённые во время обследования, (таблица 1.4) показали, что всасывающие трубопроводы имеют незначительный абразивный износ. Средняя толщина оболочки составляет 9,5 мм.

Таблица 1.4.

Остаточная толщина оболочки всасывающих трубопроводов НС Бешарик, мм

Расположение измерительных точек по циферблату	Номер трубопровода										Средняя толщина
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
12 - 00	9,8	9,4	9,4	9,1	9,7	9,8	9,4	9,3	9,6	9,5	9,5

Вместе с тем, при строительстве насосной станции и до настоящего времени не выполнены гидроизоляционные работы, в результате чего развивается значительная атмосферная коррозия наружной поверхности труб. Короткие индивидуальные напорные трубопроводы диаметром 820 мм по проекту изготовлены из листа толщиной 10 мм. На момент обследования средняя фактическая толщина оболочки составила 8,4 мм (таблица 1.5). Измерения проводились в одном сечении на расстоянии 1,0 м от напорной стены здания. Как видно из таблицы, наибольший износ имеют трубопроводы № 5 и 6 (1,9 мм). По поперечному сечению трубопроводов наибольший износ происходит по линии 6-00 часов, но минимальная толщина зарегистрирована в точке 12-00 трубопровода № 5 – 7,4 мм. Данные замеров показывают, что индивидуальные напорные трубопроводы имеют умеренный абразивный износ, средняя скорость абразивного изнашивания составляет 0,06 мм/год (по статистике на других НС скорость изнашивания колеблется в пределах от 0,08 до 1,4 мм/год).

Более серьёзную угрозу работоспособности напорных трубопроводов представляет повышенная язвенная коррозия наружной поверхности трубопроводов в сопряжении со стеной здания, где в местах перехода трубопроводов через стену под воздействием влаги происходит коррозионное разрушение и разупрочнение металла и образуются свищи. Например, на трубопроводе НА № 6 сохранились свежие следы заделки такого свища.

После выхода из здания НС напорные трубопроводы объединяются в один общий коллектор диаметром 1420 мм. Трубопроводы и коллектор уложены в грунтовую траншею и засыпаны, что препятствует их визуальному осмотру и оперативному устранению возникших дефектов.

В створе между насосными агрегатами №7 и №9 из коллектора берут начало четыре нитки напорных водоводов подземной прокладки проектным диаметром

1420 мм и протяжённостью 13200 м. В 1986 г. для обеспечения водой близлежащего рыбного хозяйства, правее четвёртой линии проложена дополнительная пятая нитка диаметром 1220 мм, протяжённостью около 3 км. Пятая нитка может быть запитана как непосредственно от НА №9 или №10, так и от четвёртой нитки водоводов посредством перепускной задвижки диаметром 200 мм.

По информации персонала при строительстве фактически использовались стандартные трубы разных диаметров от 1020 до 1420 мм, в том числе с их произвольным чередованием.

Таблица 1.5.

Остаточная толщина оболочки индивидуальных напорных трубопроводов в здании НС Бешарик, мм

Номер трубопровода	Толщина по проекту	Расположение измерительных точек по циферблату						Средняя толщина
		12 - 00	3 - 00	4 - 30	6 - 00	7 - 00	9 - 00	
1	10,0	8,7	8,7	8,6	8,6	8,6	8,8	8,7
2	10,0	8,6	9,0	9,1	9,0	9,0	9,1	9,0
3	10,0	8,8	8,4	8,2	8,2	8,7	8,7	8,5
4	10,0	8,4	8,2	8,2	8,1	8,2	8,3	8,2
5	10,0	7,4	8,1	8,3	8,3	8,0	8,2	8,1
6	10,0	7,8	8,2	8,3	8,3	8,0	8,0	8,1
7	10,0	8,5	8,4	7,8	7,7	8,7	8,6	8,3
8	10,0	8,7	8,3	8,4	8,0	8,5	8,5	8,4
9	10,0	7,9	8,2	8,4	8,3	8,3	8,4	8,3
10	10,0	8,7	8,2	8,9	8,8	8,7	8,6	8,7
	Средняя толщина	8,4	8,4	8,4	8,3	8,5	8,5	8,4

На начальном участке водоводов, в бетонной галерее открыто установлены плоско – параллельные задвижки с ручным приводом, чуть выше расположена специальная открытая галерея для расходомерных устройств. Расходомерные устройства не смонтированы, задвижки практически не используются и постоянно открыты, а обе галереи наполовину затоплены грунтовой водой. Далее, до водовыпуска, водоводы уложены и засыпаны в траншею, инспекторская дорога отсутствует, отчуждение трассы водоводов не произведено и земля над водоводами используется для поливного возделывания сельхозкультур, а водоводы находятся в переувлажнённом грунте. По трассе водоводов проектом предусматривалась установка обратных клапанов (по два на каждый водовод) и клапанов – вантузов (по четыре на водовод). Обратные клапаны не установлены, клапаны-вантузы частично демонтированы, частично заглушены и все фактически неработоспособны. Водовыпуск пятой нитки находится в полуразрушенном состоянии и не используется, а водовод оборудован врезкой и продолжен трубой 600 мм ещё на 2 км. Все водоводы по трассе имеют непроектные путевые врезки (задвижки) для отбора воды общим количеством около 20 штук.

1.3.2. Напорные трубопроводы 2-й Джизакской насосной станции

Напорные трубопроводы – насосы оборудованы короткими индивидуальными трубопроводами диаметром 2240 мм и длиной 21...26 м, объединёнными затем в два напорных трубопровода диаметром 3640 мм (I – я нитка) и 4240 мм (II – я нитка) длиной 2,3 км. Обе нитки выполнены участками переменной толщины. По состоянию на 1.09.2006 г. средний равномерный износ оболочки трубопровода № 1 составляет 1,4 мм, трубопровода № 2 – 0,4 мм.

Трещины, свищи, дефекты основного металла или сварных швов, нарушающие целостность и герметичность трубопроводов отсутствуют. Антикоррозийное покрытие наружной поверхности трубопроводов, особенно его грунтовый слой на основе эпоксидной смолы, находится в удовлетворительном состоянии. Исключением являются участки расположения клапанов – вантузов, где от систематических утечек покрытие разрушено и происходит интенсивная коррозия металла.

С момента монтажа трубопроводов инженерными службами УЭДНС ведутся регулярные наблюдения за осадками промежуточных опор. На трубопроводах имеются участки повышенной осадки: между ПО 30...38, между ПО 70...75 и между ПО 84...100, где произошло наиболее симметричное оседание опор обеих трубопроводов. Основная осадка трубопроводов образовалась до 2004 г. В последние годы осадка I – ой нитки снизилась и стабилизировалась на уровне 4,1 мм на одну подвижную опору. Осадку опор II – ой нитки не снижается. В настоящее время наиболее активными являются ПО 74, 80 и 92, где осадка в 2005 г. составила 25...20 мм при среднем значении на одну подвижную опору 11,4 мм.

Для компенсации осадки опор персоналом НС ежегодно производится ревизия катковых промежуточных опор и выравнивание высотного положения оси трубопроводов путём установки дополнительных прокладок под опорную подушку катка опоры. На некоторых опорах высота таких прокладок достигает 200 мм.

Смотровые люки – лазы для осмотра внутренней поверхности трубопроводов герметичные. На II – ой нитке все компенсаторы герметичные, на I – ой нитке часть сальниковых уплотнений изношена и происходит утечка, сопровождающаяся коррозией контактных поверхностей и крепёжных деталей (рис. 8.).

Бетонная облицовка ложа трубопроводов исправная, лотки для сбора протечек проложены по обе стороны трубопроводов. Перед АО 3 трассу трубопроводов пересекает открытый коллектор X - 1, который может быть использован для отвода аварийных объёмов воды при разрыве трубопроводов. С правой стороны вдоль трассы трубопроводов проложен проектный закрытый дренаж, который после прочистки в 2001 г. находится в исправном состоянии. Сброс из дренажа частично производится в коллектор X - 1, после пересечения с коллектором – в сборный лоток. Инспекторские гравийно-асфальтные дороги вдоль трассы трубопроводов имеются с обеих сторон после АО № 3 и соединяются на водовыпуске. Для проезда крупногабаритной техники также может быть использована площадка между трубопроводами, доходящая до водовыпуска.

Часть клапанов – вантузов для впуска воздуха негерметична, не отрегулирована, защитные сетки вышли из строя. С 2005 г. в зимний ремонтный период производится поочерёдная ревизия клапанов, замена уплотнений и настройка пружин.

1.3.3. Напорные трубопроводы 3-й Джизакской насосной станции

Напорные трубопроводы – насосы оборудованы короткими индивидуальными трубопроводами диаметром 2240 мм и длиной 21...26 м, объединёнными затем в одну нитку напорного трубопровода диаметром 3640 мм длиной 3,15 км (фото 6). Трещины, свищи, дефекты основного металла или сварных швов, нарушающие целостность и герметичность трубопроводов отсутствуют. Антикоррозийное покрытие наружной поверхности трубопроводов до ПО 111 нанесено заново и находится в хорошем состоянии, обновление покрытия оставшейся части трубопровода запланировано на 2007 год.

На трубопроводе имеется участок повышенной осадки между ПО 145 и 168, на который приходится 65,1 % общей осадки. Из всех опор более других осели ПО 153 (121 мм), ПО 158 (141 мм), ПО 159 (117 мм) и ПО 166 (103 мм). При этом до 2004 г. наблюдалась практически симметричная относительно равномерная осадка. В настоящее время наиболее активными являются ПО 155 и ПО 166, где осадка в 2005 г. составила по 10 мм. Для компенсации осадки опор персоналом НС ежегодно производится ревизия катковых промежуточных опор и выравнивание высотного положения оси трубопроводов путём установки дополнительных прокладок под опорную подушку катка опоры.

На АО 3 имеется проектная защитная дамба, но не оборудованная сбросом аварийных объёмов воды в безопасное для НС место. Кроме этого, в дамбе проложена излишне габаритная труба диаметром 1200 мм, соединяющая водосбросные лотки.

Смотровые люки – лазы для осмотра внутренней поверхности трубопроводов герметичные, часть сальниковых уплотнений компенсаторов изношена и происходит утечка, сопровождающая интенсивной коррозией контактных поверхностей и крепёжных деталей. Бетонная облицовка ложа трубопроводов исправная, лоток для сбора протечек проложен по левой стороне трубопровода.

Инспекторские гравийно-асфальтные дороги вдоль трассы трубопроводов имеются с обеих сторон после АО 3 и соединяются на водовыпуске.

1.3.4. Напорные трубопроводы НС «Жайхун» в Сурхандарьинской области

Напорные трубопроводы – индивидуального исполнения протяжённостью 94,73 м, диаметром 2840 мм изготовлены из стального листа Ст3ПС толщиной 10 мм. Трубопроводы проложены открыто и опираются на пять промежуточных опор каткового типа. Опорные подушки и катки покрыты коррозией, все катки имеют противоугольные упоры и закрыты кожухами. На опорных поверхностях следы перекачивания отсутствуют, следовательно, перемещения трубопроводов незначительные.

На трубопроводе насосного агрегата № 2 между левым катком ПО 4 и плитой опорного звена имеется зазор 1 мм. При частичном неприлегании опор в металле трубопровода возникают дополнительные касательные напряжения вследствие кручения трубопровода вокруг сохранившейся опорной точки. В связи с этим образовавшийся зазор должен быть устранён при ближайшем ремонте путём подбора прокладок между верхней подушкой и опорной плитой.

При визуальном обследовании трубопроводов свищей, трещин, некачественных сварных швов и повреждений оболочки не обнаружено. Трубопровод насосного агрегата № 2 длительное время находился под действием повышенной вибрационной нагрузки, отчего на рёбрах жесткости накопились многочисленные радиальные трещины, заваренные при подготовке к сезону 2005 года.

Компенсаторы – герметичны, утечки из сальникового уплотнения незначительны. Наружное антикоррозийное покрытие трубопроводов обновлено в 2004-2005 годах и находится в удовлетворительном состоянии. Смотровые люки, расположенные у водовыпуска исправны и герметичны. Бетонная облицовка ложа трубопроводов находится в исправном состоянии. Инспекторская дорога вдоль трассы трубопроводов из-за их малой протяженности не предусмотрена.

Трубопроводы проложены в выемке, сооружения для отвода залповых объёмов воды в случае прорыва трубопровода отсутствуют. Проектный дренажный приямок, заполненный фильтрующим инертным материалом и покрытый перфорированной бетонной облицовкой, полностью заилился. Дренажный погружной электронасос ЭЦВ 6, расположенный в специально запроектированной для водопонижения скважине, вышел из строя. В настоящее время удаление протечек из компенсаторов производится с поверхности приямка консольным насосом ЗК 6, установленным у трубопровода насосного агрегата № 7.

За время эксплуатации трубопроводы имеют незначительный износ. Средняя остаточная толщина оболочки составляет 9,4 мм (таблица 1.6.), что соответствует износу 6,0 %. По окружности оболочки наименьшая толщина находится в точке 6:00. Здесь износ выше и остаточная толщина доходит до 6,9 мм (таблица 1.6., середина пролёта между ПО2 и ПО3 трубопровода № 3). Средняя скорость изнашивания за 19 лет эксплуатации составляет 0,03 мм/год, что в три раза ниже данных по трубопроводам других НС. Малый износ оболочки трубопроводов связан в первую очередь с предварительным осветлением перекачиваемой воды (в момент обследования мутность проб, взятых из трубопровода, составляла 1,94 г/л) в головном отстойнике и пониженной режимной нагрузкой насосных агрегатов.

Таблица 1.6.

Распределение остаточной толщины оболочки по окружности трубопроводов, мм

Номер НА	Расположение измерительных точек по циферблату										Средняя толщина
	12:00	1:30	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:30	
1	9,7	9,7	8,6	8,9	8,8	8,6	8,7	9,1	8,3	9,6	9,0
2	9,3	9,6	9,3	9,1	8,6	8,5	8,9	8,9	8,5	9,9	9,1
3	9,5	9,9	9,6	8,9	9,1	8,2	8,9	9,7	9,8	9,9	9,4
4	9,8	9,8	9,7	9,3	9,6	8,8	9,8	9,8	9,6	9,7	9,6
5	9,8	9,9	9,4	9,7	9,0	8,6	8,9	9,4	9,5	9,8	9,4
6	9,9	9,8	9,3	9,1	9,4	8,9	8,7	9,8	9,4	9,9	9,4
7	9,7	9,8	9,9	9,8	9,6	9,7	9,8	9,9	9,6	9,8	9,8
Среднее значение	9,7	9,8	9,4	9,3	9,2	8,8	9,1	9,5	9,2	9,8	9,4

Таблица 1.7.

Распределение остаточной толщины оболочки по длине трубопроводов, мм

Номер НА	Расположение измерительных точек					Средняя толщина
	ПО1-ПО2	ПО2-ПО3	ПО3-ПО4	ПО4-ПО5	ПО5-сифон	
1	2	3	4	5	6	7
1	8,6	8,5	9,3	8,6	8,9	8,8
2	8,3	8,2	7,5	8,5	8,3	8,2
1	2	3	4	5	6	7
3	7,7	6,9	7,9	7,9	8,2	7,7
4	8,1	8,5	9,6	9,0	8,8	8,8
5	9,2	8,8	9,0	7,9	8,3	8,6
6	8,6	8,7	9,0	8,6	8,2	8,6
7	8,8	9,9	9,7	9,5	9,0	9,4
Среднее значение	8,5	8,5	8,9	8,6	8,5	8,6

1.3.5. Напорные трубопроводы Насосной станции Кую-Мазар в Бухарской области

Насосные агрегаты НС оборудованы индивидуальными напорными трубопроводами диаметром 2840 мм, протяженностью прямолинейного участка от выхода из железобетонного монолита подземной части здания до входа в сифонный водовыпуск 58,6 м, проектной толщиной 10,0 мм (опорное звено промежуточных опор – 12 мм). Каждый из шести трубопроводов содержит по одному компенсатору и три промежуточные опоры.

Температурно-осадочный компенсатор сальникового типа расположен в начале трубопровода. Расчётная величина осевого перемещения подвижного шарнира ± 100 мм, осадки - ± 150 мм. Промежуточные опоры – каткового типа Р-50, рабочая нагрузка 50 тс, рабочая длина катка 195 мм, диаметр цилиндра

катка 350 мм, наибольшее давление на бетон 44 кг/см², наибольший ход верхней плиты ±130 мм.

По состоянию на июль 2002 г. средний износ оболочки напорных трубопроводов относительно первоначальной толщины достиг 47 %, участились случаи дефектов и разрыва трубопроводов. В 2004-2005 гг., по проекту института «Давсувлоийха» прямолинейные цилиндрические участки трубопроводов были заменены, а переходный конический участок до напорного колена насоса и сифоны восстановлены установкой внутри дополнительных вставок. При реконструкции из бывших в употреблении деталей использованы только цилиндрические катки промежуточных опор.

При обследовании и визуальном осмотре трубопроводов установлено, что дренажный лоток согласно нормам проложен с правой стороны трассы трубопроводов. Бетонные фундаменты промежуточных опор и бетонная облицовка ложа трассы видимых дефектов не имеют. Все промежуточные опоры прилегают полностью, проектные защитные кожухи смонтированы, противоугонный зуб имеется на всех катках. Смотровые люки, расположенные вблизи сифонного водовыпуска на трубопроводах, герметичны. Сальниковые температурно-осадочные компенсаторы находятся в исправном состоянии, утечки – незначительные. Дренажный приемок под трубопроводами в месте их выхода из здания НС заилен умеренно. Персоналом НС периодически очищается вручную. По проекту приемок самотёком должен осушаться в нижний бьеф КМК, но при бытовых отметках в канале выше 220.148 уровень воды в приемке поднимается до низовых отметок трубопроводов, приводя к интенсивной коррозии наружной поверхности трубопроводов.

Во время усиления оболочки водовыпуска НА № 1 утрачена его герметичность и в стыке трубопровода с сифоном происходит подсос воздуха.

Антикоррозийное лакокрасочное покрытие наружной поверхности трубопроводов некачественное, особенно на трубопроводах НА № 5 и 6. На внутреннюю поверхность новых трубопроводов НА № 1...4 нанесено защитное покрытие на основе эпоксидных смол ЭП 0010 и ЭД-20. Таким же покрытием защищена внутренняя поверхность сифонов и переходных конусов под камерами рабочих колес насосов. По информации персонала, в настоящее время, по истечению 1,5-2 лет после нанесения покрытия, оно сохранилось в удовлетворительном состоянии, и не имеет следов абразивного износа.

Инспекторская дорога вдоль трассы трубопроводов проектом не предусмотрена. Состояние трубопроводов оценивается, как исправное, работоспособное.

1.3.6. Напорные трубопроводы насосной станции Хамза-1 в Бухарской области

Насосная станция работает на два общих напорных трубопровода. Напорные патрубки насосов соединены с дисковыми затворами короткими конусными вставками. Индивидуальные трубопроводы отсутствуют. Сразу после дисковых затворов тройники объединяют попарно НА № 1 и 2, 3 и 4, 6 и 7, 8 и 9. Пятый агрегат, являясь резервным, по проекту имеет два дисковых затвора и параллельно

врезается в тройники НА № 3 и 4 и НА № 6 и 7. Тройники замоноличены в бетон, а здание НС считается анкерной опорой № 1. За АО-1 под углом 21° к горизонту идут четыре коллектора диаметром 2440 мм, в начале которых имеются температурно-осадочные сальниковые компенсаторы. Расчётная величина осадки температурно-осадочного компенсатора и расчётная величина осевого перемещения подвижного шарнира компенсатора – ± 150 мм. Коллекторы открытой укладки, длиной 60 м, на 3-х промежуточных катковых опорах типа Р-50 расчётной грузоподъёмностью 50 тс. За третьей опорой коллекторы переходят в АО-2, где попарно объединяются в два трубопровода диаметром 3640 мм. Протяжённость трубопровода 682 м. Через каждые 120 м имеются анкерные опоры (всего 5 штук). Непосредственно перед АО установлены температурные компенсаторы. Между АО, через каждые 18 м установлены промежуточные катковые опоры типа Р-100 грузоподъёмностью 100 тс.

Для впуска воздуха на каждом трубопроводе у ПО - 17 установлено по 4 клапана-вантуза Ду-600. Клапан представляет собой свободно подвешенную на штоке тарель с резиновым уплотнением, полностью открывающуюся вовнутрь трубопровода при понижении в нём давления ниже 0,5...1,0 м водяного столба. При нормальной работе тарель прижимается к фланцу корпуса клапана предварительно натянутыми пружинами. Для защиты подвижных деталей от примерзания в зимний период, клапаны должны быть заключены в специальное теплоизолированное помещение.

Осмотр внутренней поверхности трубопроводов и производство ремонтных работ производится через смотровые люки-лазы, установленные за каждой АО (всего по шесть лазов на одну нитку трубопроводов). «Технические указания по эксплуатации ГТС и гидромеханического оборудования Хамзинской насосной станции на Аму-Бухарском канале», выпущенные в 1965 г. институтом Средазгипроводхлопок, ограничивают осадку каждой АО величиной 3...10 мм по вертикале. При изменении проектного положения оси прямолинейного участка трубопроводов между компенсаторами по высоте ± 10 мм, в плане ± 5 мм эксплуатация трубопроводов не допускается.

Доступные обзору части анкерных опор и бетонные фундаменты промежуточных опор видимых дефектов не имеют. Все промежуточные опоры прилегают полностью, проектные защитные кожухи смонтированы, износ опорных поверхностей катка и подушек отсутствует, противоугонный зуб имеется на всех катках. Смотровые люки-лазы герметичны, сальниковые температурно-осадочные компенсаторы находятся в исправном состоянии, укомплектованы натяжными шпильками, утечки – умеренные. Все клапаны – вантузы в исправном состоянии, протечки отсутствуют. Предусмотренные проектом бетонная облицовка ложа трассы трубопроводов и дренажные лотки отсутствуют. Вся площадка под трубопроводами занесена барханным песком и местами поросла сорняком. Защитная дамба в створе АО 3, предназначенная для отвода воды в нижний бьеф в обход насосной станции в случаях аварийного прорыва трубопроводов также занесена песком, а площадка перед дамбой вогнута вовнутрь ложа трубопроводов.

Инспекторская дорога вдоль трассы трубопроводов инженерно необорудована. Для проезда транспорта используется территория прилегающих барханов из сыпучих песков.

В результате длительной эксплуатации напорные трубопроводы находятся в изношенном состоянии. На внутренней поверхности трубопроводов присутствует развитая язвенная точечная коррозия с глубиной раковин до 2,0 мм. При этом контрольными замерами остаточной толщины оболочки в 2004 г. установлено, что износ по периметру оболочки распределён неравномерно. Наибольший износ приходится на правую по ходу потока половину поперечного сечения трубопроводов, где суммарный износ на 20 % выше, чем на левой половине сечения. На эту же половину сечения приходится подавляющее большинство ранее устранённых и присутствующих на момент обследования свищей и повреждений трубопроводов, в том числе и последний разрыв трубопровода № 2 в октябре 2005 г.

На момент замеров средний по НС износ составил 3,68 мм (34,2 % от первоначальной толщины), а в отдельных точках износ достигает 70...72 %. Вибрационное состояние трубопроводов не анализировалось, но и без этого дальнейшая эксплуатация трубопроводов без реконструкции сопряжена с неопределённостью напряженно – деформированного состояния оболочки и риском внезапных усталостных повреждений при кратковременных переходных режимах, в том числе в условиях нормальной эксплуатации.

В настоящее время реконструкция по опыту НС «Кзыл-Тепа» по проекту института «Уздавсувлыйиха» производится на напорном трубопроводе № 2 путём дополнительного усиления оболочки изнутри трубопровода сегментами длиной 4,5 м и толщиной 7,0 мм.

Такое локальное усиление сечения трубопровода экономичнее полной замены, но может повлечь дополнительные проблемы с качеством сварных швов в стыках с аналогичными сегментами в процессе подобного усиления второй половины сечения трубопровода. Кроме того, возможные дефекты нового фрагмента оболочки при наличии зазора между двумя оболочками не поддаются контролю, так, как протечка через такой дефект будет проявляться только через дефекты наружной оболочки, которые могут находиться на значительном удалении от искомого места.

Проект составлен без учёта динамического состояния трубопроводов и без проверки прямолинейности их продольной оси. Реконструкция трубопровода производится без авторского надзора со стороны проектировщика и независимого контроля качества сварных швов.

Учитывая изложенное, состояние напорных трубопроводов оценивается как частично неработоспособное.

Таблица 1.8.

**Характеристика напорных трубопроводов НС Шерабад
в Сурхандарьинской области**

Характеристика		Результаты обследования
Тип укладки напорного трубопровода		Надземная, на катковых опорах
Материал трубопровода		Сталь М16С
Тип антикоррозионной защиты		Проточная часть без покрытия
а) проточной части		
в) наружной поверхности		Наружная поверхность - лакокрасочное покрытие
Количество ниток трубопроводов		6 шт.
Диаметры трубопровода, мм		2640
Толщина стенок	Проектная	10
	Фактическая (по результатам последних замеров 2003г), мм	9.5-9.6
Наличие защитной арматуры от гидроудара (ее техническое состояние)		нет
		Техническое состояние удовлетворительное
Протяженность трассы, м		110

Для восстановления исправного, работоспособного состояния трубопроводов необходимо произвести очистку трассы трубопроводов от песка, восстановление бетонной облицовки ложа трубопроводов и дренажных лотков, защиту их от заноса песком, строительство проектной инспекторской дороги, очистку защитной дамбы и закрепление водоотводящего сбросного тракта, капитальный ремонт клапанов-вантузов с настройкой пределов срабатывания, восстановление теплоизолированного помещения над ними. Проект реконструкции трубопроводов необходимо дополнить корректировкой их продольной оси и снижением динамических вибрационных напряжений в оболочке.

**1.3.7. Напорные трубопроводы насосной станции «Шерабад»
в Сурхандарьинской области**

НС «Шерабад» имеет индивидуальную схему напорных трубопроводов, т.е. каждый насосный агрегат имеет собственный напорный трубопровод. Общее количество напорных трубопроводов составляет 6 ниток, диаметром 2640 мм каждая. Длина напорного трубопровода составляет 110 м. По трассе трубопроводов находятся девять промежуточных опор.

На участке напорного трубопровода для перехвата и вывода залповых объемов воды при утечках из трубопроводов между ПО 2 и ПО 3 устроен водосбросной лоток, согласно проекту. Доступные обзору бетонные фундаменты промежуточных опор и облицовка ложа трассы видимых дефектов

не имеют. Площадка под водоводами местами проросла сорняком. Смотровые люки, расположенные на начальном участке трубопроводов герметичны. Сальниковые температурно-осадочные компенсаторы находятся в исправном состоянии, утечки – умеренные (на начальном участке трубопроводов №1, 3 и 4). Антикоррозийной покрытие наружной поверхности трубопроводов, находятся в удовлетворительном состоянии. В некоторых местах при производстве сварочных работ по устранению трещин и установке дополнительных ребер жесткости покрытие нарушено и оболочка подвергается атмосферной коррозии.

Все сварные швы не имеют видимых дефектов. На напорном трубопроводе №3, между ПО3 и ПО2 имеется небольшой свищ (фото 12). Утечка воды характеризуется как струйно-капельная. Трубопроводы оборудованы промежуточными опорами каткового типа, состоящими из нижней стальной подушки, заанкеренной в штрабном бетоне фундамента, катка и верхней подушки, соединяемой с плитой опорного кольца болтами. При осмотре катковых опор установлено, что проектные защитные кожухи смонтированы, износ опорных поверхностей катка и подушек отсутствует, противоугонный зуб (шплинт) имеется на всех катках, за исключением одной катковой опоры, расположенной на 6 нитке напорного трубопровода (на ПО 9), где катковая опора не имеет шплинта. Характерные признаки подвижности опор (следы перекатывания катка) отсутствуют, что свидетельствует о незначительных деформационных осевых перемещениях трубопровода. Все катковые опоры прилегают.

Выводы по главе 1.

1. Наличие в перекачиваемой воде взвешенных твердых материалов из-за их осаждения в подводящем канале, в аванкамере и водоприемнике оказывают негативное влияние на функционирование насосных станций. Особенно сложная ситуация при этом возникает на сооружениях насосных станций, перекачивающие амударьинскую воду.

2. До всасывающих труб насосных агрегатов осаждаются частицы диаметром более 0,01 мм, а частицы диаметром менее 0,01 мм транспортируются по трубопроводам и через рабочую камеру насоса к напорному бассейну. Из-за осаждения наносов в аванкамере и водоприемнике резко снижаются их пропускная способность, что естественно снижает подачу воды к агрегату. Снижение подачи воды к насосному агрегату создает условия образования воздушной воронки перед всасывающей трубой, тем самым даже при соблюдении кавитационного запаса по горизонту воды, происходит образование кавитации насоса.

3. Наличие серьезных проблем препятствующих нормальному функционированию насосных станций перекачивающих воду с большим содержанием взвешенных наносов обуславливает рассмотрение имеющихся исследований, посвященных гидравлики двухфазного потока: воды и наносов.

ГЛАВА 2. ОБЗОР РАБОТ, ПОСВЯЩЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЮ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

2.1. Исследование условий функционирования подводящего канала, аванкамеры и водоприемника

В состав сооружений насосных станций входят: подводящий канал, аванкамера, водоприемник, всасывающий и нагнетательные трубопроводы, насосный агрегат с вспомогательным оборудованием, расположенные в здании насосной станции, напорный бассейн и отводящий канал.

Подводящие каналы крупных насосных станций, перекачивающие воду из естественных источников (рек, озер и т.д.) проходят обычно в земляном русле. В подводящих каналах к насосным станциям Аму-Зангского, Каршинского и Амубухарских машинных каналов из-за регулярных русловыпрямительных работ движение наносов имеет неустойчивый характер, при этом концентрация наносов изменяется как во времени, так и по длине русла. Исследование движения наносов в деформируемом русле в теоретическом плане представляет собой сложную проблему, так как при решении таких задач приходится учитывать движение воды, взвешенных наносов с учетом движения самого русла в пространстве. Решить такую задачу не удастся даже с использованием современных вычислительных машин. Имеются частные решения задачи транспорта наносов и деформации русла с использованием одномерного уравнения Сен-Венана [57, 65, 78, 100, 104, 105], а для двумерной и трехмерной постановки возникает необходимость использования множества краевых задач. Краевые задачи необходимы для задания плотности наносов в четырехмерном измерении, возникает также необходимость установления граничных условий для изменения формы поперечного сечения и продольного уклона, а они, в первую очередь, зависят от местонахождения морфологических и других особенностей функционирования конкретного русла. Из Интернет-информации известно, что для прогнозирования поведения реки Рейн при наводнении были разработаны компьютерные модели прохождения паводка по руслу. Моделирование осуществлялось для жесткого неразмываемого русла, в котором форма поперечного сечения русла и продольный уклон являются постоянными по времени. К сожалению, использовать подобные модели для моделирования процесса транспорта наносов с учетом деформации русла не представляется возможным.

Для упрощения моделирования процесса движения потока в естественных условиях принимается ряд допущений: рассматривается установившееся состояние, русло подразумевается жесткое – недеформируемое, во многих случаях плотность потока наносов принимается постоянной по вертикали и т.д.

Установившееся движение потока воды со взвешенными наносами в естественных водотоках достаточно подробно рассмотрено в работах [3, 4, 33, 45, 47-49, 91-97], где дается аналитическое выражение для установления гидравлических характеристик взвешенного потока воды. В настоящее

время для оценки и прогноза осаждения наносов в подводящих руслах последние работы имеют широкое применение.

Наиболее сложным участком для транспорта наносов для насосных станций является аванкамера - участок сопряжения канала с водоприемником насосной станции. Аванкамера в гидравлическом отношении представляет собой непрямоугольный в плане участок канала, где в начальном ее участке значение живого сечения потока намного меньше, чем в конечном сечении. Такой непрямоугольный участок русла приводит к уменьшению скорости подхода потока воды к водоприемнику, что обуславливает увеличение осаждения взвешенных частиц на конечном участке аванкамеры, тем самым создавая серьезную угрозу снижения пропускной способности аванкамеры насосной станции. Гидравлическое функционирование аванкамеры насосных станций нашло свое отражение в исследованиях [19-23], где наряду с моделированием процесса движения взвешенного потока, предложен ряд конструктивных решений, способствующих повышению условий подачи воды к водоприемнику. В работе [60, 61] приводится натурное обследование функционирования аванкамеры насосной станции Туракурган-2 в Наманганской области.



Рис.2.1. Заиление аванкамеры насосной станции Туракурган-2 в Наманганской области

Аналогичный фактор также обнаружен при обследовании насосных станций «Аму-Занг-2», «Шерабад» и «Бабатаг» в Сурхандарьинской области. В этих обстоятельствах продукты заиления аванкамеры трансформируются в водоприемники. В исследованиях [61] приведено достаточно много натурных данных о заилениях аванкамеры и водоприемника насосных станций (таблица 2.1. и рис. 2.2.).

Таблица 2.1.

Объемы заилиения водоподводящих сооружений НС [52, 61]

№ пп	Наименование НС	Аванкамера			Водоприемная камера		
		Общий объем сооружения, м ³	Объем заилиения, м ³	Объем заилиения в % от общего объема сооружения	Объем сооружения, м ³	Объем заилиения, м ³	Объем заилиения в % от общего объема сооружения
1	2	3	4	5	6	7	8
1	«Туракурган-1»				40	18	45
2	«Туракурган-II»	120	71	59,1			
3	«Уйчи»	1781	453,6	39,4			
4	«Ирригатор»	3299	1635	46,5			
5	«Равот»				88,2	25,9	29,3
6	«Гулистан»				51	10,5	20,3
7	«Дустлик»	372	142	38,1	38,4	8,2	21,4
8	«Оби-хаёт»	2420	580	41,7	45	8,7	19,3
9	«Бахт»				52	19,6	37,5
10	«Раиш-Хокент-1»				80	18,5	23,1

Увеличение объема заилиения аванкамеры привело к засорению и заилиению водоприемной камеры насосных станций «Туракурган-1» и «Туракурган-II» (Наманганская область), что негативно отразилось на нормальных условиях функционирования насосных станций: неэффективное использование электроэнергии, потеря производительности насосных агрегатов; создаются условия для возникновения кавитации, даже при соблюдении необходимого горизонта воды.

Таблица 2.2.

Фракционный состав отложенных наносов
в водоприемной камере на «Туракурган- 1» [61]

Диаметры частиц, мм	Содержание данной фракции от общего количества, %
1-0,25	1,22
0,25-0,1	6,59
0,1-0,05	49,17
0,05-0,01	15,83
0,01-0,005	8,12
0,005-0,001	15,41
< 0,001	3,66



Рис.2.2. Заиление водоприемной камеры насосной станции Туракурган-1 в Наманганской области

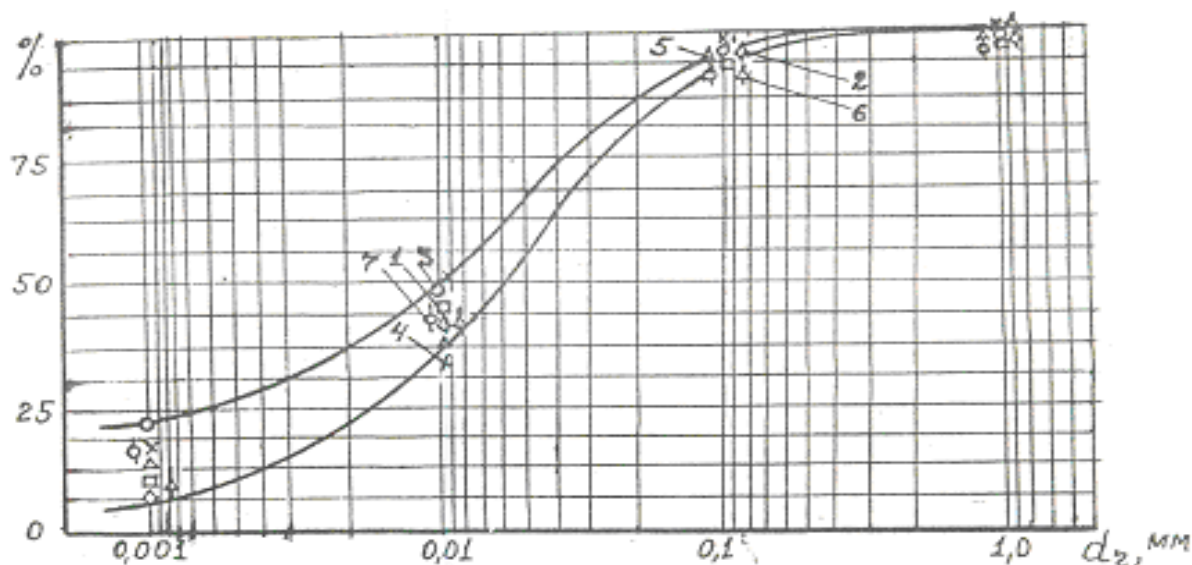


Рис.2.3. Гранулометрический состав взвешенных наносов, содержащихся в перекачиваемой воде на насосных станциях

1-«Куюмазар», 2-«Алат-2»(данные САНИИРИ), 3-«Мустакиллик-1», 4-«Дустлик», 5-«Обихает», 6-«Хожабосмон», 7«Туракурган-1» [61] в приемной камере станции.

Вышеприведенные исследования, проведенные нами на насосных станциях, перекачивающих амударьинскую воду для нужд Сурхандарьинской и Кашкадарьинской областей показывают, что до 60 % взвешенных наносов осаждаются в подводящем канале, в аванкамере и в водоприемнике, а оставшая часть наносов через всасывающую трубу насоса и напорного трубопровода попадает в напорный бассейн и далее транспортируется по машинному каналу до водопользователей. Как показывают проведенные исследования на сооружениях до всасывающего трубопровода осаждаются наносы с диаметром

частицы свыше 0,1 мм. Частицы диаметром меньше 0,1 мм и основная масса, которую составляют пылеватые частицы с диаметром $d \leq 0,01$ мм через рабочие полости насоса попадают в напорные трубопроводы. Эти частицы, как показывают исследования, абразивными свойствами не обладают, тем не менее они для напорных трубопроводов, в которых имеются местные гидравлические сопротивления (повороты, узлы соединения с коллекторами, наличие нестандартных участков труб, они обнаружены на насосной станции «Бабатаг», где одна линия трубопровода соединена с трубами различной толщины стенок) образуют скопление твердого материала. Частые отключение насосных агрегатов приводят к увеличению осадков твердого материала в проточной части насосной станции, а наличие в них большого количества пылеватых частиц приводят, в дальнейшем, к цементации этого скопления. Образовавшееся внутри скопление создает дополнительные гидравлические сопротивления, а в отдельных случаях (авария в 2004 году из-за образования иловой пробки в напорном трубопроводе насосной станции «Жаркуртан» в Сурхандарьинской области) приводят к серьезным авариям насосной станции.

Таблица 1.3.

Степень снижения водоподачи насоса Д4000-95 в зависимости от различных факторов [52, 61]

№ пп	Наименование показателей	Ед. изм	Количество	Снижение водоподачи насоса, %
1	Снижение водоподачи вследствие заиливания водоприемной камеры	л/с	40	4
2	Снижение водоподачи из-за увеличения гидравлического сопротивления всасывающего трубопровода	л/с	62	6,2
3	Снижения водоподачи из-за увеличения гидравлического сопротивления напорного трубопровода	л/с	15	1,5
4	Снижение водоподачи вследствие увеличения зазора в области «языка»	л/с	30	3
5	Снижение водоподачи вследствие увеличения уплотняющего зазора рабочего колеса	л/с	90	9
6	Снижение водоподачи вследствие увеличения гидравлического сопротивления проточной части насоса	л/с	65	6,5
7	Суммарная величина снижения водоподачи насоса	л/с	302	30,2

Как известно [100, 104] всасывающие трубопроводы относятся к классу коротких труб, когда при их гидравлическом расчете в обязательном порядке учитывается наряду с гидравлическим сопротивлением на трение по длине. А напорные трубопроводы относятся к классу длинных труб, предполагая значение местных сопротивлений чрезмерно маленькими, они не учитываются при установлении рабочих характеристик насосных агрегатов, что, по нашему мнению, недопустимо, когда в составе перекачиваемой воды содержится большое количество взвешенных наносов.

2.2. Обзор работ, посвященных гидравлическим исследованиям Трубопроводов

В известных учебниках по гидравлике [100,104] даются схема гидравлического расчета всасывающей трубы насоса (рис. 2.4.), в соответствии с ней используется расчетная формула для установления величины вакуума перед рабочим колесом насоса:

$$(h_{\text{вак}})_{\text{вс}} = a + \frac{\alpha V_1^2}{2g} + (h_f)_{\text{вс}} \quad (2.2.1)$$

где, $(h_{\text{вак}})_{\text{вс}}$ - вакуум перед рабочим колесом насоса;

a - превышение оси насоса над горизонтом воды в нижнем бьефе;

V - скорость подхода воды к всасывающему трубопроводу;

α - коэффициент кинетической энергии или коэффициент Кориолиса, для движения жидкости в трубах $\alpha \approx 1,05...1,1$.

В учебниках по гидравлике и по насосным станциям [100, 104] приводится общепринятая гидравлическая схема функционирования насосного агрегата (рис. 2.5). Гидравлическая схема позволяет получить расчетную формулу для установления напора насосного агрегата (2.2.2).

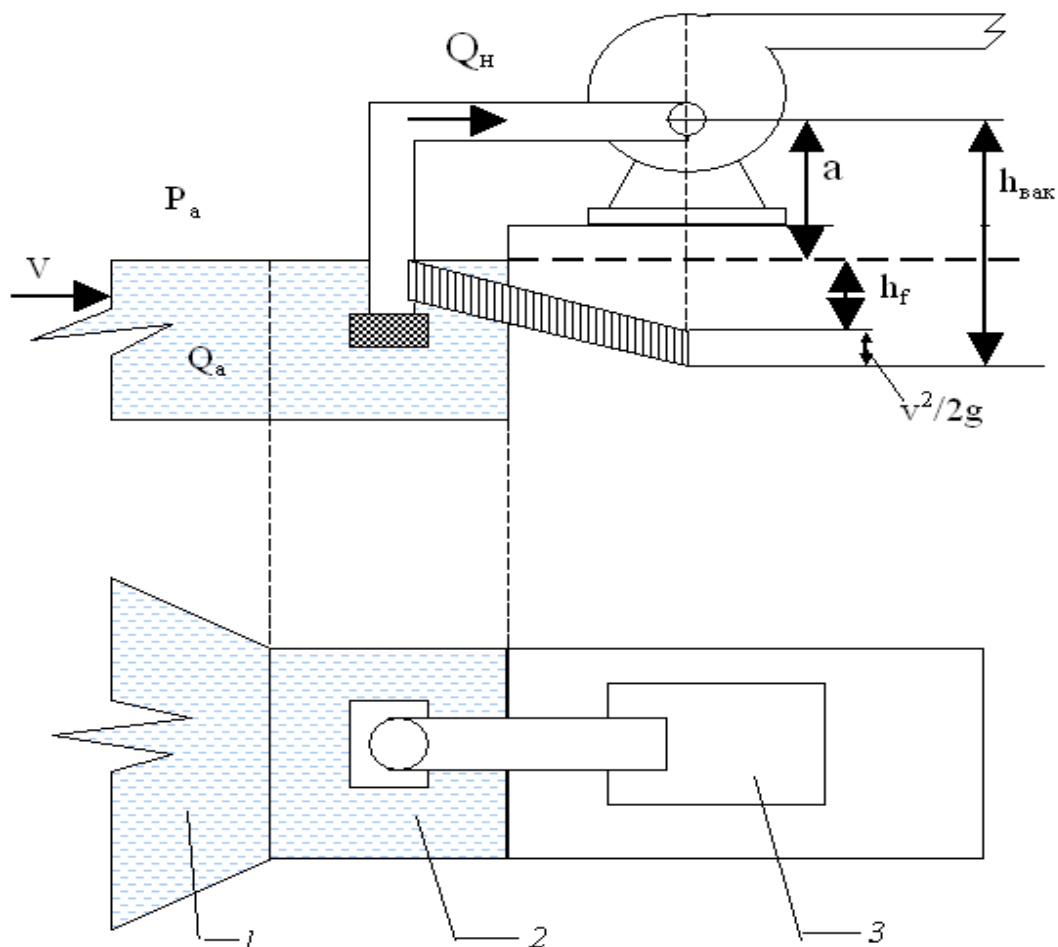


Рис. 2.4. Схема для гидравлического расчета всасывающей трубы насоса

На рис.2.4: 1-аванкамера, 2-водоприемник, 3-насосный агрегат.

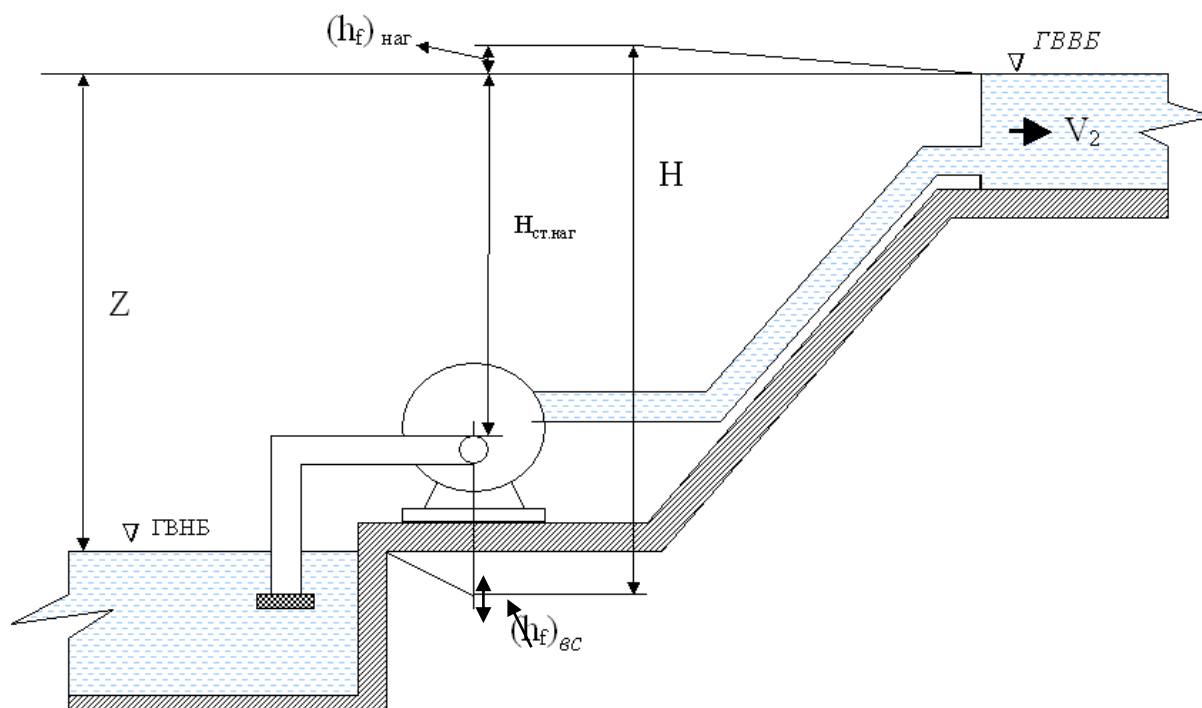


Рис. 2.5. Схема для установления напора насосной установки

$$H = z + (h_f)_{вс} + (h_f)_{наг} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (2.2.2)$$

В формуле (2.2.2): H - напор насоса, м;

$(h_f)_{вс}$ - потери напора во всасывающей трубе, м;

$(h_f)_{наг}$ - потери напора в напорном трубопроводе;

V_2 - скорость потока воды в напорном бассейне.

В исследованиях [61] получены расчетные зависимости для определения теоретического напора H_t и теоретической подачи Q_t центробежного насоса

$$H_t = \pm h_{м.в.} + h_{ман} + y + \frac{V_n^2 - V_в^2}{2g} + S_n Q^2 \quad (2.2.3)$$

$$Q_t = (\pi D_2 B_2 - \sigma_2 B_2 z_n) V_{2m} \quad (2.2.4)$$

В формулах: $h_{м.в.}$ и $h_{ман}$ - соответственно показания моновакуумметра и манометра, устанавливаемых на входном и напорном патрубках насоса;

y - расстояние между точками замера давлений;

S_n - постоянная, характеризующая внутреннего гидравлического сопротивления насоса;

$V_в$ и V_n - соответственно скорости потока во входном и напорном патрубках насоса;

Q - действительная подача насоса;

D_2 - диаметр рабочего колеса;

B_2 и σ_2 - соответственно ширина и толщина лопастей по окружности диаметра D_2 ;

z_d - число лопастей рабочего колеса;

V_{2m} - меридиональная составляющая абсолютной скорости потока на выходе из колеса:

$$V_{2m} = K_m \sqrt{2gH_t n_s} \quad (2.2.5)$$

где n_s - быстроходность насоса;

K_m - постоянная величина, которая берется в пределах 0,01... 0,015.

Вместе с этим в литературе недостаточно уделено внимания для установления изменения величины гидравлического сопротивления в трубопроводах насосных станций. Тем не менее наличие в составе перекачиваемой воды взвешенных наносов приводит к увеличению гидравлического сопротивления, что обуславливает уменьшение напора и подачи насоса.

Выводы по главе 2.

1. Вышеприведенные материалы и данные доказывают, что при установлении рабочих характеристик насосных агрегатов и других элементов насосных станций, в частности напорных трубопроводов, игнорирование присутствия в составе наносов является серьезным упущением. Игнорирование наличия наносов в составе воды взвешенных наносов при гидравлическом расчете трубопроводов в конечном итоге не способствует установления реальных рабочих характеристик насосных агрегатов: КПД, производительность и напор.

2. Исследованиями различных авторов установлено, что частицы размером зерна больше 0,01мм вследствие образования водоворотных и мертвых зон потока в аванкамере и незначительной скорости течения в водоприемной камере легко осаждались в них. В результате сужения проходных сечений сооружений увеличились гидравлические сопротивления, что привело к уменьшению водоподдачи насосов, а также образованию в некоторых случаях воздушных воронок в водоприемной камере НС.

3. При натурном обследовании ряда НС установлено, что объемы заилиения по отдельным станциям составляют от 20 до 60 % от общего объема водоподводящих сооружений.

4. Вместе с этим теоретическому исследованию по установлению величины гидравлического сопротивления при движении мутного потока не уделено достаточного внимания; последующие работы автора посвящаются этой проблеме.

ГЛАВА 3. ПОТЕРИ НАПОРА НА ТРЕНИЕ ПРИ НАПОРНОМ ДВИЖЕНИИ СМЕСИ ВОДЫ И ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ

3.1. Основные условия для определения гидравлического сопротивления на трение в трубопроводе при движении смеси воды и взвешенных наносов

Пользуясь основным уравнением установившегося равномерного напорного движения жидкости в круглоцилиндрической трубе, рассмотрим задачу работы сил трения при движении потока воды со взвешенными наносами. При этом принимаем условие, когда продольное касательное напряжение трения со стороны потока смеси воды и взвешенных наносов к стенкам трубопровода постоянное $\tau_0 = const$ вдоль смоченного периметра трубы.

Взвешенные частицы в равномерном двухфазном потоке в начальном процессе осаждения испытывают воздействие только силы тяжести и силы сопротивления воды, при этом закономерность изменения сопротивления соответствует квадратичной области сопротивления.

Рассмотрим равновесное движение равномерного напорного потока смеси воды и взвешенных наносов (которая рассматривается как дисперсная смесь ($dr \ll R_0$)). Движение происходит в круглой цилиндрической трубе в турбулентном режиме. Гидравлические параметры трубы: R_0 - радиус трубы; ω - площадь живого сечения; χ - смоченный периметр (рис. 3.1). Для составления уравнения равномерного движения смеси, в потоке напорного трубопровода выделяем два сечения, при этом с расстоянием L между сечениями (рис. 3.1). В напорном трубопроводе дисперсная смесь двух вязких жидкостей с вязкостью смеси - $\mu_{см}$; плотностью смеси - $\rho_{см}$; движется со средней скоростью - $V_{см}$, где $\mu_{см} = f_1\mu_1 + f_2\mu_2$, $\rho_{см} = \rho_1 + \rho_2$, $\rho_n = \rho_{ni}f_n$. Здесь f_n и ρ_{ni} - концентрация и истинные плотности.

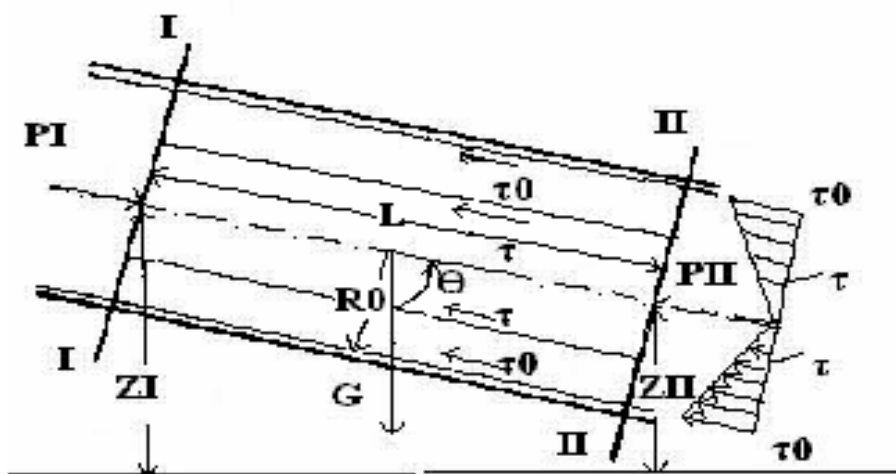


Рис. 3.1. Схема для составления уравнения равномерного движения смеси воды и взвешенных наносов

Касательное напряжение, обусловленное трением смеси, состоит из отдельных касательных напряжений составляющих фаз смеси при стенке трубы $\tau_o = \tau_{o1} + \tau_{o2}$, где τ_{on} - касательное напряжение n -й смеси на стенке трубы, которое для ламинарного движения определяется равенством [96] здесь

$$\tau_{on} = f_n \mu_n \left(\frac{\partial V_n}{\partial n} \right)_{r=R_0}, \quad (3.1)$$

где n - обозначает производную по направлению нормальной к оси симметрии трубы. С учетом (3.1) выражение касательного напряжения для смеси ламинарного движения можно написать, как

$$\tau = f_1 \mu_1 \left(\frac{\partial V_1}{\partial n} \right)_{r=R_0} + f_2 \mu_2 \left(\frac{\partial V_2}{\partial n} \right)_{r=R_0}. \quad (3.2)$$

3.2. Вывод уравнения равновесного равномерного напорного движения смеси воды и взвешенных наносов

Рассмотрим равновесное движение смеси между сечениями I-I и II-II. Из рис. 3.1, видно, что процесс равновесного движения смеси происходит под действием следующих сил: силы тяжести смеси $G = (\rho_1 f_1 + \rho_2 f_2) \pi R_o^2 L g$; силы гидродинамического давления P_I, P_{II} - действующие на сечения I и II и тогда, равнодействующая этих сил - P определяется равенством: $P = (P_I - P_{II}) \omega$; силы трения смеси со стенкой трубы: $T = \tau_o 2\pi R_o L = \tau_o \chi L$; а сила трения, выделенная внутри потока объема, определяется равенством $T = \tau 2\pi l$; а также из рис. 3.1 имеем $Z_1 - Z_2 = L \cos \theta$.

Для равномерного движения смеси средние скорости движения воды V_1 и взвешенных частиц V_2 , а также смеси V постоянны вдоль трубы, тогда можно считать, что:

$$\left[\alpha_1 \frac{\rho_1 V_1^2}{2} + \alpha_2 \frac{\rho_2 V_2^2}{2} \right]_I = \left[\alpha_1 \frac{\rho_1 V_1^2}{2} + \alpha_2 \frac{\rho_2 V_2^2}{2} \right]_{II}, \quad (3.3)$$

где, α_1 и α_2 (α_k всегда >1) - коэффициенты кинетической энергии или (коэффициенты Кориолиса), поправочные коэффициенты, учитывающие неравномерности распределения скоростей движения воды и взвеси, соответственно; ρ_1 и ρ_2 - приведенные плотности воды и наносов, соответственно; V_1 и V_2 - средние скорости движения воды и наносов соответственно.

С принятыми условиями составим уравнения равномерного движения смеси [100]:

$$(P_I - P_{II}) \omega - \tau_o \chi L + \rho_{см} g \omega L \cos \theta = 0, \quad (3.4)$$

откуда

$$P_I - P_{II} - \tau_o \frac{\chi L}{\omega} + \rho_{см} g L \cos \theta = 0. \quad (3.5)$$

Учитывая равенство $Z_I - Z_{II} = L \cos \theta$ будем иметь:

$$P_I - P_{II} - \tau_0 \frac{\chi L}{\omega} + \rho_{см} g (Z_I - Z_{II}) = 0.$$

Таким образом, для равномерного движения смеси имеем уравнение:

$$\left(Z_I + \frac{P_I}{\rho_{см} g} \right) - \left(Z_{II} + \frac{P_{II}}{\rho_{см} g} \right) = \frac{\tau_0 \chi L}{\rho_{см} g \omega} = h_{\partial л}, \quad (3.6)$$

где $\frac{\tau_0 \chi L}{\rho_{см} g \omega} = h_{\partial л},$

тогда для касательного напряжения смеси имеем выражение:

$$\tau_0 = \rho_{см} g \frac{\omega}{\chi} \cdot \frac{h_{\partial л}}{L} \quad (3.7)$$

т.к. $\frac{\omega}{\chi} = R$ - гидравлический радиус и $\frac{h_{\partial л}}{L} = J$ - гидравлический уклон, тогда для круглой трубы с радиусом R_0 , $\tau_0 = \rho_{см} g R J$.

Гидравлический радиус круглой трубы - $R = \frac{R_0}{2}$, тогда касательное напряжение для смеси определяется

$$\tau_0 = \rho_{см} g \frac{R_0}{2} J, \quad \tau = \rho_{см} g \frac{r}{2} J. \quad (3.8)$$

Используя понятие динамической скорости или осредненную местную скорость в рассматриваемой точке потока u_* как $\frac{\tau_0}{\rho} = u_*^2$, для которой записываем выражение [77]:

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = g R J \quad (3.9)$$

или

$$u_* = \sqrt{\frac{\mu_1 f_1}{\rho_{1i} f_1 + \rho_{2i} f_2} \left(\frac{\partial u_1}{\partial r} \right)_0 + \frac{\mu_2 f_2}{\rho_{1i} f_1 + \rho_{2i} f_2} \left(\frac{\partial u_2}{\partial r} \right)_0}. \quad (3.10)$$

Принимая во внимание, что вдоль стенки трубы действует касательное напряжение, $\tau_0 = \rho g \frac{R_0}{2} J$, а внутри потока между слоями

$$\tau = \rho g \frac{r}{2} J. \quad (3.11)$$

Тогда касательное напряжение трения между слоями определяется равенством:

$$\tau = \tau_0 \cdot \frac{r}{r_0} \quad (3.12)$$

Таким образом, получили, что касательное напряжение при равномерном движении будет линейной функцией от радиуса (3.12). Из равенства (3.6) имеем, что

$$h_{\partial л} = \frac{\tau_0 L}{\rho_{см} g R}. \quad (3.13)$$

Из равенств (3.7), (3.9) и (3.13) для динамической скорости имеем равенство:

$$\frac{\tau_0}{\rho} = u_*^2 = \frac{L}{gR} h_{dl} = \frac{gR}{gRL} \cdot \frac{L}{4R} \cdot \frac{V^2}{2g} \lambda = \frac{V^2}{8} \lambda \quad \text{или} \quad \lambda = \frac{u_*^2}{V^2} 8, \quad (3.14)$$

где, λ - коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси) при равномерном движении потери напора по длине можно определить через касательное напряжение смеси. Если поток смеси в трубе ламинарный, то для распределения скорости смеси будем иметь известный результат [77]:

$$\tau_{cm} = \pm \mu_{cm} \frac{dV_{cm}}{dr}. \quad (3.15)$$

Тогда из уравнения для выделенного объема между сечениями I и II получим выражения для средней скорости потока смеси:

$$V_{cm} = \frac{gJ}{4\nu_{cm}} (R_0^2 - r^2) \quad \text{где} \quad \nu_{cm} = \frac{\mu_{cm}}{\rho_{cm}} \quad \text{здесь} \quad \mu_{cm} = f_1 \mu_1 + f_2 \mu_2.$$

Расход смеси определяется равенством:

$$Q = \frac{\pi R_0^2}{2} u_{\max} = \frac{\pi gJ}{128 \nu_{cm}} d_o^4, \quad (3.16)$$

где $u_{\max} = \frac{gJ}{4\nu_{cm}}$; а средняя скорость будет равной $V_{cm} = \frac{gJ}{8\nu_{cm}} R_0^2$; коэффициент гидравлического трения или коэффициент Дарси - λ имеет вид:

$$\lambda = \frac{64}{Re_{cm}}, \quad (3.17)$$

где $Re_{cm} = \frac{2R_0 V_{cm}}{\nu_{cm}}$. Скорости смеси определяются из равенств

$$V_{cm} = \frac{V_1 + \frac{f_2}{f_1} \hat{\rho} V_2}{1 + \hat{\rho} \frac{f_2}{f_1}}, \quad (3.18)$$

$$\hat{\rho} = \frac{\rho_{2i}}{\rho_{1i}}.$$

Теперь переходим к рассмотрению турбулентного движения смеси, для которой касательное напряжение смеси имеет вид:

$$\tau_{cm} = \rho_{cm} L_T^2 \left(\frac{dV_{cm}}{dr} \right)^2, \quad (3.19)$$

где $L_T = \phi \sqrt{\frac{r}{R_0}} (R_0 - r)$. Теперь переходим к полностью турбулентному потоку смеси в трубе, тогда, учитывая сильное воздействие инерционной силы, будем иметь следующее уравнение для определения средней скорости смеси в трубе:

$$\rho_{cm} \phi^2 (R_0 - r)^2 \frac{r}{R_0} \left(\frac{dV_{cm}}{dr} \right)^2 = \frac{\rho_{cm} g r J R_0}{2}, \quad (3.20)$$

где ϕ - коэффициент Кармана, $\phi = F \phi_0$ где

$$F = \left(\frac{1 + \frac{f_2}{f_1} \hat{\rho} \frac{V_{20}^2}{V_{10}^2}}{1 + \frac{f_2}{f_1} \hat{\rho} \frac{Q_2^2}{Q_1^2}} \right)^{1/2}, \quad (3.21)$$

для воды $\phi_0 = 0,4$ [91]. Переводя в безразмерный вид, будем иметь:

$$\frac{d\hat{V}_{cm}}{d\hat{r}} = \frac{1}{2\phi} \sqrt{\frac{J}{Fr}} \cdot \frac{1}{1-\hat{r}}.$$

Интегрируя, получим:

$$\hat{V}_{cm} = \frac{1}{2\phi} \sqrt{\frac{J}{Fr}} \ln(1-\hat{r}). \quad (3.22)$$

Уравнение для определения границы между двумя потоками с различными характерами движения:

$$1-\hat{r}_* = \exp \left[\frac{2\phi \text{Re}_{cm}}{16} \sqrt{\frac{J}{Fr}} \right]_0 (1-\hat{r}_*^2), \quad (3.23)$$

где $\text{Re}_{cm} = \frac{2R_0 V_{cm}}{v_{cm}}$.

Для горизонтальной трубы

$$h_e = \frac{d}{dl} \left(Z + \frac{P}{\rho g} \right) = \zeta \frac{V^2}{2g}.$$

Потеря напора на трение в горизонтальной трубе при турбулентном движении смеси с мелкими наносами определяется как:

$$h_{mp} = \xi_o \left(\frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2}{\rho_1 + \rho_2} \right)^2 \frac{1}{2g} = \xi_o \left[V_1 + \frac{1-f_1}{f_1} \hat{\rho} V_2 \right]^2 - \left[2g \left(1 + \frac{f_2}{f_1} \hat{\rho} \right) \right]^2 \quad (3.24)$$

Тогда, местные потери напора определяют по выражению:

$$h_m = \zeta_m \cdot \frac{h_{mp}}{\zeta_{mp}}. \quad (3.25)$$

Полный напор в трубе для смеси воды с наносами определяется равенством [104]:

$$H = Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{\alpha_1^* V_1^2 + \alpha_2^* V_2^2}{2g}, \quad \alpha_n^* = \frac{\rho_n}{\rho} \alpha_n. \quad (3.26)$$

Для гидравлического уклона, имеем:

$$J = \frac{h_{mp}}{\ell} = \frac{1}{\ell} (H_1 - H_2), \quad (3.27)$$

где $H_m = Z_m + \frac{P_m}{\rho g} + \left[\frac{\alpha_1 V_1^2 + \alpha_2 V_2^2}{2g} \right]_m$.

Учитывая равенство [104] $J = \frac{dH}{dl}$ будем иметь уравнение:

$$\frac{dH}{dl} = - \frac{d}{dl} \left(Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{\alpha_1^* V_1^2 + \alpha_2^* V_2^2}{2g} \right), \quad (3.28)$$

а пьезометрический уклон для равномерного потока примет вид:

$$J = -\frac{d}{dl}\left(Z + \frac{P}{\rho g}\right), \quad (3.29)$$

откуда получим уравнение для безнапорного движения в виде

$$J + \frac{d}{dl}\left(Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{\alpha_1^* V_1^2 + \alpha_2^* V_2^2}{2g}\right) = 0. \quad (3.30)$$

Для равномерного потока, пьезометрический уклон, определяется из равенства (3.30) в виде:

$$J_n = -\frac{d}{dl}\left(Z + \frac{P}{\rho g}\right). \quad (3.31)$$

3.3. Численное решение уравнения для определения гидравлического сопротивления на трение в трубопроводе

Для установления расчетного напора насоса возникает необходимость решения уравнения (3.24). Решение уравнения производилось численно с помощью компьютерной программы (приложение 2). Для численного решения уравнения для потери напора использованы материалы натурных обследований напорных трубопроводов насосных станций. По результатам численных расчетов вычислена величина потери напора для различных концентраций наносов смеси f_2 плотности ρ при различных относительных размерах трубы $\frac{l}{R_0}$. Результаты расчетов табулированы (таблица 3.1, 3.2 и 3.3), по их данным построены графики зависимости (рис. 3.2, рис. 3.3 и рис. 3.4). Данные таблицы и закономерности изменения потери напора показывают, что величина потери напора изменяется незначительно при изменении плотности смеси. Вместе с этим потери напора существенно изменяется с изменением концентрации смеси: с увеличением концентрации смеси потери напора на трение увеличивается, а с уменьшением – наоборот.

Таблица 3.1.

Значения потери напора h при $\frac{l}{R_0} = 78.43$

Н	$\rho = \frac{1}{1000}$	$\rho = \frac{1}{500}$	$\rho = \frac{1}{200}$	$\rho = \frac{7}{1000}$	$\rho = \frac{3}{250}$
$f_2 = .05$	90.16031334	90.07033298	89.80146632	89.62311187	89.18030993
$f_2 = .10$	81.69221761	81.61068845	81.36707446	81.20547153	80.80425872
$f_2 = .15$	74.22036844	74.14629621	73.92496399	73.77814181	73.41362531
$f_2 = .20$	67.74476582	67.67715627	67.47513491	67.34112273	7.00840968
$f_2 = .25$	62.26540977	62.20326863	62.01758723	61.89441428	61.58861183
$f_2 = .30$	57.78230026	57.72463329	57.55232095	57.43801645	57.15423178
$f_2 = .35$	54.29543731	54.24125025	54.07933607	53.97192925	53.70526952
$f_2 = .40$	51.80482092	51.75311951	51.59863258	51.49615267	51.24172504

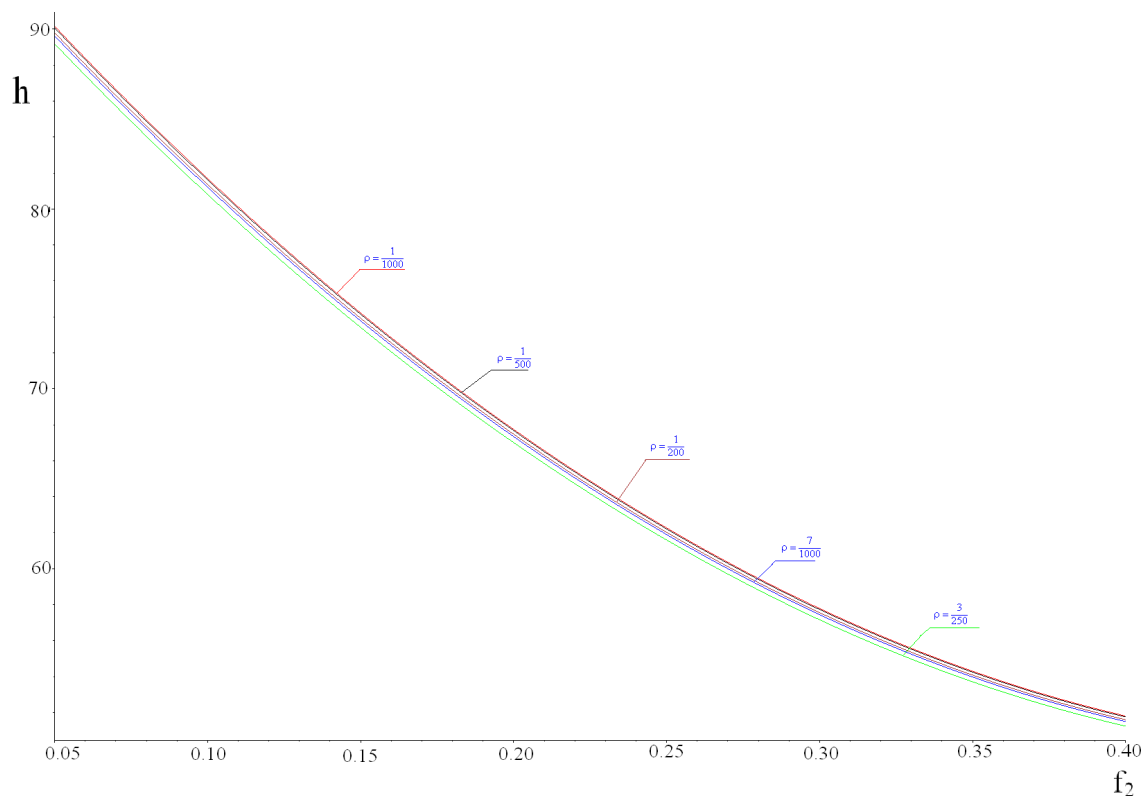


Рис.3.2. График изменения потери напора для $\frac{l}{R_0} = 78.43$ при различных концентрациях смеси

Таблица 3.2.

Значения потери напора h при $\frac{l}{R_0} = 98.04$

h	$\rho = \frac{1}{1000}$	$\rho = \frac{1}{500}$	$\rho = \frac{1}{200}$	$\rho = \frac{7}{1000}$	$\rho = \frac{3}{250}$
$f_2 = .05$	112.7032656	112.5907873	112.2546953	112.0317466	111.4782300
$f_2 = .10$	102.1178760	102.0159620	101.7114367	101.5094279	101.0078991
$f_2 = .15$	92.77782635	92.68523373	92.40856136	92.22502898	91.76937171
$f_2 = .20$	84.68311666	84.59860260	84.34606944	84.17854994	83.76264800
$f_2 = .25$	77.83374693	77.75606857	77.52396088	77.36999076	76.98772793
$f_2 = .30$	72.22971716	72.15763162	71.94223570	71.79935142	71.44461152
$f_2 = .35$	67.87102733	67.80329179	67.60089388	67.46663194	67.13329877
$f_2 = .40$	64.75767746	64.69304904	64.49993544	64.37183230	64.05378964

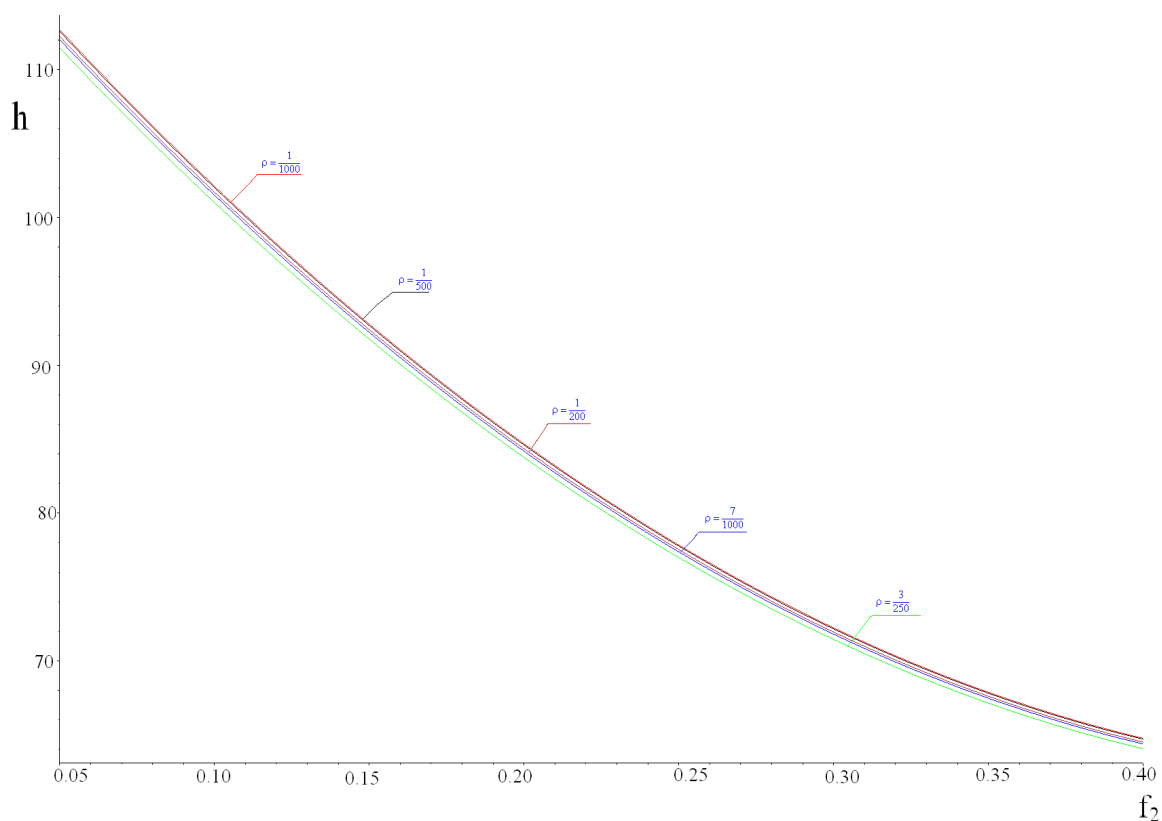


Рис.3.3. График изменения потери напора h при $\frac{l}{R_0} = 98.04$

Таблица 3.3.

Значения потери напора h при $\frac{l}{R_0} = 117.647$

h	$\rho = \frac{1}{1000}$	$\rho = \frac{1}{500}$	$\rho = \frac{1}{200}$	$\rho = \frac{7}{1000}$	$\rho = \frac{3}{250}$
$f_2 = .05$	135.2427691	135.1077963	134.7044894	134.4369532	133.7727390
$f_2 = .10$	122.5404096	122.4181137	122.0526866	121.8102781	121.2084486
$f_2 = .15$	111.3324453	111.2213350	110.8893310	110.6690941	110.1223100
$f_2 = .20$	101.6188763	101.5174602	101.2144230	101.0134013	100.5143232
$f_2 = .25$	93.39970243	93.30648912	93.02796231	92.84319976	92.38448824
$f_2 = .30$	86.67492386	86.58842190	86.32994902	86.15848936	85.73280510
$f_2 = .35$	81.44454053	81.36325852	81.12038313	80.95927018	80.55927376
$f_2 = .40$	77.70855242	77.63099896	77.39926464	77.24554220	76.86389422

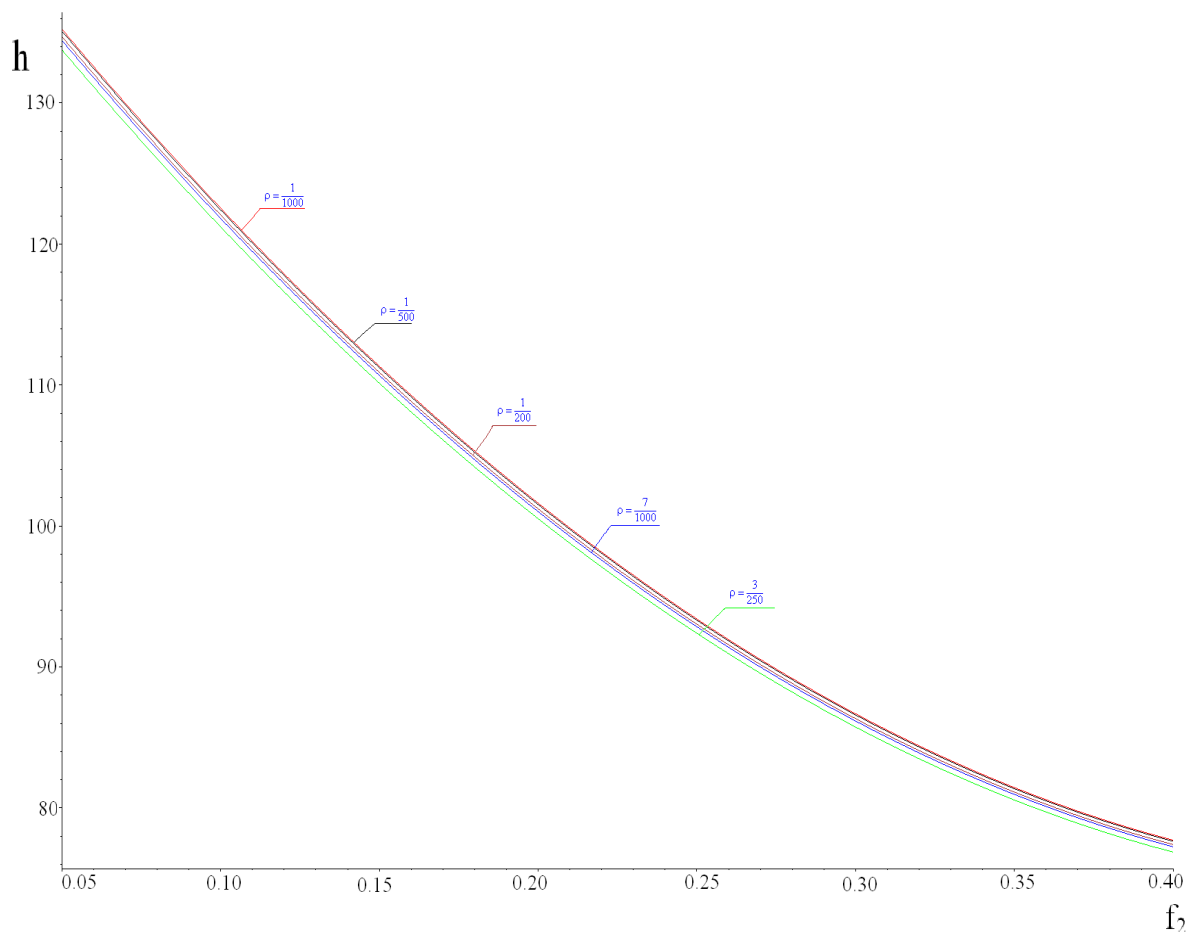


Рис.3.4. График изменения потери напора h при $\frac{l}{R_0} = 117.647$

Выводы по главе 3.

1. На основе уравнения установившегося равномерного напорного движения жидкости в круглоцилиндрической трубе получена зависимость для определения величины потери напора при движении потока воды с взвешенными наносами.

2. Полученное аналитическое выражение позволяет установить рабочую характеристику напорного трубопровода при транспортировке смеси воды и взвешенных наносов.

3. Численное решение уравнения для определения потери для различных концентрациях наносов смеси f_2 плотности ρ при различных относительных размерах трубы $\frac{l}{R_0}$ позволили выявить влияние взвешенных наносов на потери энергии насосного агрегата.

ГЛАВА 4. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОТЕРИ НАПОРА ПРИ ДВИЖЕНИИ СМЕСИ ВОДЫ И ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ

Экспериментальные исследования потерь напора при движении водного потока внутри трубопроводов насосных установок преследовали следующие основные цели:

- а) проверка достоверности полученных теоретических зависимостей определения потерь напора в трубопроводах;
- б) изучение характера изменения потерь напора на различных характерных участках трубопроводов для условий чистого и мутного водного потока.

4.1. Устройство экспериментальной установки

Для осуществления поставленных целей, с учетом имеющихся гидравлических установок на стендовых моделях была сконструирована и построена экспериментальная установка. Экспериментальная установка была расположена в гидравлической лаборатории кафедры "Гидравлика и Гидроэнергетические установки" Ташкентского Государственного Технического университета им. Беруни. Схема установки представлена на рис. 4.1. Установка состоит из трех участков напорных трубопроводов, в каждом из которых представлены различные типы характерных участков гидравлических сопротивлений. Так, в частности, на первой нитке напорного трубопровода имела трубка Вентури, представленная из участков конусообразного расширения и сужения трубопровода, с углом конусности равным 15° . На второй нитке напорного трубопровода были представлены участки местных гидравлических сопротивлений в виде вентиля, участка резкого расширения и участка резкого сужения трубопровода. На третьей нитке напорного трубопровода имелся участок гидравлических сопротивлений по длине.



Рис. 4.1. Схема экспериментальной установки

Вода на экспериментальную установку подавалась с помощью насосной станции по главному магистральному напорному трубопроводу (Рис. 4.1). Регулирование подаваемого расхода воды осуществлялось с помощью оттарированных вентилей на этих трубопроводах. Вода из насосной станции поступала по напорному трубопроводу во все три нитки напорных трубопроводов одновременно. На каждой нитке напорных трубопроводов на начальном участке были установлены вентили для регулирования расхода поступающей воды и для его полного отключения. Кроме того, нитка напорных трубопроводов, соединенных с трубкой Вентури, на начальном участке имела бак параллелепипедной формы, дно данного бака было соединено с нитками трубопроводов, где имелись участки с местными сопротивлениями (вентиль, участки резкого расширения и сужения). Бак был оснащен пьезометром для контроля уровня воды, находящегося в баке и водосливной системе для поддержания в баке определенного постоянного уровня воды и слива лишнего объема воды. При проведении экспериментов с мутным водным потоком данный бак использовался для приготовления и подачи мутного водного потока. Данная конструкция позволяла проводить эксперименты с мутным водным потоком на нитках напорных трубопроводов с трубкой Вентури и участками местных гидравлических сопротивлений. На концевых участках всех трех ниток напорных трубопроводов с различными участками гидравлических сопротивлений имелись водоизмерительные баки, оснащенные пьезометрами для фиксирования уровня воды в баках. Вода после экспериментальной установки собиралась в коллекторе и подавалась в приемный резервуар насосной станции. Таким образом, непрерывная работа насосной станции обеспечивала непрерывную подачу воды в экспериментальную установку и обеспечивалась ее непрерывная циркуляция в данной системе.

4.2. Методика проведения исследований и точность измерений

Лабораторное изучение вопроса определения гидравлических потерь на разных участках напорного трубопровода сводится к постановке многофакторного эксперимента.

Предварительно проведенная теоретическая проработка исследуемого вопроса привела к конкретным аналитическим зависимостям, связывающих все вышеперечисленные факторы. Проверка этих статистических гипотез требует постановки соответствующего эксперимента. Однако, в связи с тем, что в проверяемых аналитических выражениях все величины, характеризующие напорные потоки, образующиеся в напорном трубопроводе, не представлены в виде простой суммы или произведения, то для полного анализа зависимостей требуется постановка классического эксперимента с изменениями каждого фактора не менее чем на пяти уровнях. Исходя из этих соображений планом проведения эксперимента предусматривалось:

- выяснить характер изменения потерь напора на различных характерных участках трубопроводов для условий чистого и мутного водного потока;
- сопоставить теоретические данные с экспериментальными.

Перед проведением экспериментальных исследований были предварительно определены абсолютные и относительные ошибки приборов и инструментов, которые применялись при проведении опытов. Эти результаты представлены в

Таблица 4.1.

Абсолютные и относительные ошибки приборов и инструментов

№ пп	Определяемая величина и единица ее измерения	Наименование инструмента	Предельная абсолютная ошибка изм.	Предельная относительная ошибка изм.
1	2	3	4	5
1.	Линейные размеры конструкций, м	стальная линейка ГОСТ 427-56	0.0010	0.25
2.	Линейные размеры конструкций, м	Штангенциркуль	0.00010	0.025
3	Время, с	Секундомер	0.0500	0.08
4.	Глубина воды, м	водомерная игла	0.005	0.50
5.	Напор воды, м	пьезометры	0.05	0.08

Таблица 4.1. Предельные абсолютные ошибки одного измерения стальной линейки и измерителя глубин определены исходя из их конструктивных особенностей.

Ошибка в определении расходов с помощью вентиля определялась погрешностью тарировки, которая была проведена объемным способом. При тарировке вентиля было сделано 30 замеров. Результаты тарировки обработаны способом наименьших квадратов и на основе полученного уравнения была построена тарировочная кривая. При нанесении экспериментальных точек на кривую отмечена их хорошая сходимость.

Расход Q в каждом опыте определялся по формуле:

$$Q = \frac{Wh}{t_{cp}} \quad (4.2.1)$$

где: W - площадь зеркала воды в мерной емкости;

h - глубина наполнения мерной емкости;

t_{cp} - среднее по замерам время наполнения емкости на глубину h .

За счет погрешностей в учете глубины h и времени t получается погрешность определения расхода. Следовательно, согласно формуле оценки погрешности функции измеренных величин средняя квадратичная погрешность определения расхода выразится зависимостью:

$$m_Q = \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial h}\right)^2 m_h^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial t_{cp}}\right)^2 m_t^2} \quad (4.2.2)$$

где: m_h - средняя квадратичная погрешность определения глубины h ,

m_t - средняя квадратичная погрешность учета времени t , определяемая по формуле в каждом случае:

$$m_t^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_{cp} - t_i)^2}{n - 1} \quad (4.2.3)$$

где: n - номер замера; t - время замера.

Подставляя (4.2.3) в (4.2.2), после нескольких преобразований получаем следующее выражение:

$$m_Q = \frac{W}{t_{cp}} \sqrt{m_h^2 + \left(\frac{h}{t_{cp}}\right)^2 m_t} \quad (4.2.4)$$

из которого следует, что каждому конкретному расходу соответствует своя средняя квадратичная погрешность. Поэтому более правильной мерой ошибки здесь будет относительная погрешность

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta Q}{Q} \quad (4.2.5)$$

где: Q - абсолютная погрешность измерения расхода, принимаемая равной удвоенной средней квадратичной погрешности.

Расчет по формуле (4.2.5) с учетом (4.2.4) показал, что из 30 замеров в 29 случаях относительная погрешность менее 2.7 %.

4.3. Объем экспериментальных исследований

Все экспериментальные исследования были проведены для напорных трубопроводов, имеющих различные участки местных гидравлических сопротивлений и сопротивлений по длине участка.

Для выяснения общей картины изменения напора на различных участках напорного трубопровода для условий чистого и мутного потока были проведены шесть серий опытов. Каждая серия включала в себя как минимум 4 опыта, различающихся величиной расхода, подаваемого на модельную установку. Величины расходов были следующими:

$$Q_1 = Q_{\max}; Q_2 = 0,6Q_{\max}; Q_3 = 0,3Q_{\max}; Q_4 = Q_{\min}.$$

В первой серии опытов для условий чистого водного потока измерялись потери напоров на участке напорного трубопровода, где была представлена трубка Вентури. Для получения возможности дальнейшего сопоставления полученных результатов, измерения потерь напора во всех опытах производились на одних и тех же сечениях. С этой целью до и после характерных участков местных гидравлических сопротивлений были установлены пьезометры, позволяющие фиксировать величины гидравлических потерь напоров водного потока внутри трубопровода.

Всего на трех нитках напорных трубопроводов было установлено 14 пьезометров (на первой нитке напорного трубопровода с участком местных гидравлических сопротивлений, состоящей из трубки Вентури – 5 пьезометров; на второй нитке напорного трубопровода, состоящей из местных гидравлических сопротивлений в виде вентиля, участков резкого расширения и сужения – 6

пъезометров; на третьей нитке напорного трубопровода, состоящей из участка гидравлических сопротивлений по длине трубопровода – 2 пъезометра; и 1-го пъезометра, установленного за баком перед трубкой Вентури).

Во второй и шестой серии опытов проводились опыты на второй нитке напорного трубопровода в условиях чистого водного потока. На ней были установлены различные местные гидравлические сопротивления в виде вентиля, участков резкого расширения и сужения.

В третьей серии опытов для условий чистого водного потока были проведены опыты по определению гидравлических сопротивлений напора воды по длине трубопровода.

В четвертой серии опытов на первой нитке напорного трубопровода для условий мутного водного потока были измерены потери напора на участке с установленной трубкой Вентури. Мутность водного потока изменялась в пределах от 1,5 г/л до 3,03 г/л.

В пятой серии опытов на второй нитке напорного трубопровода, с участками из местных гидравлических сопротивлений для условий мутного водного потока (мутность 0,31 г/л) были определены потери напоров.

4.4. Результаты экспериментальных исследований

Исследования напорных трубопроводов для условий чистого водного потока показали, что общая картина потерь напоров аналогична той, которая отмечается в работах многих авторов.

4.4.1. Определение гидравлических сопротивлений

Анализ характера изменений гидравлических сопротивлений на первой нитке трубопроводов, где была установлена трубка Вентури показал следующее распределение потерь напора по намеченным сечениям, представленное на рис. 4.2.

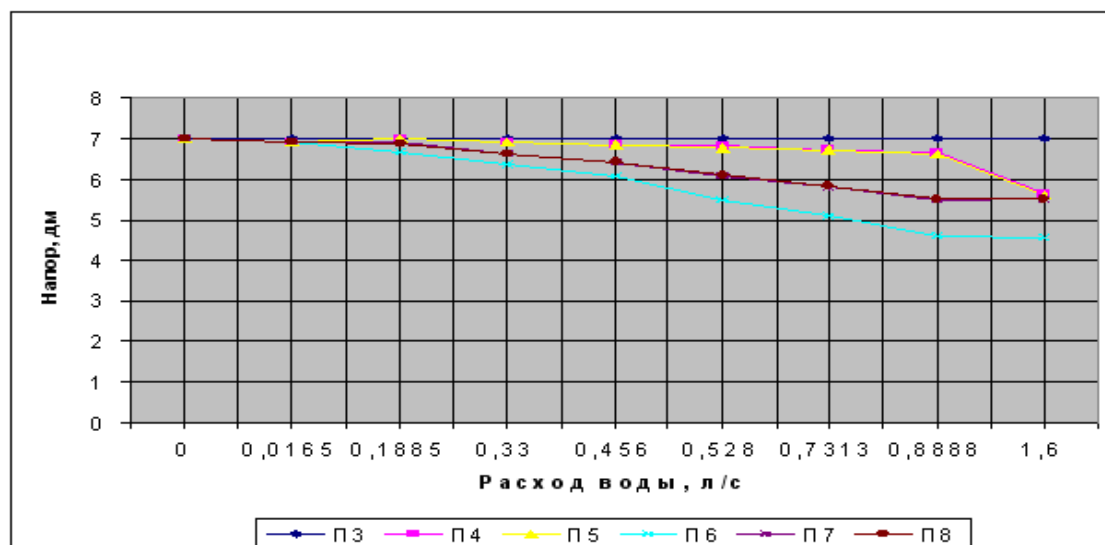


Рис. 4.2. Показание пъезометров на трубке Вентури (вода чистая)

Общая картина изменения гидравлических потерь напора на данном участке характеризуется следующим: с увеличением величины расхода воды отмечается падение напора на всех характерных сечениях вдоль по длине трубки Вентури. Наибольшие величины потерь напора от входа в трубку Вентури до выхода из нее составляют 0,252 м.

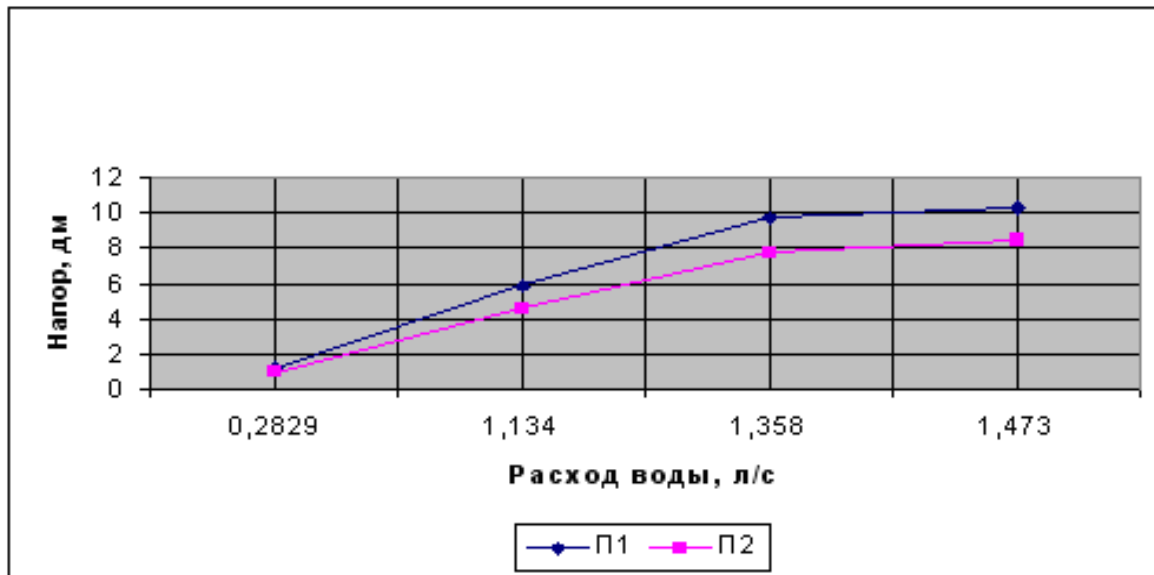


Рис. 4.3. Показание пьезометров на вентиле (вода чистая)

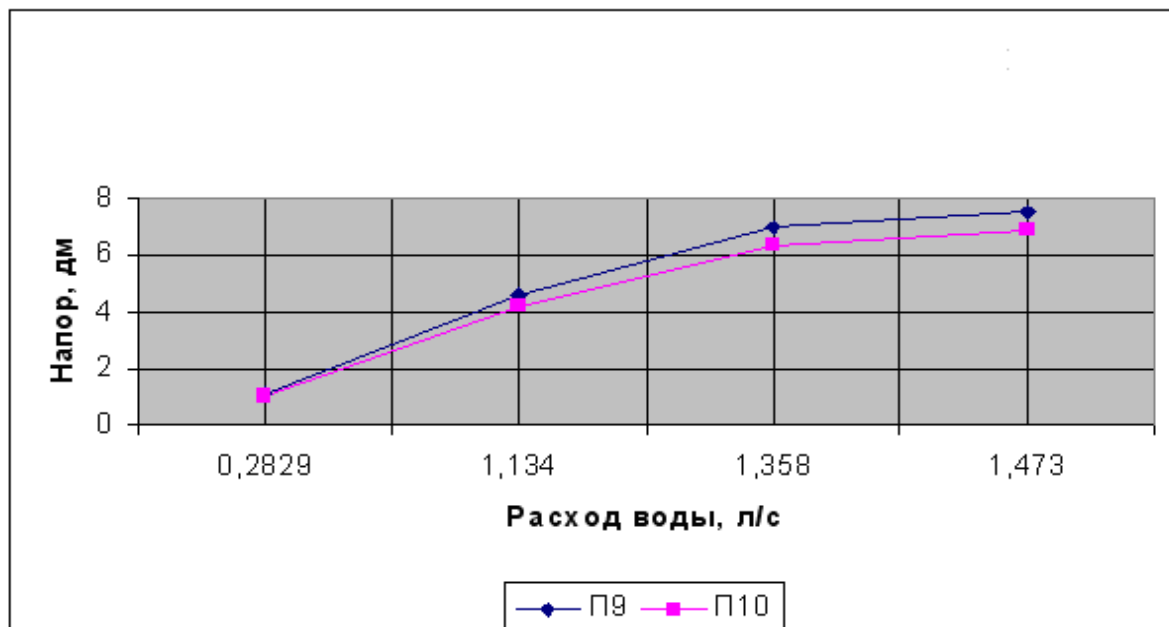


Рис. 4.4. Показание пьезометров на участке резкого расширения (вода чистая)

На второй нитке напорного трубопровода с установленными на ней характерными участками местных гидравлических сопротивлений (вентиль, участки резкого расширения и сужения трубопровода) зафиксированные показания пьезометров представлены на рис.4.3, 4.4 и 4.5.

Здесь потери напоров изменялись в зависимости от изменения расхода воды на вентиле от 0,025 до 0,19 м; на участке резкого расширения потери

гидравлических сопротивлений составили от 0,005 м до 0,067 м; на участке резкого сужения величины изменялись от значений 0,002 м до 0,124 м.

Статистическая обработка результатов экспериментов позволила выявить линейные зависимости расхода и величины местных гидравлических сопротивлений для характерных участков. Так на рис. 4.5 - 4.7 представлены выявленные эмпирические зависимости расхода воды от величин гидравлических сопротивлений. Во всех случаях закон распределения имел линейную зависимость. Корреляция результатов исследований оказалась очень высокой и величины достоверности аппроксимации с данными зависимостями изменялись в пределах от 0,97 до 0,99.

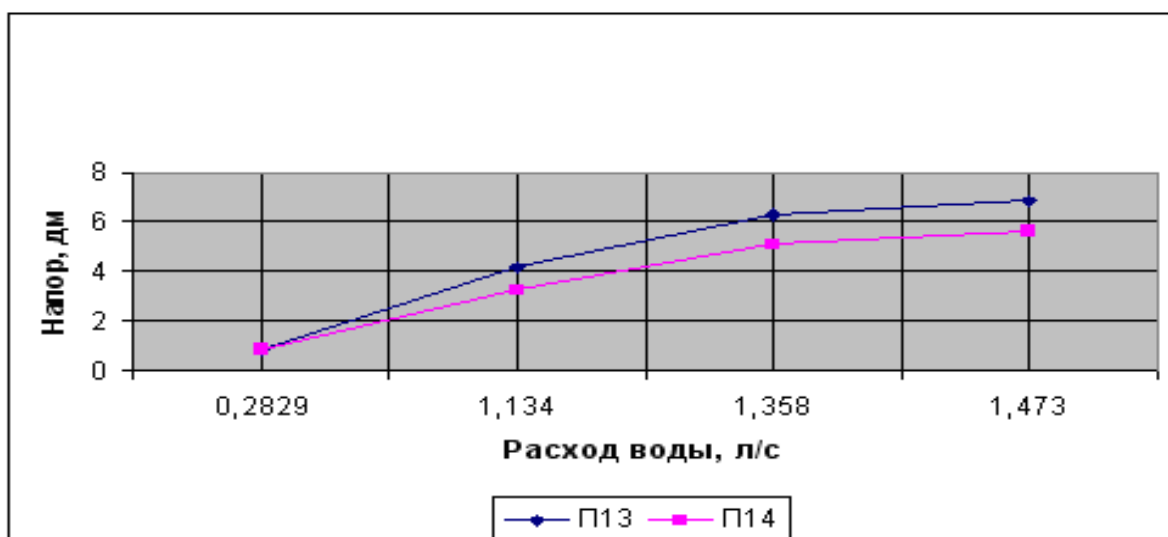


Рис. 4.4. Показание пьезометров на участке резкого сужения (вода чистая)

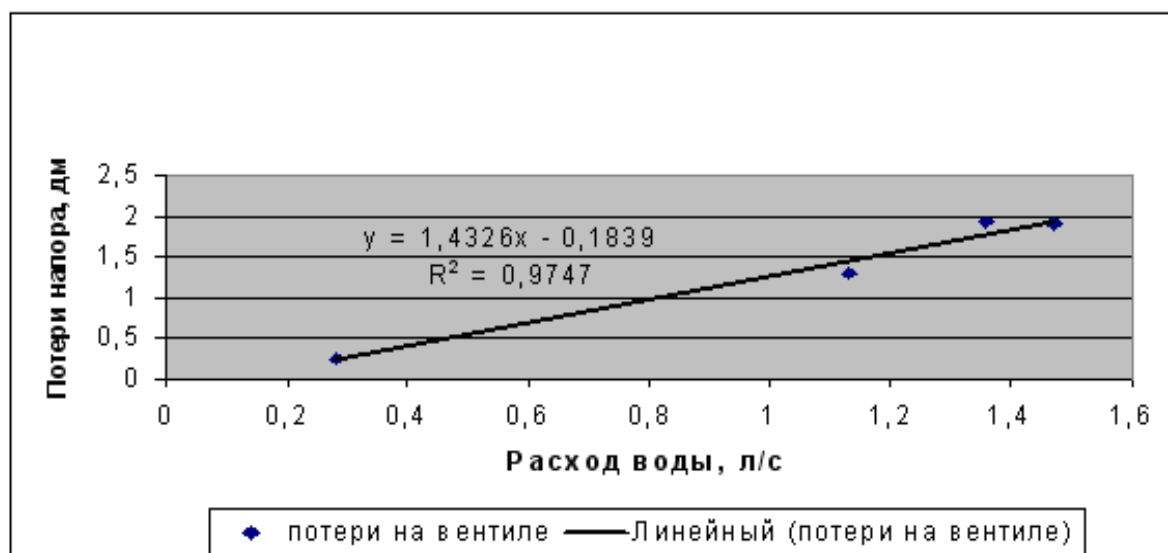


Рис. 4.5. Местные потери напора на вентиле (вода чистая)

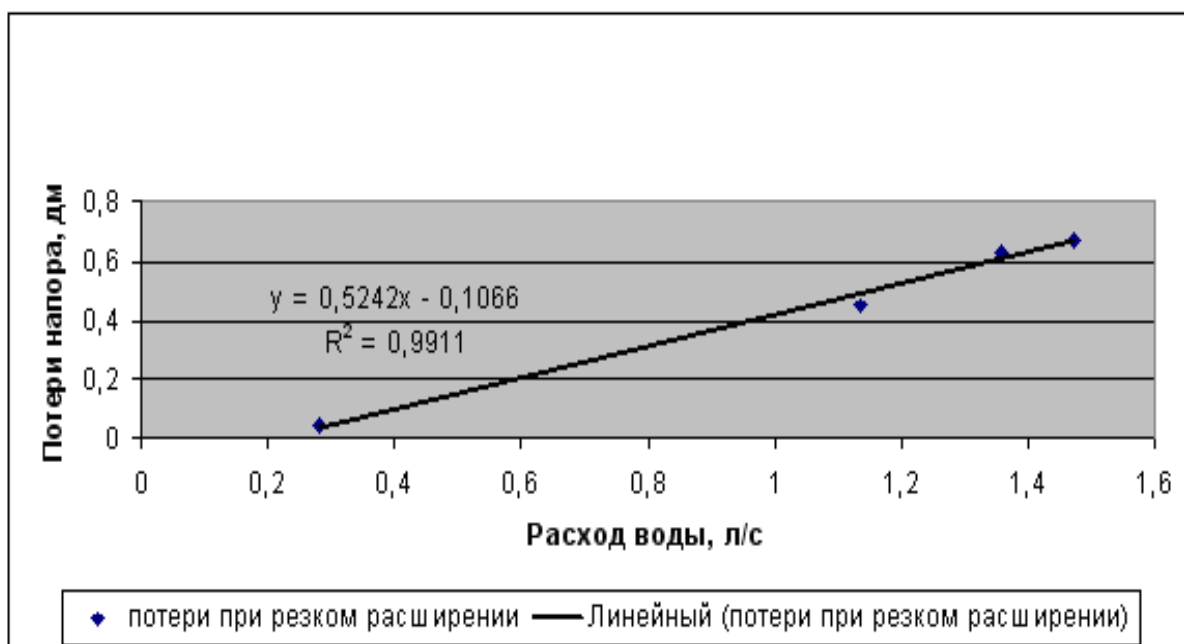


Рис. 4.6. Местные потери напора при резком расширении (вода чистая)

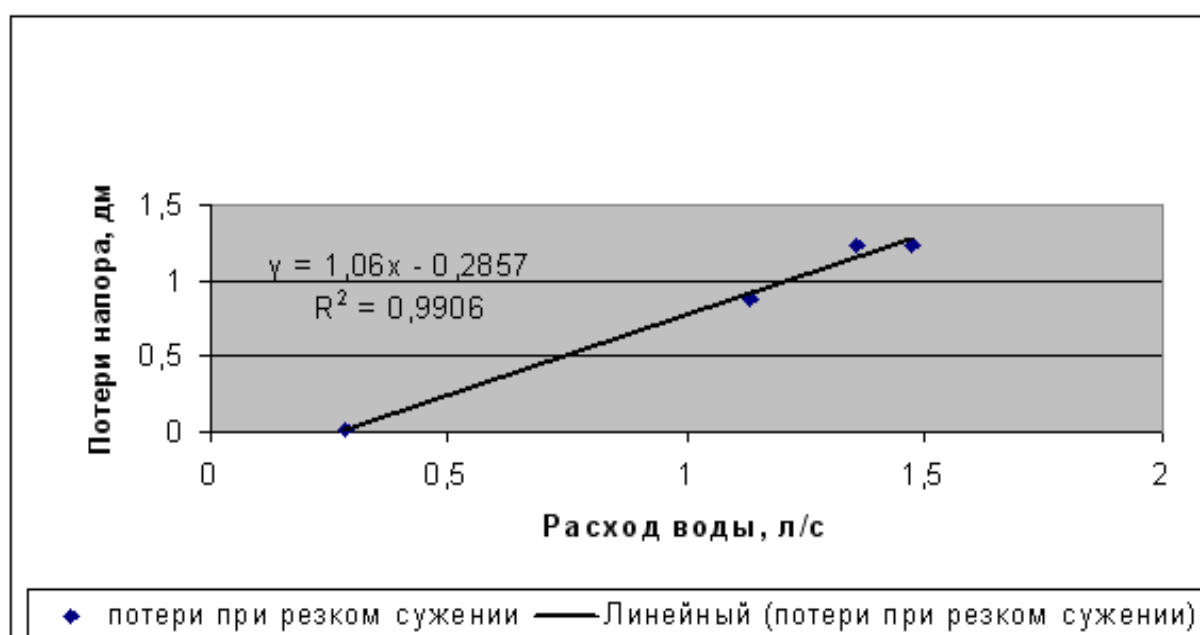


Рис. 4.7. Местные потери напора при резком сужении (вода чистая)

По данным проведенных экспериментальных исследований были получены графические зависимости изменения величины гидравлических сопротивлений от величины расхода воды следующих видов:

- Для вентиля была выявлена эмпирическая зависимость следующего вида в условиях чистого водного потока:

$$y = 1,432x - 0,1839 \quad (4.2.6)$$

- Для участка резкого расширения трубопровода в условиях чистого водного потока:

$$y = 0,5242x - 0,1066 \quad (4.2.7)$$

- Для участка резкого сужения трубопровода в условиях чистого водного потока:

$$y = 1,06x - 0,2857 \quad (4.2.8)$$

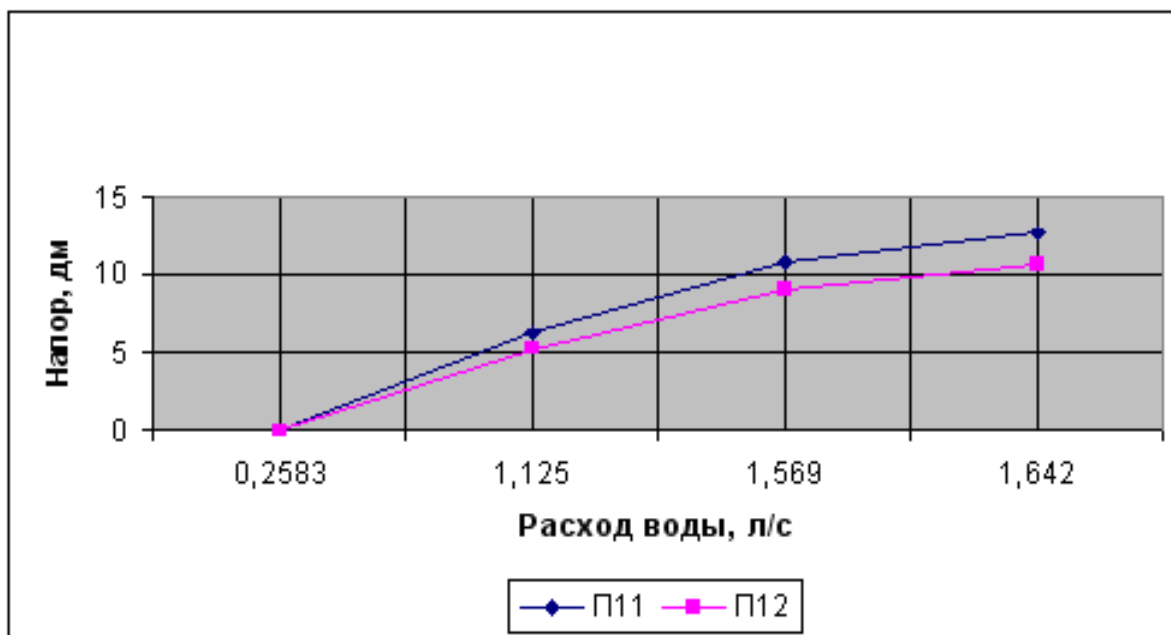


Рис. 4.8. Показания пьезометров при определении потерь напора на трение по длине (вода чистая)

На третьей нитке напорного трубопровода с установленными на ней характерными участками гидравлических сопротивлений по длине трубопровода зафиксированы следующие показания пьезометров, которые представлены на рис. 4.8.

Здесь потери напоров изменялись в зависимости от изменения расхода воды от значений 0,106 до 0,203 м.

Статистическая обработка результатов экспериментов позволила выявить линейные зависимости расхода и величины местных гидравлических сопротивлений для характерных участков. Так на рис. 9 представлена выявленная эмпирическая зависимость расхода воды от величин гидравлических сопротивлений. Корреляция результатов исследований оказалась очень высокой и величины достоверности аппроксимации с данными зависимостями составила 0,98.

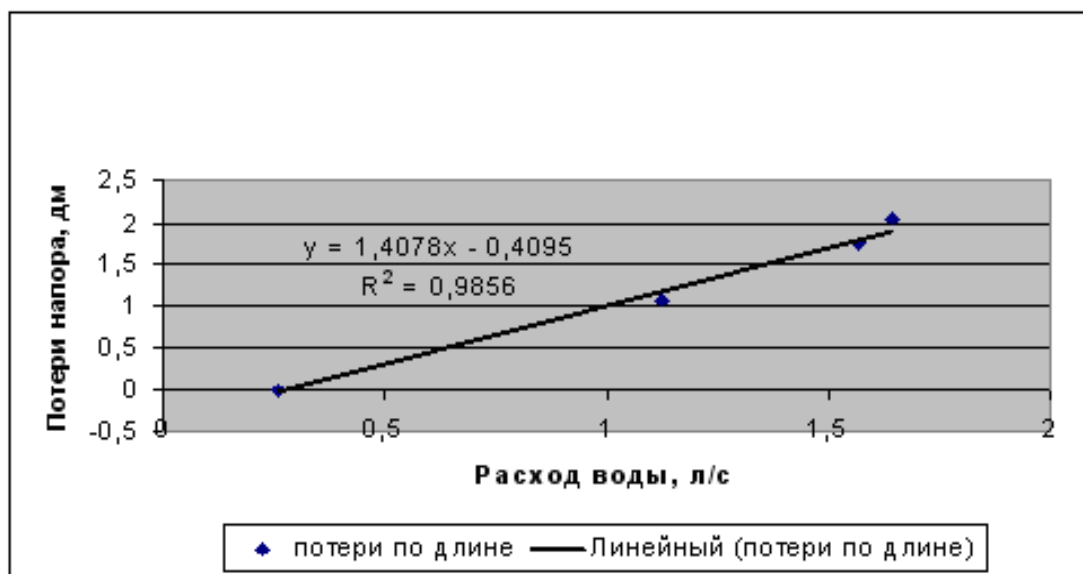


Рис. 4.9. Потери напора на трение по длине трубопровода

По данным проведенных экспериментальных исследований были получены графические зависимости изменения величины гидравлических сопротивлений от величины расхода воды следующих видов:

- Для гидравлических сопротивлений по длине трубопровода была выявлена эмпирическая зависимость следующего вида в условиях чистого водного потока:

$$y = 1,4078x - 0,4095 \quad (4.2.9)$$

Следующие серии опытов были проведены в условиях мутного водного потока воды.

Анализ характера изменений гидравлических сопротивлений на первой нитке трубопроводов, где была установлена трубка Вентури показал следующее распределение потерь напора по намеченным сечениям, представленное на рис. 4.10.

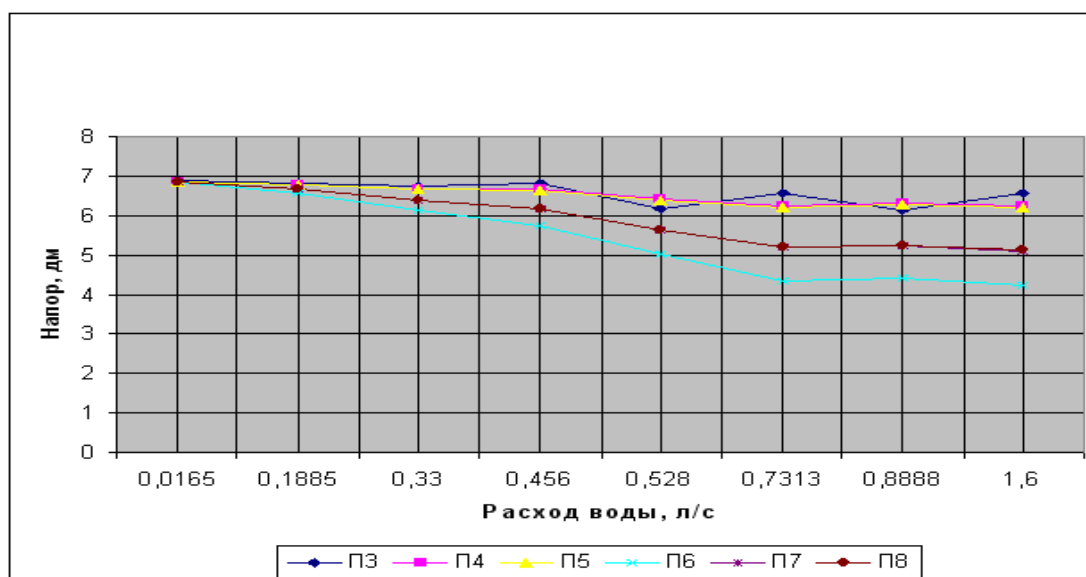


Рис. 4.10. Показания пьезометров на трубке Вентури (средняя мутность 2,65 г/л)

Общая картина изменения гидравлических потерь напора на данном участке характеризуется следующим: с увеличением величины расхода воды отмечается падение напора на всех характерных сечениях вдоль по длине трубки Вентури. Наибольшие величины потерь напора от входа в трубку Вентури до выхода из нее составляют 0,256 м.

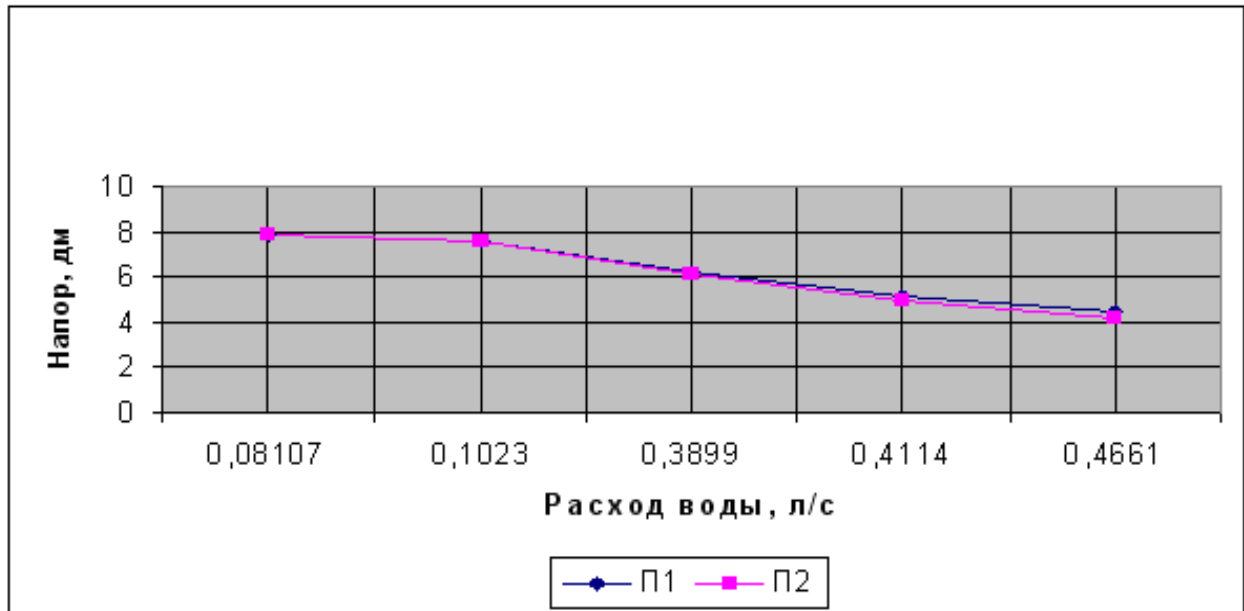


Рис. 4.11. Показания пьезометров на вентиле (мутность 0,31 г/л)

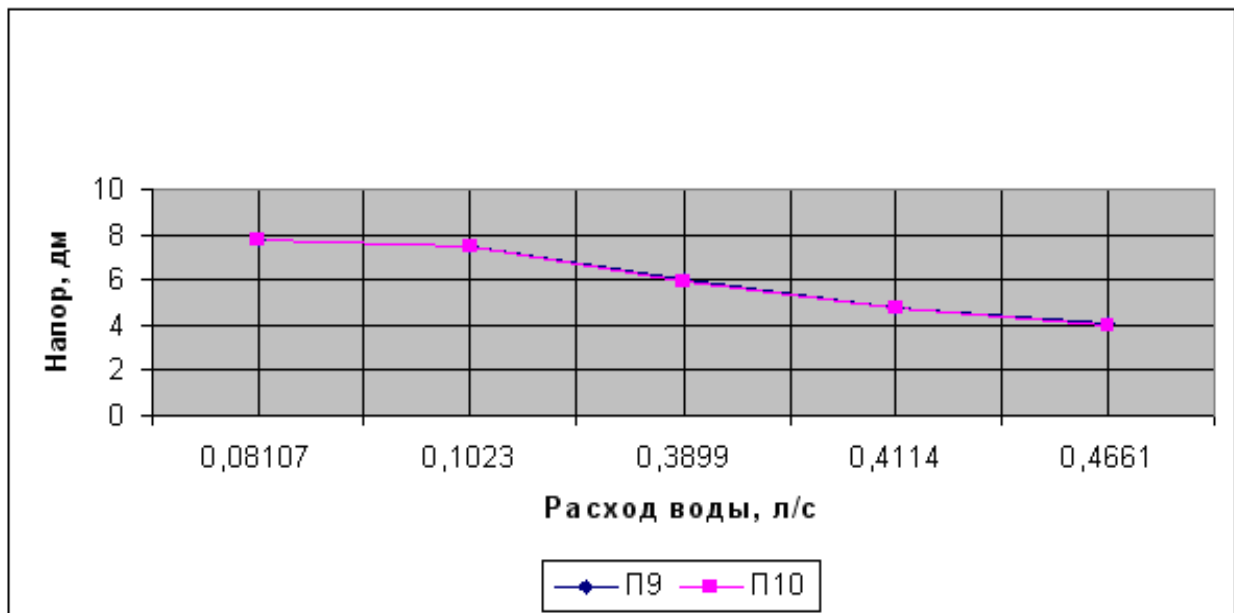


Рис. 4.12. Показания пьезометров при резком расширении трубы (мутность 0,31 г/л)

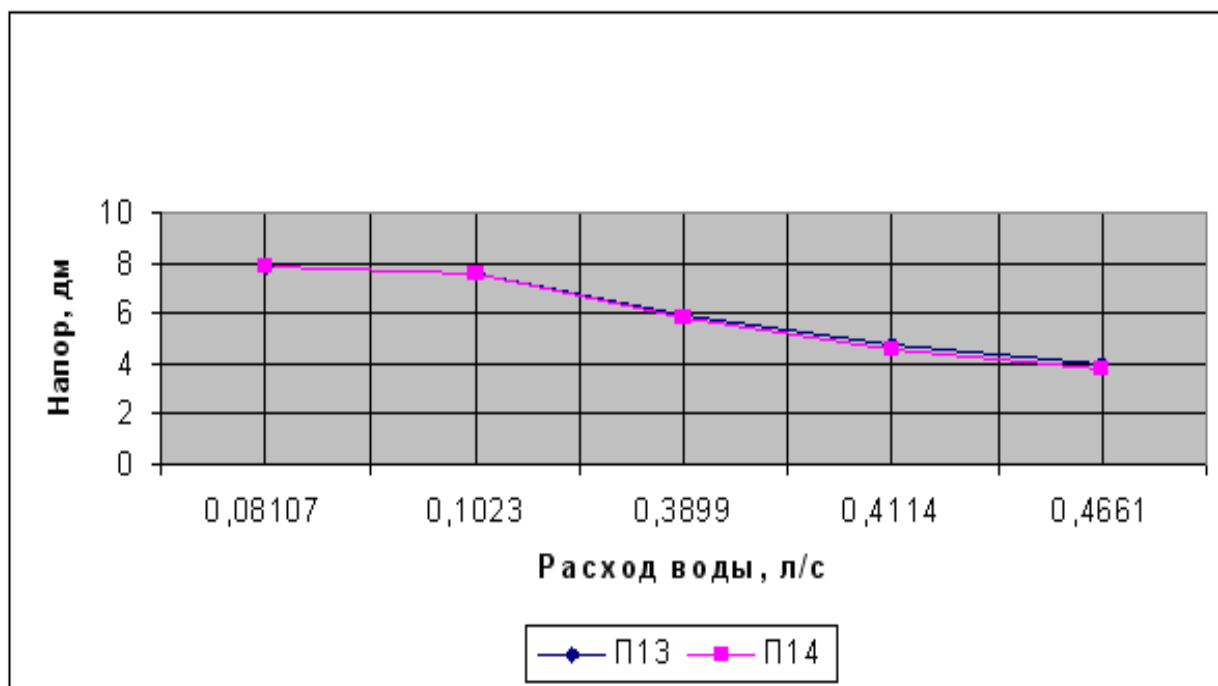


Рис. 4.13. Показания пьезометров при резком сужении трубы (мутность 0,31 г/л)

На второй нитке напорного трубопровода с установленными на ней характерными участками местных гидравлических сопротивлений (вентиль, участки резкого расширения и сужения трубопровода) зафиксированные показания пьезометров представлены на рис. 4.11 - 4.13. Здесь потери напоров изменялись в зависимости от изменения расхода воды на вентиле от 0,002 до 0,02 м; на участке резкого расширения потери гидравлических сопротивлений составили от 0 м до 0,009 м; на участке резкого сужения величины изменялись от значений 0 м до 0,018 м. Статистическая обработка результатов экспериментов позволила выявить линейные зависимости расхода и величины местных гидравлических сопротивлений для характерных участков. Так на рис. 4.14-4.16

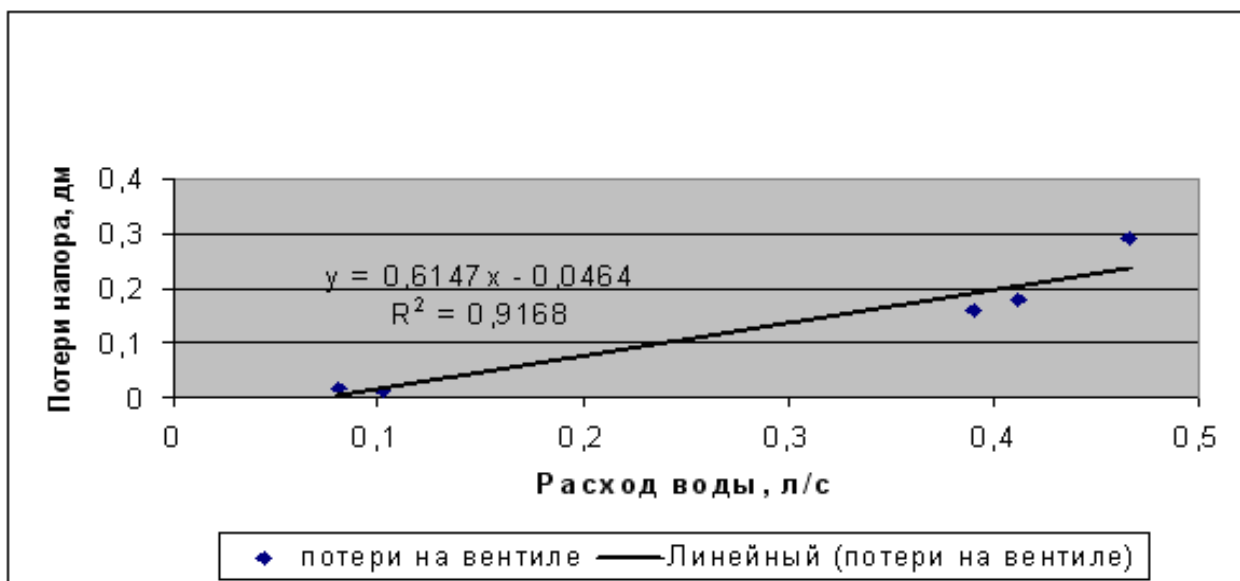


Рис. 4.14. Местные потери напора на вентиле (мутность 0,31г/л)

представлены выявленные эмпирические зависимости расхода воды от величин гидравлических сопротивлений. Во всех случаях закон распределения имел линейную зависимость. Корреляция результатов исследований оказались относительно высокой и величины достоверности аппроксимации с данными зависимостями изменялись в пределах от 0,91 до 0,96.

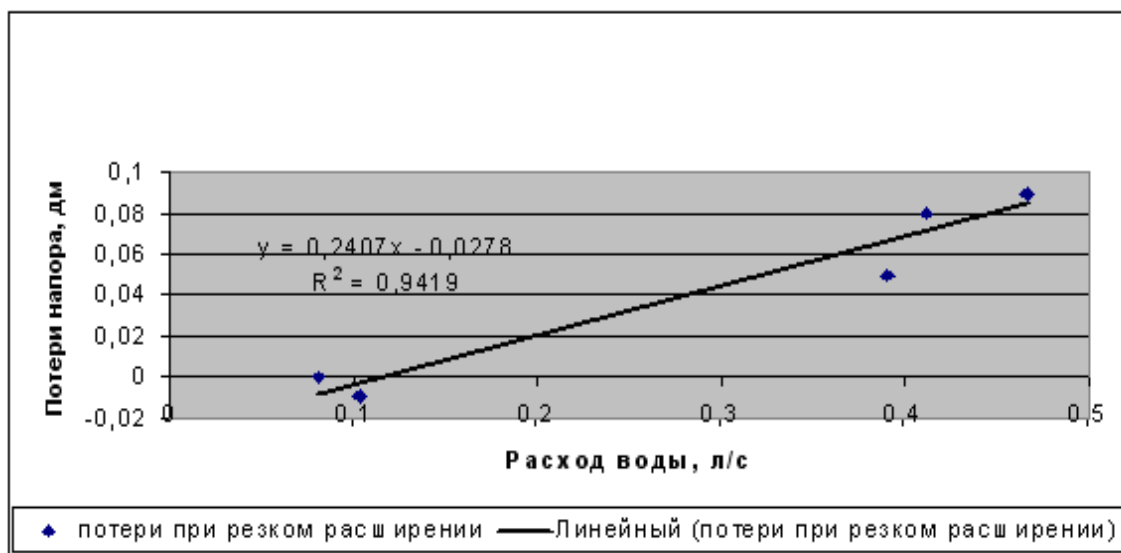


Рис. 4.15. Местные потери напора при резком расширении трубы (мутность 0,31г/л)

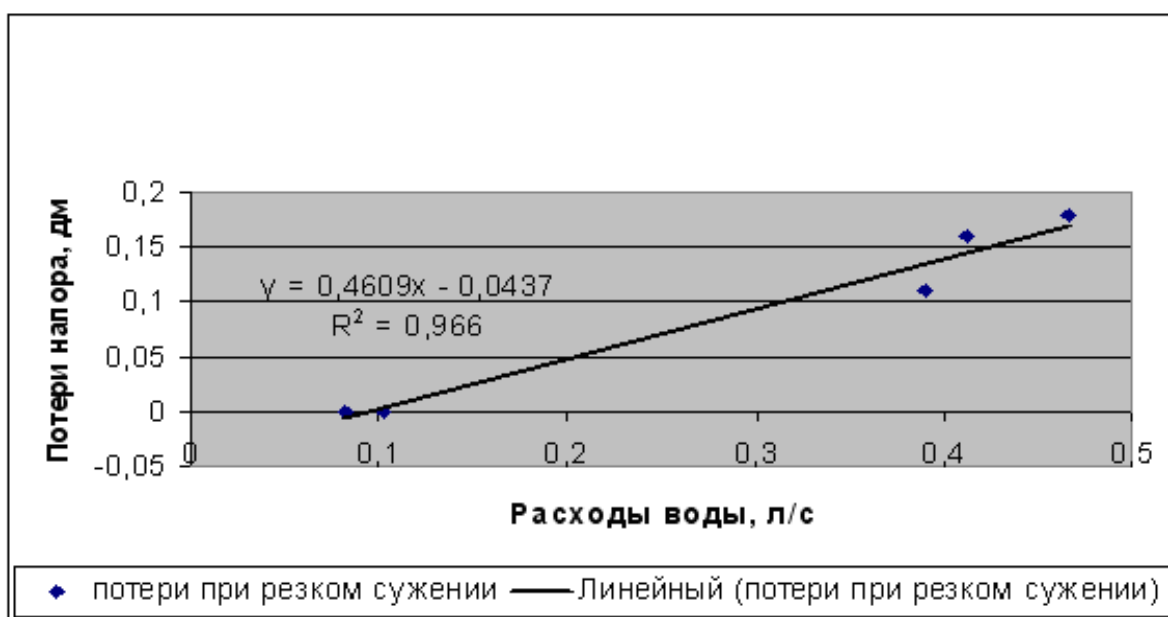


Рис. 4.16. Местные потери напора при резком сужении трубы (мутность 0,31г/л)

По данным проведенных экспериментальных исследований были получены графические зависимости изменения величины гидравлических сопротивлений от величины расхода воды следующих видов:

- Для вентиля была выявлена эмпирическая зависимость следующего вида в условиях мутного водного потока:

$$y = 0,6147x - 0,0464 \quad (4.2.10)$$

- Для участка резкого расширения трубопровода в условиях мутного водного потока:

$$y = 0,2407x - 0,0278 \quad (4.2.11)$$

- Для участка резкого сужения трубопровода в условиях мутного водного потока:

$$y = 0,4609x - 0,0437 \quad (4.2.12)$$

Выводы по главе 4.

1. По результатам лабораторных исследований установлен характер изменения гидравлических сопротивлений в коротких трубах, когда в составе воды имеются взвешенные частицы.

2. Получены эмпирические зависимости для гидравлического сопротивления (местные и на трение по длине) при движении как чистой, так и мутной воды.

ГЛАВА 5. БИОЛОГИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ И БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Исследования движения взвешенных частиц показали, что в составе твердых компонентов потока воды отсутствуют абразивные материалы, так как песчаный материал диаметром более 0,01 мм оседает в аванкамерах насосной станции. Поэтому сплошной износ всей внутренней поверхности стального трубопровода не наблюдается.

5.1. Контрольные измерения толщины оболочки напорных трубопроводов

Систематический надзор за износом оболочки трубопроводов необходим для получения данных, обеспечивающих:

- проверку статической прочности трубопроводов, как балочной конструкции;
- проверку устойчивости трубопроводов, определяющей способность оболочки выдержать внешнее (вакуум) и внутреннее давление перекачиваемой воды;
- анализ динамики износа материала оболочки во времени, по сечению и вдоль трассы трубопровода для локализации работ по защите внутренней поверхности оболочки от коррозионно-абразивного износа.

Измерения производятся в характерных (начало, середина и конец каждого участка трубопровода между соседними промежуточными опорами) и фиксированных створах трубопроводов насосной станции Шерабад в Сурхандарьинской области.

На напорных трубопроводах были назначены 52 контрольных сечения, схема расположения сечений согласовано с отделом насосных станций «Узгипроводхоз».

Измерения выполнялись по стандартной методике ультразвуковым толщиномером марки УТ-93 П со следующими основными характеристиками:

- диапазон измерений – 0,6 ...300 мм;
- дискретность цифрового отсчетного устройства – 0,1 мм;
- предел допускаемого значения основной погрешности в рабочем диапазоне – 0,1 мм.

Результаты измерения остаточной толщины оболочки трубопроводов и расчетов их износа представлены на рис.5.1 и в таблице № 1.3 (приложение 3).

Анализ проведенных измерений показал, что толщина оболочки трубопроводов распределена относительно равномерно по длине и периметру, где минимальная толщина составила 9,4 мм, а максимальная 9,8 мм.

В целом, учитывая, что прибор дает некоторую погрешность измерений можно прийти к выводу, что сначала эксплуатации станции за период 1966 – 2006 гг. толщина оболочки трубопровода претерпела незначительные изменения, и, согласно замерам, износ составил в среднем от 0,2 до 0,5 мм.

5.2. Биологическая коррозия металлических напорных водоводов насосных станций

Серьезную опасность для работоспособности и безопасности насосной станции представляет значительный износ напорных трубопроводов. При исследовании всех вышеупомянутых насосных станций было выявлено, что наиболее распространенным видом разрушений трубопроводов является образование свищей и разрывов из-за усталостных разрушений при совместном воздействии износа стенки трубопровода и вибрации. В условиях перекачивания речной воды повышенной мутности основным типом изнашивания напорных трубопроводов является биокоррозионный износ внутренней поверхности стенки напорного трубопровода. Кроме того, как показали исследования на насосных станциях Бабатаг, Аму-Занг-2, немаловажную роль в износе напорных трубопроводов играют обычная и очаговая биологическая коррозия металла. Расчеты, произведенные по данным замеров остаточной толщины стенок напорных трубопроводов, показывают, что при средней скорости износа 0,08-0,15 мм в год величина износа стенки напорных трубопроводов составляет 45-55 %. По периметру сечения износ распределяется неравномерно, значительные величины износа приходятся на нижнюю часть трубопровода.

Статический и гидродинамический расчет устойчивости напорного трубопровода от действия внутренних и внешних нагрузок показывает, что на некоторых насосных станциях напорные трубопроводы эксплуатируются в условиях близких к критическим. Ввиду постоянного уменьшения толщины стенки напорного трубопровода в период его непрерывной эксплуатации возникает необходимость проверки данного трубопровода на прочность от воспринимаемых им нагрузок с учетом остаточной толщины стенки напорного трубопровода. Нагрузки, происходящие в напорном трубопроводе можно разделить на: кольцевые напряжения, осевые продольные напряжения и напряжения, возникающие от отрицательного давления. Они возникают, в основном, от статического напора во время работы насосного агрегата. Исследования режима движения наносов в напорных трубопроводах показали, что чрезмерный износ отдельных участков трубопровода обусловлен не только механическим воздействием потока твердых частиц. Образование трещин в напорных трубопроводах, неравномерный износ трубопровода привели к необходимости изучения, в том числе, причин возникновения коррозии трубопровода. С этой целью были проведены специальные исследования по обнаружению биокоррозионных и стресс-коррозионных повреждений в трубопроводах насосной станции.

Объектом исследований служили пробы ила, песка, ржавчины и воды, отобранные из отдельных участков трубопровода, всасывающего патрубка и отстойника. В качестве контроля служила вода, поступающая на станцию из подводящего канала. Микробиологический анализ проведен согласно общепринятым классическим методам исследования. В работе использовались

питательные среды для выявления физиологически активных групп микроорганизмов, участвующих в процессе коррозии:

1. Рыбный гидролизат для сапрофитных форм микроорганизмов;
2. Глюкозо-минеральная среда для выявления кислотообразующих микроорганизмов;
3. Среда Гильтая для выявления денитрифицирующих бактерий;
4. Среда Виноградского для нитрифицирующих бактерий;
5. Среда Чапека для мицелиальных грибов;
6. Среда 9К для железooksисляющих бактерий;
7. Среда для сульфатвосстанавливающих бактерий.

Величина рН жидких проб составляла 6.8 - 7.2, влажность твердых проб - 10-20%, содержание хлоридов до 60мг на 100гр песка.

Усредненная численность различных физиологических групп микроорганизмов, выделенных из отобранных образцов проб на исследуемых средах представлены в таблицах 5.1 и 5.2. Данные таблиц показывают, что в подавляющем большинстве проб были обнаружены микроорганизмы всех указанных групп. Наиболее распространенными являются кислотообразующие, денитрифицирующие и нитрифицирующие бактерии. Их численность варьировала от 10^2 кл/мл до 10^5 кл/мл в жидких пробах, а в твердых от 10^3 кл/гр до 10^6 кл/гр. Следует отметить, что в пробах вод, отобранных из всасывающего патрубка насосных агрегатов, напорного трубопровода и отстойника численность микроорганизмов колебалась в пределах $10^2 \dots 10^5$ кл/мл, при этом железooksисляющие и сульфат-редуцирующие бактерии не были обнаружены.

Таблица 5.1.

Усредненная численность физиологических групп микроорганизмов
в водах насосной станции, кл/мл.

№ образца	Место отбора проб	Железо- окисляющие	Сульфат восстанавливающие	Денитрифицирующие	Нитрифицирующие	кислотообразующие	Сапрофиты	Минеральные грибы
1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	Вода, поступающая на насосную станцию	-	-	$2,0 \times 10^3$	$2,5 \times 10^2$	$2,0 \times 10^3$	$5,2 \times 10^5$	$2,0 \times 10^1$
4	Вода из всасывающего патрубка насоса	-	-	$2,5 \times 10^5$	$2,5 \times 10^2$	$5,3 \times 10^5$	$5,2 \times 10^5$	1×10^3
2	Вода из трубопровода №7	-	-	$6,0 \times 10^4$	-	$3,5 \times 10^4$	$5,6 \times 10^5$	2×10^2
3	Вода из отстойника	-	-	5×10^3	$2,5 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5$	$8,4 \times 10^6$	5×10^3

Таблица 5.2.

Усредненная численность физиологических групп микроорганизмов в иле, песке, ржавчине и других твердых пробах

№ образца	Место отбора проб	Железо окисляющие	Сульфат восстанавливающие	Денитрифицирующие	Нитрифицирующие	Кислотообразующие	Сапрофиты	Минеральные грибы
1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Песок из всасывающего патрубка	-	-	$2,5 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$	$4,0 \times 10^3$	$4,8 \times 10^6$	$3,5 \times 10^2$
7	Песок из напорного трубопровода №7	$2,5 \times 10^1$	$0,6 \times 10^1$	$2,5 \times 10^6$		$7,0 \times 10^4$	$9,0 \times 10^6$	$4,0 \times 10^3$
6	Ил из компенсатора трубопровода №8	$2,5 \times 10^1$	$2,5 \times 10^3$	$2,5 \times 10^6$	$2,5 \times 10^6$	$7,0 \times 10^4$	$9,0 \times 10^6$	$5,0 \times 10^3$
5	Осадок ржавчины из всасывающего патрубка	-	-	$2,5 \times 10^4$	$4,0 \times 10^4$	$4,0 \times 10^5$	$4,8 \times 10^6$	$1,0 \times 10^3$
8	Осадок ржавчины из трубопровода №6	$2,5 \times 10^1$	$0,6 \times 10^1$	$2,5 \times 10^6$	-	$5,4 \times 10^5$	$7,0 \times 10^6$	$2,2 \times 10^2$

Общее число сапрофитов составляло $10^5 \dots 10^6$ кл/мл, гр, а кислотообразующих бактерий - $10^2 \dots 10^3$ кл/мл в водных пробах и $10^4 \dots 10^5$ кл/гр в твердых пробах, что свидетельствует о готовности микробной коррозии в исследуемых объектах.

Представленные данные отражают интегральную активность в исследованных группах микроорганизмов и могут служить, на наш взгляд, основным критерием потенциальной опасности стресс-коррозионного повреждения напорных трубопроводов насосных станций.

Таким образом, проведенные предварительные исследования указывают на развитие биокоррозионных процессов, которые могут привести к размножению биокоррозионных очагов разрушения напорных трубопроводов.

5.3. Гидрохимическое разрушение бетонных сооружений и коррозия железобетонных конструкций

Вопрос о вредном воздействии на бетон гидротехнических сооружений речных, морских, грунтовых, артезианских, загрязненных почвенных,

канализационных, фабрично-заводских, сточных и болотных вод еще мало изучен. Из вышеуказанных категорий речные незагрязненные воды проявляют наименее вредное воздействие на бетонные сооружения. Грунтовые, артезианские и другие подземные воды, в большинстве случаев содержащие сравнительно незначительное количество вредных химических веществ, также могут считаться более или менее безопасными, за исключением некоторых минеральных и термоминеральных источников. Морские и соленые озерные воды, содержащие сравнительно большое количество сернокислых и других соединений, являются наиболее опасными в отношении разрушения бетона.

Отмеченные неблагоприятные условия в значительной степени встречаются также в загрязненных сточных водах, содержащих, как и болотные воды большое количество продуктов разложения органических веществ.

Все явления повреждения и разрушения бетона протекают почти исключительно во влажном состоянии бетона, притом от непосредственного постоянного агрессивного действия таких жидкостей и газов, которые содержат в значительных количествах преимущественно сернистые, отчасти хлористые и азотистые соединения, органические кислоты и свободную углекислоту.

В таблице 3. приведены предельные нормы содержания в водах различной категорий тех главнейших веществ, превышение содержания которых вызывает разрушительное действие на бетон. Схватывающийся или свежезатвердевший, а также тощий и литой бетон, в особенности же пористый, значительно легче поддаются разрушительному действию указанных выше химических веществ, чем плотный, трамбованный и мало водопроницаемый бетон.

Таблица 5.3.

Допустимое содержание опасных химических веществ в воде

№ пп	Наиболее опасные химические вещества	Содержание в мг на 1 л воды
1	Сернистые (SO ₂)	До 100
2	Хлористые (MgCl ₂)	. 20-30
3	Свободная углекислота (CO ₂)	. 10-15
4	Органические вещества (общая окисляемость)	. 10-12
5	Азотистые (N ₂ O ₅)	. 50

В текучей воде свежий обмен этих веществ усиливает процессы выщелачивания и разрушения бетона. Необходимо особо отметить то существенное обстоятельство, что вопрос о безопасности бетонных сооружений, подверженных действию воды, следует рассматривать не с точки зрения только агрессивного влияния одного или другого вещества, а в зависимости от совокупного качественного и количественного действия всех тех факторов, которые могут вызвать ослабление и даже постепенное разрушение бетона. Подобные процессы порождают иногда столь значительное

уменьшение сопротивления бетона в ответственных частях сооружения, что катастрофа с ними становится неизбежной. Большинство проведенных исследований и наблюдений за состоянием гидротехнических сооружений показывает, что сильное разрушение бетонных фундаментов и быков происходит вследствие содержания в грунтовой и речной воде сернокислых солей (до 140 мг на 1 л.), проникших в пористый бетон и образовавших сульфоалюминат кальция. Данная цементная бактерия в свою очередь разрывает изнутри пористый бетон, вследствие ее разбухания (в 32 раза) в воде.

Проведенные обследования гидротехнических сооружений насосной станции Шерабад, в частности, здания станции показали, что бетонная кладка и фундамент здания насосных станций подвергаются химически агрессивным воздействиям, угрожающим прочности и устойчивости сооружений. И что выбор тех или иных мероприятий может быть произведен лишь после детального изучения имевших место химических процессов в бетоне.

Тщательно проведенные исследования поврежденного бетона показали, что основная часть разрушенного бетона (78%) состоит из углекислого кальция и магния; незначительное содержание гипса показывает, что разрушение бетона не было вызвано серно-натриевой солью. Образование гнезд и разъедание бетона нельзя объяснить выщелачиванием из него водой извести и магнезии.

Это могло произойти только при агрессивном воздействии углекислоты на карбонаты и получении при этом углекислой извести, растворимой в воде. Анализы грунтовой воды показали содержание в ней углекислоты в размере 8.14 мг/л.

Разрушение бетона не могло быть объяснено воздействием углекислоты, содержащейся в грунтовой воде. Состояние бетона заставляло искать причину его разрушения сульфоалюминатом кальция, так называемой «цементной бактерией», которая кристаллизуется в соединение с водой ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 + 3\text{OH}_2\text{O}$) и увеличивает свой объем в 32 раза. Это предположение подтвердилось химическими анализом, показавшими повышенное содержание в бетоне серного ангидрида в пределах от 1.9 до 5.9 % к содержанию цемента, в то время как максимально допустимое содержание серного ангидрида для портландцемента не должно превышать 2,5 %. Содержание серного ангидрида было наибольшим у нижней части фундамента и уменьшалось кверху.

Анализы грунтовой воды показали значительное содержание как поваренной соли, так и хлористого магния и гипса, как это видно из таблицы 5.4.

Таблица 5.4.

Результаты анализа воды

№ пп	Наименование химических веществ	Грунтовая вода	
		Проба №1	Проба №2
1	Поваренная соль мг/л	317	227
2	Серный ангидрид	70	102
3	Известь	99	81
4	Магний	34	26

Произведенное выявление причин разрушения бетона, а также предложенные мероприятия по борьбе с разрушающим действием на бетон углекислых и сернистых вод показали, что наиболее надежным средством в этом случае является повышение водонепроницаемости и плотности бетона, что может быть достигнуто увеличением количества цемента и соответствующим подбором гранулометрического состава инертных материалов.

Следует отметить, что кроме явления коррозии бетона на многих гидротехнических сооружениях отмечаются коррозии арматуры, входящих в состав железобетонных конструкций.

В соответствии с основными положениями механики разрушения изделия имеют начальные дефекты, которые в процессе эксплуатации продолжают развиваться при воздействии на них различного рода нагрузок. Опыт эксплуатации крупных насосных станций показывает, что на железобетонные конструкции одновременно с силовыми нагрузками действуют различного рода коррозионные факторы. Коррозия арматуры в бетоне происходит за счет проникновения фильтрационных вод через поры и трещины, образованные в бетоне. К числу коррозионных факторов следует относить следующие основные типы:

- Агрессивное действие грунтовой и фильтрационной воды;
- Постоянное воздействие электрического тока.

Все эти факторы приводят к значительному снижению их прочностных качеств и к нарушению гидротехнических сооружений. На многих насосных станциях на тыльной стороне здания у фундамента накапливается вода, которая поступает в результате протечек напорных трубопроводов. Так, в результате проведенных исследований на «Шерабадской» и «Аму-Занг-2» насосных станциях ярко проявляются вышеуказанные процессы в виде коррозии бетона и арматуры. Наиболее типичное разрушение гидротехнических сооружений, которое происходит при коррозии арматуры в бетоне, является постепенное уменьшение его рабочего сечения за счет перехода наружных слоев металла в продукты коррозии. Различают различные виды проявления коррозии металла:

- Равномерные по всей поверхности на протяжении определенной длины арматуры.
- Резко выраженной местной, в виде образования язвенных поражений.

Проведенные обследования гидротехнических сооружений, в частности, на насосных станциях Аму-Занг2, Шерабад показали, что наиболее распространенными дефектами являются разрушение защитного слоя с обнажением арматуры, коррозия арматуры и коррозия бетона, главным образом, в виде пятен и подтеков выщелачивания извести.

Вышеприведенные исследования, в основном, выявили причину чрезмерного износа и разрушения металлических и бетонных конструкций насосных станций. Следует отметить, что процесс проявления биологической коррозии на насосных станциях, прежде всего, обусловлен наличием воды со взвешенными наносами, являющимися очагом развития микробиологических процессов. В настоящее время проводятся исследования температурного режима на процесс активизации биологических организмов, вызывающих коррозию металла.

В науке известны методы предупреждения и методы защиты напорных водоводов от биологической коррозии. К методам предупреждения относится выбор схемы сооружения напорных трубопроводов и создание благоприятных гидравлических условий для транспорта наносов, а также покрытие поверхности металла антикорами. Для защиты конструкции от биокоррозии, прежде всего, необходимо определить тип железоядных бактерий, а затем выбрать средства защиты поверхности конструкций.

Выводы по главе 5.

1. В результате натурных исследований и лабораторных опытов, в которых принимали участие ведущие ученые Института Микробиологии Академии наук Республики Узбекистан установлено, что разрушение металлических оболочек напорных труб происходит из-за биокоррозионных процессов.

2. Биокоррозионные процессы, в основном, протекают в местах осаждения и прилипание наносов, диаметр частиц которых менее 0,01 мм. При этом очаговые накопления твердых материалов происходят в местах, где допущено образование местных гидравлических сопротивлений.

3. Наличие в составе наносов материалов биологического происхождения приводит и к развитию биокоррозионных процессов на других сооружениях, в частности железобетонных конструкциях насосных станций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении монографии подведены итоги исследования, сформулированы основные выводы и предложены практические рекомендации по установлению гидравлического сопротивления трубопроводов насосных станций при перекачке воды с большим содержанием взвешенных наносов. Положения и выводы, содержащиеся в монографии, опираются на результаты исследований в области гидравлики, инженерной гидрологии и инженерных разработок.

ВЫВОДЫ

1. Доказано, что наличие в составе перекачиваемой воды взвешенных материалов приводит к заилению аванкамеры насосных станций, что обуславливает снижение скорости подхода воды к водоприемникам. Снижение скорости подхода воды к водоприемнику даже при условии соблюдения условий без кавитационной работы насосного агрегата приводит к образованию воздушной воронки у всасывающей трубы насоса, что создает условия возникновения кавитационного процесса для работы насоса.

2. В аванкамерах насосной станции осаждаются наносы с диаметром частиц более 0,01 мм, остальная часть транспортируется по трубопроводам и через насос в напорный бассейн. Наличие по длине трубопроводов дополнительных гидравлических сопротивлений (повороты, узлы соединения и деления, арматуры и т.д.) способствует осаждению и накоплению отложений внутри трубы. На основе проведенных лабораторных, натурных и теоретических исследований установлено, что основной причиной разрушения металлических напорных трубопроводов насосных станций являются биокоррозионные процессы, обусловленные наличием в продуктах осаждения во внутренней части труб твердых осадений различного происхождения.

3. На основе применения основного уравнения равномерного движения смеси воды и взвешенных частиц в круглоцилиндрической трубе получена закономерность изменения гидравлического сопротивления от изменения расхода воды и мутности потока.

4. На основе численных экспериментов получены результаты, способствующие установлению потери напора в напорном трубопроводе насосной станции перекачивающие воды с большим содержанием взвешенных наносов.

5. На основе лабораторных опытов получены зависимости изменения величины гидравлических сопротивлений от величины расхода воды следующих видов:

- Для вентиля была выявлена эмпирическая зависимость следующего вида в условиях мутного водного потока:

$$y = 0,6147x - 0,0464$$

- Для участка резкого расширения трубопровода в условиях мутного водного потока:

$$y = 0,2407x - 0,0278$$

- Для участка резкого сужения трубопровода в условиях мутного водного потока:

$$y = 0,4609x - 0,0437$$

6. Проведенные микробиологические исследования проб, взятых из внутренней части труб и из стенок железобетонных конструкций показывают, что в подавляющем большинстве проб были обнаружены микроорганизмы всех указанных групп. Наиболее распространенными являются кислотообразующие, денитрифицирующие и нитрифицирующие бактерии. Их численность варьировала от 10^2 кл/мл до 10^5 кл/мл в жидких пробах, а в твердых от 10^3 кл/гр до 10^6 кл/гр. Следует отметить, что в пробах вод, отобранных из всасывающего патрубка насосных агрегатов, напорного трубопровода и отстойника численность микроорганизмов колебалась в пределах $10^2 \dots 10^5$ кл/мл, что является основным критерием потенциальной опасности стресс-коррозионного повреждения напорных трубопроводов и железобетонных сооружений насосных станций.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для повышения эффективности и надежности функционирования насосных станций в целом и ее основных напорных трубопроводов в частности необходимо, в первую очередь, предусмотреть отстойники на участках подачи воды к подводящему каналу насосной станции.

2. До минимума довести точки образования местных гидравлических сопротивлений на напорных трубопроводах насосных станций. Для насосных станций, перекачивающих воду с большим содержанием взвешенных наносов предусмотреть систему промывки и очистки напорных трубопроводов.

3. Для каждой насосной станции, перекачивающей мутную воду установить тип микроорганизма, который является источником развития биокоррозионного разрушения материалов трубопровода и элементов железобетонной конструкции и выбрать тип антибактерии. Антикоррозионные мероприятия провести с использованием конкретного типа антибактерий.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Абальянц С.Х. Устойчивые и переходные режимы в искусственных руслах. - Л.: Гидрометеиздат, 1981. - 240 с.
2. Андреева М.М. Исследование работы ирригационных отстойников численным методом.: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. - М.: 1983. - 17 с.
3. Арифжанов А.М., Худайкулов С.И., Латипов Н.К. Кинематические характеристики взвесенесущего потока в открытых руслах // Естественные и технические науки. - 2004. - № 3, - С. 150-152. ISSN,1684 -2626
4. Арифжанов А.М., Худайкулов С.И. О транспорте двухфазного потока в размываемых руслах Сб. докл. рес. конф. посвящ. 90-летию Х.А. Рахматулина, 21-23 апрель. - 1999. - С. 93-95.
5. Бальзанников М.И. Совершенствование конструкций водоприемно-водовыпускных устройств гидроэнергетических установок // Гидротехническое строительство. - Москва, 1994. - № 9. - С. 21-23.
6. Баренблатт Г.И. О движении взвешенных частиц в турбулентном потоке // Прикладная математика и механика. - 1958. - Т.17. - Вып.3. - С. 261-274.
7. Бакиев М.Р., Бараев Х.А., Воронова Т.В. О критериях качества перекачиваемой воды на системах машинного орошения // Эксплуатация насосных станций в условиях Средней Азии: Тр.ТИИИМСХ. - Ташкент, 1989. - С. 4-10.
8. Беглов И.Ф., Гловацкий О.Я., Талипов Ш.Г. Анализ систем диагностирования неисправностей насосных агрегатов // Сб. науч. трудов НИЦ МКВК. - Ташкент, 2001. - С. 60-65.
9. Бернацкая Н.В. Распределение размеров частиц наносов по глубине взвесенесущего потока.: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. - М.: 1984. - 17 с.
10. Богачев И.Н. и др. Гидроабразивная стойкость хромомарганцевых сталей // Энергомашиностроение, 1987. - № 7. - С. 75-79.
11. Bogardi J. Sediment transport in alluvial streams. - Budapest: Academia Kiado, 1974. - 826 p.
12. Буркова Ю.Г. Оптимизация технико-экономических параметров крупных насосных станций с учетом их надежности.: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. - М.: 2000. - 24 с.
13. Великанов М.А. Динамика русловых процессов. - М.: Гостехиздат, 1955. - Т.2. - 323 с.
14. Великанов М.А. Русловой процесс. - М.: Физматгиз, 1958. - 396 с.
15. Водоснабжение 2000/2001: Насосы и установки для водоснабжения. WLO.Б.м. 2000. 96 с.
16. ВНИИ ВОДГЕО (Ф.А.Шевелев) Исследование основных гидравлических закономерностей турбулентного движения в трубах. - М.: Госстройиздат, 1953.
17. Гловацкий О.Я., Очилов Р.А. Совершенствование эксплуатации крупных мелиоративных насосных станций. В 3-х ч. - М.: Обзорная информ. ЦБНТИ Минводстроя СССР, 1990. - Ч. II. - 90 с.
18. Гловацкий О.Я. Совершенствовать эксплуатацию насосных станций // Сельское хозяйство Узбекистана. - Ташкент, 1992. - № 10. - С. 27-29.

19. Гловацкий О.Я. Теория и методы управления гидравлическими процессами при эксплуатации мелиоративных насосных станций.: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. - М.: МИСИ. 1989. - 34 с.
20. Гловацкий О.Я., Исаков Х.Х., Пак О.Ю., Талипов Ш.Г. Управление надежностью насосных станций по оценке технического состояния. Современные проблемы управления водными ресурсами. - Ташкент: 2004, - Т.2. - С. 19-24.
21. Гловацкий О.Я., Беглов И.Ф. Режим эксплуатации трансграничных насосных станций // Водные ресурсы Центральной Азии. - Алматы. 2002. - №1. - С. 485-491.
22. Гловацкий О.Я., Исаков Х.Х., Талипов Ш.Г. Опыт диагностирования насосных станций и скважинных насосов // Мелиорация и водное хозяйство. - М.: 2003. - № 3. - С. 45-47.
23. Гловацкий О.Я., Талипов Ш.Г., Пак О.Ю. Новые методы динамического контроля насосного агрегата крупных насосных станций. Системы машинного водоподъема // Современные проблемы управления водными ресурсами. -Ташкент.: 2004. - Т.2. - С.24.
24. Гончаров В.Н. Динамика русловых процессов. - Л.: Гидрометеиздат, 1962. - 373с.
25. Гостунский А.Н. Взвешивающая способность // Известия АН УзССР. – 1954. - №3. - С. 59-68.
26. Гольдштейн С.Д. Таблицы для гидравлического расчёта стальных, чугунных и асбестоцементных напорных трубопроводов. - М.: 1986. - 248 с.
27. Graf W.H. Hydraulics of sediment transport Н.У. Me Graw-Hill, 1971. - P.513.
28. Гришанин К.В. Расход русловых наносов в реках с песчаным дном // Русловые процессы и методы их моделирования. - Л.: 1977. - С. 8-14.
29. Гухман А.А. Введению в теорию подобия. - М.: 1973. - 296 с.
30. Данг Саун Хоа. Совершенствование режимов эксплуатации крупных насосных станций.: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. - Ташкент: САНИИИРИ. 1996. - 28 с.
31. Дорофеев А.Г., Мурадов А.В., Шевелев А.Ф. Защита от коррозии трубопроводов промышленного и бытового назначения: Аналит. обзор. - М.: ВНИИЦентр, 1986. - 125 с.
32. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. - М.: Машиностроение, 1975. - 559 с.
33. Ибад-заде Ю.А., Нуриев Ч.Г. К расчету осаждения взвешенных наносов в отстойниках // Труды координационных совещаний по гидротехнике. - 1971. -Вып.57. - С. 96-97.
34. Ильин Ю.А Надежность водопроводных сооружений и оборудования. - М.: Стройиздат, 1985. - 240 с.
35. Ильин В. Г. Расчет совместной работы насосов, водопроводных сетей и резервуаров. - Киев: Стройиздат УССР, 1963.
36. Ильина Т.Н. Основы гидравлического расчета инженерных сетей. - М.: 2007. - 192 с.

37. Камалов Т.С. Оптимизация режимов работы насосных станций. - Ташкент: Фан, 1988. - 60 с.
38. Ким В.А., Кабулов И.Н. Опыт эксплуатации центробежных насосов Д4-125-О на насосной станции «Кокайты» // Мелиорация и водное хозяйство. - 1991. - № 5. - С. 37-39.
39. Колесникова Т.В. Гидравлика пневмобарьерных комплексов бесплотинных водозаборов насосных станций на равнинных реках. - Владикавказ: Сев. Осетин. гос. ун-т, 1998. - 193 с.
40. Кондрашов А.П., Шестопалов Е.В. Основы физического эксперимента и математическая обработка результатов измерений. - М.: Атомиздат, 1987.- 200с.
41. Крагельский И.В., Добычин М. Н., Комбалов В.С. Основные расчеты на трение и износ. - М.: Машиностроение, 1977. - 526 с.
42. Колпаков Л.Г. Эксплуатация магистральных центробежных насосов. Учеб. пособие. - Уфа: 1993. - 123 с.
43. Кондахаров Б.К. Совершенствование управления ремонтными работами на крупных каскадах насосных станций // Материалы Республиканской научной конференции. - Ташкент: Перевод водохозяйственных эксплуатационных организаций на рыночные отношения, 2002. - С. 56.
44. Койбаков С.М. Проблемы эксплуатации гидротехнических и мелиоративных объектов в сложных природно-климатических условиях. - Тараз: 2003. - 254 с.
45. Криль С.И. Основы теории и метод расчета напорных взвесенесущих потоков: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. - Л.: 1985. - 42 с.
46. Петров И. П., Спиридонов В. В. Надземная прокладка трубопроводов. - М.: Недра, 1973. - 472 с.
47. Латипов К.Ш., Арифжанов А.А. Вопросы движения взвесенесущего потока в открытых руслах. - Ташкент: Мехнат, 1994. С. 4-29.
48. Латипов К.Ш., Шоюсупов М.О. О русловых потоках переменным расходом вдоль пути. - Ташкент: Фан, 1979. - 192 с.
49. Латипов К.Ш., Арифжанов А.М. Вопросы движения взвесенесущего потока в открытых руслах. - Ташкент: Мехнат, 1994. - 110 с.
50. Ляхтер В.М., Прудовский А.М. Гидравлическое моделирование. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 392 с.
51. Мамажонов М., Улугходжаев К. Эффективность эксплуатации осевых насосов в оросительных системах // Сельское хозяйство Узбекистана. - Ташкент, 2002. - № 2. - С. 30-31.
52. Мамажонов М. Анализ эксплуатационных условий работы насосных станций сельскохозяйственного назначения. // Вестник аграрной науки Узбекистана. - Ташкент: Таш. ГАУ, 2004. - № 1. - С.77-80.
53. Махмудов И.Э. Экспериментальные исследования по определению гидравлического сопротивления труб питьевого водоснабжения // Материалы республиканской научной конференции. - Ташкент: Современные проблемы математики, механики и информационной технологии», посвященной 90-летию юбилею НУУ, 2008. - С. 304.

54. Махмудов И.Э., Утемуратов М.М. Исследование изменения концентрации бактерий в системах питьевого водоснабжения // Материалы международной научно-практической конференции. - Душанбе: Математические проблемы технической гидромеханики, теории фильтрации и орошаемого земледелия, 2008. - С. 35-36.
55. Махмудов Э.Ж. и др. Безопасность плотин в Центральной Азии: создание потенциала и региональное сотрудничество. Европейская экономическая комиссия ООН. - Нью-Йорк и Женева, 2007. - 92 с.
56. Makhmudov E.J., John E. Moerlins, Mikhail K. Khankhasayev, Steven F. Leitman. Transboundary Water Resources: A Foundation for Regional Stability in Central Asia. P.O. Box 17,3300AA Dordrecht, The Netherlands, Springer 2007. - 312 p.
57. Махмудов Э.Ж., Бегматов А. Б Муминова М. Н. К задаче о неустановившемся движении взвешенных наносов // Журнал наносов. - Т., 2002. - № 4. - С. 18-23.
58. Махмудов Э.Ж., Утемуратов М.М. Потери напора на трение при напорном движении смеси воды и взвешенных наносов // Узбекский журнал Проблемы механики. – Ташкент, 2007.
59. Мухаммадиев М.М., Уришев Б., Жонкобилов У. Проблемы эксплуатации насосных станций агропромышленного комплекса Узбекистана // Разработка и производство конкурентноспособных сельхозмашин и машин для переработки сельхозпродукции. Сб. науч. конф. - Ташкент: 1997. - С. 107-109.
60. Мамажонов М., Хакимов А., Хожиматов А. Как усовершенствовать насосные агрегаты // Сельское хозяйство Узбекистана. - Ташкент, 1999. - № 4. - С. 41.
61. Мамажонов М. Экспериментальные исследования камерных водозаборов насосных станций // Науч. техн. ж. Фер.ПИ. - Фергана, 2003. - № 2. - С. 20-25.
62. Мухаммадиев М.М., Уришев Б. Модельные гидродинамические исследования насосных станций с горизонтальными и вертикальными агрегатами // Изв. АН Узбекистана. Сер. техн. наук. - Ташкент, 1990. - №1. - С. 48-53.
63. Мухаммадиев М.М. Уточнение классификации насосных станций: Сб. тез. науч.техн. конф. - Таш ГТУ. - Ташкент, 1993. - С. 83-84.
64. Назаров Н.Т., Филиппович Ю.Ю. Рабочие процессы, происходящие на насосных станциях при откачке вод, подтопляющих мосты и дороги. Автомобільні дороги дорожнє будівництво. – Київ, 2002. - вып. 65. - С. 105-108.
65. Нам К.С., Штернлихт Д.В. О моделировании силового воздействия потока на призматические тела // Гидравлика, использование водной энергии. - Тр. МГМИ, 1988. - С. 232-238.
66. Насосы и насосные станции. В.В. Чебаевский, К.П. Вишневский, Н.Н. Накладов, В.В. Кондратьев. Под ред. В.В. Чебаевского. Учеб. пособие для ВУЗов. - М.: Агропромиздат, 1989. - 416 с.
67. Неугодов Г.И. Измерение расходов и напоров на мелиоративных насосных станциях // Гидротехника и мелиорация. - Москва, 1974. - № 6. - С. 43-46.

68. Опыт эксплуатации Каршинского магистрального канала с каскадом насосных станций. Дуденко И.К., Очиллов Р.А. и др. Под ред. Переверзева С.К. - Т.: Мехнат, 1987. - 185 с.
69. Отчет «Комплексное обследование и техническая диагностика насосной станции «Шерабад»» 2003 г.
70. Отчет «Комплексное обследование и техническая диагностика насосной станции «Бабатаг»» 2004 г.
71. Отчет «Комплексное обследование и техническая диагностика Каршинской насосной станции №6» 2005 г.
72. Палышкин Н.А., Подласов А.В. Рекомендации по проектированию аванкамер и водоприемников мелиоративных насосных станций. Пособия по проектированию. - Киев: УкрНИИГиМ, 1989. - 146 с.
73. Проблемы насосостроения и их решение. Редкол.: Караханьян В.К. и др.: Сб. науч. тр. - М., ВНИИГидромах, 1989. - С. 145.
74. Правила измерения расхода газа и жидкостей стандартными сужающими устройствами. РД-50-213-80. - М.: Изд. стандартов, 1982. - 150 с.
75. Проектирование насосных станций и испытание насосных установок / В.В. Рычагов, В.Ф. Чебаевский и др.; под ред. В.Ф. Чебаевского. Учеб. пособие для ВУЗов. 3-е изд. - М.: Колос, 2000. - 375 с.
76. Переходные процессы насосных станций. Расчеты пуска и остановки насосных агрегатов: Пособия к ВСН. 33-2.2.12.-87. Мелиоративные системы и сооружения. Насосные станции. Нормы проектир. - М.: Союзгипроводхоз, 1990. - 72 с.
77. Рахматулин Х.А. Основы газодинамики взаимопроникающих движений сжимаемых сред. И ПМИ. – 1956. - Т.20. – вып. 2. - С. 14-18.
78. Рахимов Ш. Х., Бегимов И., Исаков М., Совершенствование диспетчерских режимов эксплуатации каскадов крупных насосных станций с водохранилищами сезонного регулирования. - Наманган: Наманганск. индус. - технол. ин-т, 1995. - 118 с.
79. РД 153-39.4-091-01. Инструкция по защите городских подземных трубопроводов от коррозии. АКХ им. К.Д. Памфилова. - М., 2002. - 24 с. (из интернета).
80. Регламент эксплуатации напорных канализационных трубопроводов и сооружений на них. - М: Мосводоканал, 2007. - 88 с. (из интернета).
81. Рейзин Б.Л., Стрижевский И.В., Шевелев Ф.А. Коррозия и защита коммунальных водопроводов. - М.: Стройиздат, 1979. - 510 с.
82. Седов Л.И. Механика сплошной среды. 5-е изд. РАН. – М.: Наука, 1994. Т.1. 529 с.
83. Справочник по гидравлическим расчетам / П.Г. Киселев, А.Д. Альтшуль и др.; под ред. П.Г. Киселева. Изд.4-е. - М.: Энергия, 1972. - 312 с.
84. Schroedar K. Werkstoffabtrag bei turbulenten Spaltströmungen in Pumpen: Diss. - Darmstadt, 1996. - s. 138.
85. Sebestyen G., Stvrteczky F., Szabo A. Correlation between the Acoustical and Erosion Properties of Cavitation in a Pump // Transactions 6-th IAHR Symposium. - Rome, 2001. - P. 48.

86. Улутходжаев К.Х. Изнашивание осевых насосов. - Ташкент: Мехнат, 1989. - 136 с.
87. Узлы сооружений насосных станций. Мелиоративные системы и сооружения. Насос. станции. Нормы проектирования. - М.: ВО Союзводпроект, 1991. - с. 77.
88. Ухин Б.В. Влияние на характеристику грунтового насоса количества лопастей рабочего колеса и их форма // Гидротехническое строительство. - Москва, 2002. - № 5. - С. 22-25.
89. Ухин Б.В. Исследование снижения гидравлических потерь в отводах грунтовых насосов // Гидротехническое строительство. - М., 2002. - №9. - С. 3336.
90. Учет воды на насосных станциях оросительных систем // Грабовский А.М., Дыро П.Р. и др. Под. ред. А. М. Грабовского. - М.: Колос, 1988. - 55 с.
91. Файзуллаев Д.Ф. Ламинарные движения многофазных средств в трубопроводах. - Т.: Фан, 1966.
92. Хрущов М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. - М.: Наука, 1970. - 373 с.
93. Хамидов А.А., Худайкулов С.И., Умаров А.И. Автомодельная задача о свободном турбулентном течении смеси вязких жидкостей // ДАН Р. Узб. 2003. - №1. - с. 57-61.
94. Хамидов А.А., Шакиров А.А., Юнусов Г. Кавитационное течение смеси идеальной жидкости в канале с разветвлением // Узбекский журнал проблемы механики. - Ташкент, 2003. - №4.
95. Хамидов А.А., Маматкулов Ш., Исанов Ш.Р., Джумабаев Д.Х. Задача о переносе солей и соленосных примесей в атмосфере // Узбекский журнал проблемы механики. - Ташкент, 2004. - №3. - С. 17-21.
96. Хамидов А.А., Худайкулов С.И. Теория струй многофазных вязких жидкостей. - Ташкент: Фан, 2003. - 140 с.
97. Хамидов А.А., Махмудов И.Э. Гидродинамическое моделирование изменения концентрации бактерий в системах питьевого водоснабжения // Материалы республиканской научной конференции. - Ташкент: Современные проблемы математики, механики и информационной технологии, посвященной 90-летию юбилею НУУ, 2008. - С. 304.
98. Храменков С.В., Примин О.Г. Оценка и обеспечения надежности и эффективности эксплуатации Московского водопровода // РОБТ. -1998. - №7. -С. 10.
99. Цой В.А. Режимы работы центробежных насосов гидроэнергетических установок при кавитационно-абразивном износе.: Автореф. дисс.... канд. техн. наук. - М.: МИСИ. 1977. - 18 с.
100. Чугаев Р.Р. Гидравлика. - Л.: Энергоиздат, 1982. - 108 с.
101. Шевелев Ф.А. Таблица для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбестоцементных, пластмассовых и стеклянных водопроводных труб. - М.: Стройиздат, 1973. - 112 с.
102. Шаазизов Ф.Ш., Утемуратов М.М. Гидрохимическое разрушение бетонных сооружений и коррозия железобетонных конструкций на крупных насосных станциях Узбекистана // Журнал Вестник Аграрной Науки Узбекистана. - Ташкент, ТашГАУ. - 2005. – С. 85-88.

103. Шаазизов Ф.Ш, Лесник Т.Ю., Утемуратов М.М. // Журнал Экологический вестник Узбекистана. - Ташкент, 2006. - С. 24-26.
104. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. Книга 1. – М.: Энергоиздат, 1991. – С. 282-284.
105. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. - М.: Энергия, 1991. - 351 с.
106. Яновский Ю.Г., Корнопелев В.А. Восстановление и сохранение пропускной способности металлических трубопроводов в целях повышения надежности водоснабжения и экономии материальных ресурсов. ЦБНТИ Минжилкомхоза РСФСР. - 1985. Серия Водоснабжение и канализация, №2.(60). - С. 47.
107. 03890015447. Внедрение прогрессивной технологии и экспериментального оборудования для нанесения на стальные трубы противокоррозионного покрытия/ Конструк.-технол. и проект. ин-т НПО "Жилкоммунтехника". - 54 с. (из интернета).
108. 02880052567. Разработка антикоррозионных покрытий внутренних поверхностей тонкостенных труб для орошения // Сиб. НИИГиМ. - 141 с. 9-40 (из интернета).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица 1.1.

Внутрихозяйственные насосные станции

№	Наименование БУИС	Количество шт.						
		Всего НС	Количество агрегатов	В том числе:		Год строительства	Заданная мощность, кВт	Расход м³/с
				Электр	Дизель НС			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Зарафшон	549	668	635	33	1973-1990	68930	200,6
2	Сирдарё-Сух	654	699	639	60	1968-1980	46015	160,5
3	Аму-Бухоро	555	555	459	96	1975-2001	47740	226,1
4	Куйи-Амударё	2520	2620	1880	740	1980-2000	220031	1122
5	Чирчик-Ахангаран	491	583	480	11	1980-2000	43049	116,0
6	Куйи-Сирдарё	378	378	340	38	1983-2000	28790	132,3
7	Норин-Сирдарё	591	632	300	32	1980-2000	16250	21,4
8	Аму-Кашкадарья	563	583	533	50	1977-2002	1844,3	56,56
9	Норин-Корадарё	348	366	331	17	1978-1999	48080	118
10	Аму-Сурхон	705	745	745		1981-2004	76562	218,5
	Всего	7354	7829	6642	1077	1977-2004	597291,3	2371,9

Таблица 1.2.

Государственные насосные станции

Наименование БУИС	Всего насосных станций	В том числе агрегаты	Общее количество агрегатов							Задача насосной станции	
			Неподвижные агрегаты			Плавающие агрегаты			Ползующие НС	Орошение	Мелиорация
			Штук	В том числе Электрич.	Заданная мощность, кВт	Штук	В т.ч. Электрич.	Заданная мощность, кВт			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Куйи-Амударё	551	1008	448	438	104920	540	253	57186	53	460	91
В т.ч.: 1) Коракалпок худ.	266	588	90	80	37784	489	219	53978	23	232	34
2) Хоразм худ.	285	420	358	358	67136	51	34	3208	30	228	57
Норин-Корадарё	142	463	463	463	305791					141	1
Аму-Бухоро	18	105	100	100	74120	1	5	2000	76	15	3
Норин-Сирдарё	219	719	217	217	560747	2	2	1960		216	3
Сирдарё-Сух	147	473	473	473	211187					141	6
Чирчик-Ахангаран	131	405	405	405	108820					129	2
Зарафшон	89	365	365	365	142768					89	
Наваи НСЭБ	31	157	157	157	96420					30	1
Куйи-Амударё	66	213	213	213	69336					52	14
В т.ч.: 1) Джизак худ.	26	96	96	96	23642					26	
Аму-Сурхон	113	553	553	553	642540					111	2
Аму-Кашкадарья	48	209	209	209	89782					48	
«Узсувтаъмирфойдаланиш» РБ	31	268	256	256	802050	12	12	2500		31	
В т.ч.: 1) АБМК	12	142	130	130	62810	12	12	2500		12	
2) КМК	14	85	85	85	550140					14	
3) Мирзачул	3	17	17	17	167500					3	
Всего	1586	4938	3859	3846	3208481	555	272	63646	129	1463	123

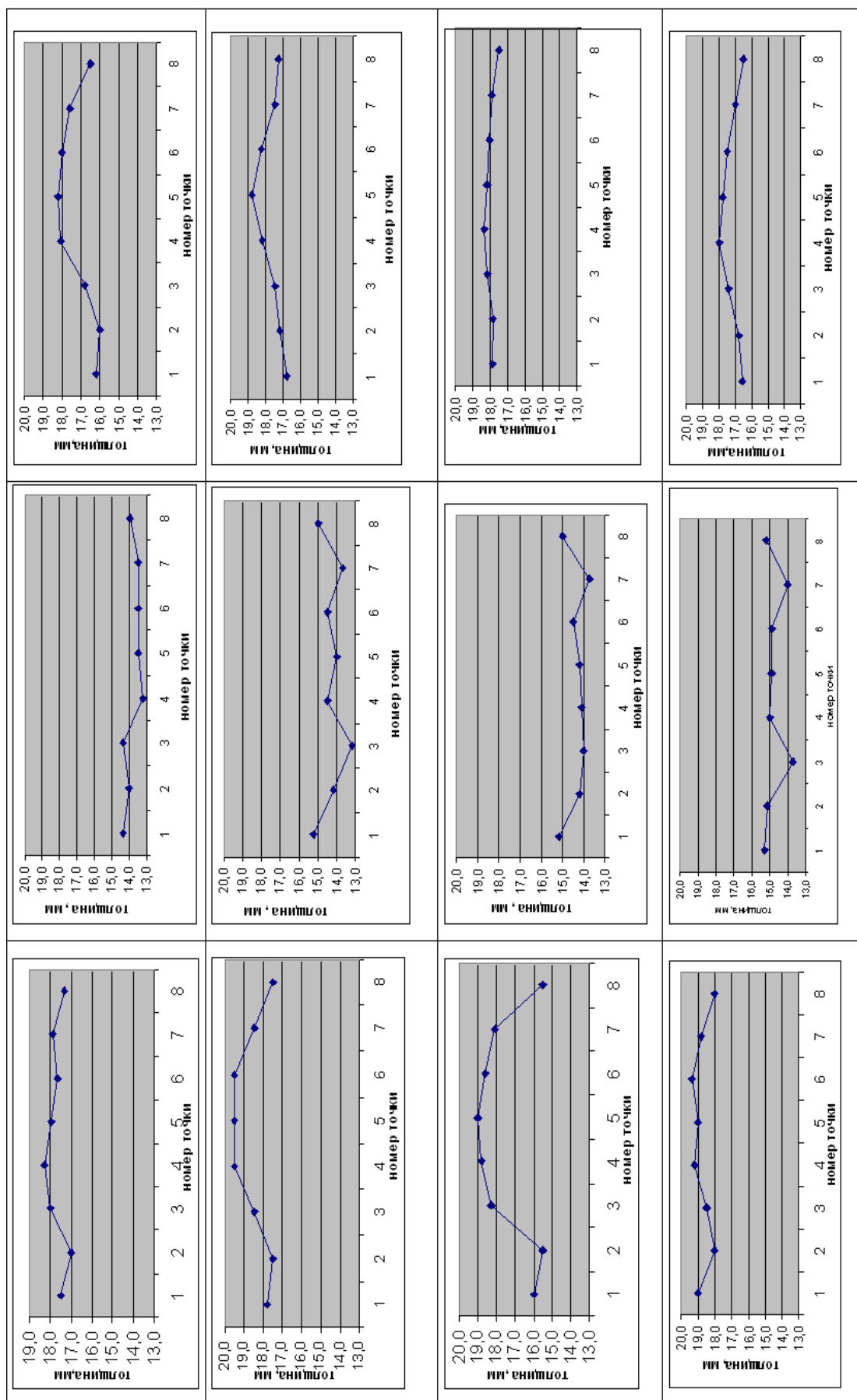


Рис. 5.1. Контрольные измерения толщины металлических напорных труб насосной станции «Шерабад»

Таблица 1.3.

**Результаты натурного обследования напорных
трубопроводов насосных станций**

№	Название насосных станций	Местоположение насосных станций	Характеристика напорных трубопроводов				
			Тип укладки напорного трубопровода	материал	Диаметр, мм	Толщина оболочки	Протяженность трассы, м
1	Насосная станция «Алат»	Бухарский вилоят Алатский туман	надземный, на катковых опорах	Сталь низколегированная	2040	10 (6,0 замеры 1991г)	70,0
2	Насосная станция «Аму-Занг-1»	Сурхандарьинский вилоят Термезский туман	надземный, на катковых опорах	Сталь низколегированная	2840	8...10 (замеры 1991г)	182,2
3	Насосная станция «Аму-Занг-2»	Сурхандарьинский вилоят Жаркурганский туман	надземный, на катковых опорах	Сталь низколегированная	3240	8...10 (замеры 1991г)	527,8
4	Насосная станция «Бабатаг»	Сурхандарьинский вилоят Джаркурганский туман	надземный, на катковых опорах	Сталь низколегированная	2840	20...10 (12...6 замеры 1991г)	1250
5	Насосная станция «Бешарык»	Ферганский вилоят	подземная, в траншее	Сталь низколегированная	1220,1420	10 (замеры не проводились)	13250
6	Дризацкая головная насосная станция	Сырдарьинский вилоят, Хавастский туман ПК -396-30-ЮГК	открытый на катковых опорах	Сталь 09Г 2С	1 нитка - 4200, 2 нитка - 4200	14,12	1 нитка -2260 2 нитка - 2257
7	Дризацкая насосная станция II подъема	Дризацкий вилоят, Зааминский туман ПК -317+39-ДМК-1	открытый на катковых опорах	Сталь 09Г 2С и В ст 3 СП5	1 нитка - 3600, 2 нитка - 4200	1 нитка - 14,12,10 2 нитка - 14,12	1 нитка -2270 2 нитка - 2220
8	Дризацкая насосная станция III подъема	Дризацкий вилоят, Зааминский туман ПК -33+83-ДМ2-1	открытый на катковых опорах	Сталь 09Г 2С и В ст 3 СП5	3600	14,12,10	3152
9	Насосная станция «Жайхун»	Сурхандарьинский вилоят Музрабадский туман	надземный, на катковых опорах	Сталь низколегированная	2840	9...10 (замеры 1991г)	107,0
10	Насосная станция «Каракуль»	Бухарский вилоят Каракульский туман	надземный, на катковых опорах	Сталь низколегированная	2040	10 (5...7 замеры 1991г)	21,0 41,0
11	Насосная станция «Караулбазар»	Бухарский вилоят, ПК 1240 Аму-Бухарского магистрала канала	Уложены в траншее, засыпаны грунтом	В ст 3 ПС	1420	14 (не замерялась)	580
12	Насосная станция «Кизил Тепа»	Навийский вилоят Кизилтепинский туман	надземный, на катковых опорах	Сталь низколегированная	3640 3240	12...8 12...8	1750 1750
13	Насосная станция №1 Головной части КМК	Туркменистан, Лебабская обл., ПК 204+57 КМК	открытый на катковых опорах	Сталь 17ГС	3640	10	104
14	Насосная станция №2 Головной части КМК	Туркменистан, Лебабская обл., ПК 404+19 КМК	открытый на катковых опорах	Сталь 17ГС	3640	10	91
15	Насосная станция №3 Головной части КМК	Туркменистан, Лебабская обл., ПК 414+95 КМК	открытый на катковых опорах	Сталь 17ГС	3640	10	89
16	Насосная станция №4 Головной части КМК	Туркменистан, Лебабская обл., ПК 624+70 КМК	открытый на катковых опорах	Сталь 17ГС	3640	10	91
17	Насосная станция №5 Головной части КМК	Туркменистан, Лебабская обл., ПК 672+23 КМК	открытый на катковых опорах	Сталь 17ГС	3640	10	91
18	Насосная станция №6 Головной части КМК	Туркменистан, Лебабская обл., ПК 756+75 КМК	открытый на катковых опорах	Сталь 17ГС	3640	10	91

Продолжение таблицы 1.3.

19	Насосная станция №7 на Талимарджанском водохранилище	Кашкадарьинский вилоят, Нишанский туман перед плотиной	открытый на катковых опорах	Сталь 09Г2С	3640	10	156	2
20	Насосная станция «Куюмазар»	Бухарский вилоят	Надземная, на катковых опорах	Сталь низколегированная	2840	10...12 (5...7 мм замеры 1991г)	70 70	3 3
21	Насосная станция «Наманган»	Наманганский вилоят	Надземная, на катковых опорах	Сталь низколегированная	шт	10...18	478	2
22	Насосная станция «Хамза -1»	Бухарский вилоят, Алатский туман	Надземный, на катковых опорах	Сталь низколегированная	3640	10...16 (6,5...10,4 мм замеры 1996г выборочные)	750	2
23	Насосная станция «Хамза -II»	Бухарский вилоят, Алатский туман	Надземный, на катковых опорах	Сталь низколегированная	4240	8...12 (замеры 1991г)	750	2
24	Шерабадская насосная станция	Сурхандарьинский вилоят, Кумкурганский туман	Надземный, на катковых опорах	Сталь низколегированная	2600	9...10 (замеры 1991г)	115	6

Таблица 1.4.

Результаты исследования толщины стенки оболочки металлических
трубопроводов, расположенных в здании НС Бабатар

№ участка	№№ сечения	Месторасположение сечения на трубопроводе	Толщина стенки трубопровода, мм		Замеренная толщина стенки трубопровода в точках мм												
			Проект-ная	Фактически установленная	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	01	20 см до стены	16	16	14,9	14,5	14,6	14,4	14,1	13,3	14,7	13,1	12,6	12,8	12,6	15,1	
2	02	20 см до стены	16	16	15,9	15,2	15,7	15,4	15,2	15,4	15,15	15,2	12,9	13,4	14,9	15,1	
3	03	20 см до стены	16	16	15,3	15,1	15,1	14,1	14,3	15,5	15,7	13,6	13,5	13,6	14,5	14,7	
4	04	20 см до стены	16	16	12,2	11,1	11,9	11,7	11,7	12,6	14,1	14,0	10,6	10,8	11,4	12,1	
5	05	20 см до стены	16	18	16,6	16,9	16,9	16,0	15,6	15,6	16,9	16,8	15,0	14,6	16,6	16,7	
6	06	20 см до стены	16	18	16,5	16,2	16,4	15,9	15,9	17,2	16,5	15,8	15,1	15,3	16,0	17,2	
	06*	20 см до стенки	16	18	16,5	16,3	16,4	16,0	15,9	17,1	16,8	15,9	15,2	15,2	16,1	17,1	
7	07	20 см до стенки	16	16	15,1	14,7	14,8	14,6	14,2	13,5	14,9	13,3	12,8	13,0	12,1	15,1	
8	08	20 см после затвори	16	18	16,5	16,3	17,5	16,2	16,6	16,6	16,6	16,1	15,6	15,3	16,0	16,6	
	08*	20 см до стенки	16	18	17,1	16,3	16,7	16,8	16,9	16,7	16,4	16,0	16,7	16,8	17,1	17,1	

Приложение 2

Программа для численного решения уравнения потери напора

> **Restart;**

Restart

> **g:=9.81;**

$g := 9.81$

> **Fr:=(4.8977)^2/2/g;**

$Fr := 1.222602716$

{L=l/R[0]}

> **h:=1.04*L*Fr*((1-f[2])^2+f[2]^2)/(1+rho);**

$h := 1.271506825 \frac{L((1-f_2)^2 + f_2^2)}{1 + \rho}$

> **h1:=subs(L=78.43,h);**

$h1 := 99.72428028 \frac{(1-f_2)^2 + f_2^2}{1 + \rho}$

> **h11:=subs(rho=10^(-3),h1);**

$h11 := 99.62465562 (1-f_2)^2 + 99.62465562 f_2^2$

> **h12:=subs(rho=2*10^(-3),h1);**

$h12 := 99.52522982 (1-f_2)^2 + 99.52522982 f_2^2$

> **h13:=subs(rho=5*10^(-3),h1);**

$h13 := 99.22813958 (1-f_2)^2 + 99.22813958 f_2^2$

> **h14:=subs(rho=7*10^(-3),h1);**

$h14 := 99.03106284 (1-f_2)^2 + 99.03106284 f_2^2$

> **h15:=subs(rho=12*10^(-3),h1);**

$h15 := 98.54177893 (1-f_2)^2 + 98.54177893 f_2^2$

> **plot([h11,h12,h13,h14,h15],f[2]=0.05..0.4, color=[red,black,brown,blue,green]);**

> **Restart;**

Restart

> **g:=9.81;**

$g := 9.81$

> **Fr:=(4.8977)^2/2/g;**

$Fr := 1.222602716$

{L=l/R[0]}

> **h:=1.04*L*Fr*((1-f[2])^2+f[2]^2)/(1+rho);**

$h := 1.271506825 \frac{L((1-f_2)^2 + f_2^2)}{1 + \rho}$

> **h1:=subs(L=98.04,h);**

$h1 := 124.6585291 \frac{(1-f_2)^2 + f_2^2}{1 + \rho}$

> **h11:=subs(rho=10^(-3),h1);**

```

                                
$$h11 := 124.5339951 (1 - f_2)^2 + 124.5339951 f_2^2$$

> h12:=subs(rho=2*10^(-3),h1);
                                
$$h12 := 124.4097097 (1 - f_2)^2 + 124.4097097 f_2^2$$

> h13:=subs(rho=5*10^(-3),h1);
                                
$$h13 := 124.0383374 (1 - f_2)^2 + 124.0383374 f_2^2$$

> h14:=subs(rho=7*10^(-3),h1);
                                
$$h14 := 123.7919852 (1 - f_2)^2 + 123.7919852 f_2^2$$

> h15:=subs(rho=12*10^(-3),h1);
                                
$$h15 := 123.1803647 (1 - f_2)^2 + 123.1803647 f_2^2$$

> plot([h11,h12,h13,h14,h15],f[2]=0.05..0.4,
color=[red,black,brown,blue,green]);
> Restart;
                                Restart
> g:=9.81;
                                g := 9.81
> Fr:=(4.8977)^2/2/g;
                                Fr := 1.222602716
{L=l/R[0]}
> h:=1.04*L*Fr*((1-f[2])^2+f[2]^2)/(1+rho);
                                
$$h := 1.271506825 \frac{L ((1 - f_2)^2 + f_2^2)}{1 + \rho}$$

> h1:=subs(L=117.647,h);
                                
$$h1 := 149.5889634 \frac{(1 - f_2)^2 + f_2^2}{1 + \rho}$$

> h11:=subs(rho=10^(-3),h1);
                                
$$h11 := 149.4395239 (1 - f_2)^2 + 149.4395239 f_2^2$$

> h12:=subs(rho=2*10^(-3),h1);
                                
$$h12 := 149.2903826 (1 - f_2)^2 + 149.2903826 f_2^2$$

> h13:=subs(rho=5*10^(-3),h1);
                                
$$h13 := 148.8447397 (1 - f_2)^2 + 148.8447397 f_2^2$$

> h14:=subs(rho=7*10^(-3),h1);
                                
$$h14 := 148.5491196 (1 - f_2)^2 + 148.5491196 f_2^2$$

> h15:=subs(rho=12*10^(-3),h1);
                                
$$h15 := 147.8151812 (1 - f_2)^2 + 147.8151812 f_2^2$$

plot([h11,h12,h13,h14,h15],f[2]=0.05..0.4, color=[red,black,brown,blue,green]);

```



RS Global

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПОДАЧИ СМЕСИ ВОДЫ СО ВЗВЕШЕННЫМИ НАНОСАМИ

МОНОГРАФИЯ

**Махмудов Илхомжон Эрназарович
Утемуратов Махсет Маратович
Садиев Умиджон Абдусамадович
Махмудова Дилбар Илхомжон қизи
Рустамов Шохрух Тўлқинбов ўғли**

Appearance 10.10.2022.
Typeface Times New Roman.
RS Global Sp. z O. O., Warsaw, Poland, 2022
Numer KRS: 0000672864
REGON: 367026200
NIP: 5213776394



RS Global

**ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ
НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПОДАЧИ
СМЕСИ ВОДЫ СО ВЗВЕШЕННЫМИ НАНОСАМИ**

PUBLISHER:
RS Global Sp. z O.O.

Dolna 17, Warsaw,
Poland 00-773

Tel: +48 226 0 227 03

Email: monographs@rsglobal.pl

<https://monographs.rsglobal.pl/>



RS Global