

АЛЛАЕВ К.Р., ХОХЛОВ В.А., ТИТОВА Ж.О.

РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ



ТАШКЕНТ

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени ИСЛАМА КАРИМОВА**

**НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ВОДОПОДЪЕМНИК»**

АЛЛАЕВ К.Р., ХОХЛОВ В.А., ТИТОВА Ж.О.

РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

(Учебное пособие)

ТАШКЕНТ – 2018

УДК: 621.65.008.6 (075)

ББК 31.56

A-50

A-50 Аллаев К.Р., Хохлов В.А., Титова Ж.О. Регулирование режимов работы насосных станций. (Учебное пособие). –Т.: Изд-во «Fan va texnologiya», 2018, 180 стр.

ISBN 978–9943–11–701–3

В учебном пособии приведены общие сведения о насосных станциях, их назначении, типах, оборудовании и энергосберегающих режимах работы. Рассматриваются электромеханические и гидромеханические переходные процессы в системе «трубопровод – насос – электрический двигатель – электрическая сеть» насосных станций. Учебное пособие содержит контрольные вопросы для самообразования. Эти сведения могут быть использованы для выполнения расчетно-графических, курсовых и лабораторных работ.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям «Энергетика по отраслям», «Нефтегазовое дело», «Гидротехнические сооружения», а также магистрантов соответствующих специальностей.

УДК: 621.65.008.6 (075)

ББК 31.56

Рецензент:

Пирматов Н.Б – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрические машины Ташкентского государственного технического университета.

Рекомендована к печати по решению Учёного Совета Ташкентского государственного технического университета.

ISBN 978–9943–11–701–3

© Изд-во «Fan va texnologiya», 2018.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В Узбекистане эксплуатируются около 1600 государственных ирригационных насосных станций, кроме того, насосные установки широко используются в нефтегазовой, горнорудной отраслях, коммунальном хозяйстве, легкой, тяжелой, химической промышленности, для собственных нужд электрических станций и т.д.

Значение насосных станций и установок в энергетике, в практике орошения и осушения земель, перекачки углеводородных продуктов, а также в жилищно-коммунальном хозяйстве непрерывно растет. Насосные станции в сельском хозяйстве и в нефтегазовой отрасли являются уникальными как по мощности агрегатов и параметрам трубопроводов, так и по их роли в решении важнейших задач повышения эффективности экономики государства.

Однако ресурсы эксплуатации энергетического оборудования большинства крупных насосных станций приближаются к техническим пределам, что, естественно, негативно влияет на эффективность их работы. В частности, кроме старения, это связано с износом элементов проточных трактов насосных агрегатов в процессе эксплуатации вследствие кавитации и истирания взвешенными наносами, с работой автоматических регулирующих устройств синхронных электрических машин в нештатных режимах, а также с внеплановыми электромеханическими и гидромеханическими переходными процессами, что приводит к ухудшению режимов работы агрегатов станций.

В этих условиях объемы профилактических и ремонтных работ по поддержанию нормального режима работы насосных станций увеличиваются, задачи эксплуатационных и диспетчерских служб станций и электроэнергетической системы постоянно усложняются. Им необходимо обеспечить устойчивую и надежную работу насосных станций как в нормальных, так и

в переходных режимах, возникающих в результате плановых или аварийных изменений режима.

В настоящем учебном пособии приведены общие сведения о насосных станциях, их назначении, типах, энергетическом и гидромеханическом оборудовании и энергосберегающих режимах работы. Рассматриваются электромеханические и гидромеханические переходные процессы в системе «трубопровод – насос – электрическая машина – электрическая сеть» насосных станций. В материал учебного пособия вошли результаты выполнения прикладных проектов № А-3-24 «Разработка способов и устройств защиты от гидравлического удара основного энергетического оборудования и трубопроводов насосных станций», № А-3-21 «Разработка способов и электронных средств измерения расхода и стока воды на насосных станциях с большими диаметрами трубопроводов» и других научно-технических проектов, выполненных в Ташкентском государственном техническом университете и Научно-производственном предприятии «Водоподъемник».

Авторы благодарят рецензента – доктора технических наук, профессора Пирматова Н.Б. за ценные замечания, высказанные при обсуждении материала учебного пособия, которые обогатили ее содержание.

Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НАСОСАХ И НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ

1.1. Гидравлические машины

Устройство и работа гидравлических машин основана на использовании **принципов гидравлики**. В гидравлических машинах основным рабочим телом является жидкость, как правило, вода.

По своему назначению, в зависимости от характера происходящих в них энергетических процессов, гидравлические машины можно разделить на две большие группы: **гидравлические двигатели и насосы**. Некоторые машины являются обратимыми: они могут работать как в качестве двигателя, так и насоса.

Насосами называются гидравлические машины для перемещения жидкостей путем повышения давления рабочей среды. Механическая энергия, подводимая к насосам от двигателей, приводящих их в действие, преобразуется в насосах в гидравлическую энергию жидкости.

Гидравлические двигатели служат для преобразования гидравлической энергии потока жидкости в механическую энергию, получаемую на валу двигателя и используемую в дальнейшем для различных целей, в основном для привода различных машин.

По принципу действия различают **динамические** гидравлические машины лопастного типа (центробежные насосы, турбины) и **объемные** машины, действующие по принципу вытеснения жидкости твердым телом (поршневые насосы).

Насос в совокупности с электроприводом и передаточным механизмом (муфтой, редуктором, шкивом и т.п) образует **насосный агрегат**.

Комплекс оборудования, состоящий из одного или нескольких насосных агрегатов, трубопроводов, запорной и регу-

лирующей арматуры, КИП, а также аппаратуры управления и защиты, образует **насосную установку**.

Сооружение, в состав которого входят одна или несколько насосных установок, а также вспомогательные системы и оборудование, бытовые и производственные помещения, обеспечивающие работоспособность объекта в целом, называется **насосной станцией**.

Комплекс, состоящий из сооружений, предназначенных для забора воды и подвода ее к станции, напорных трубопроводов и сооружений для приема поднятой воды, называется **гидроузлом насосной станции**.

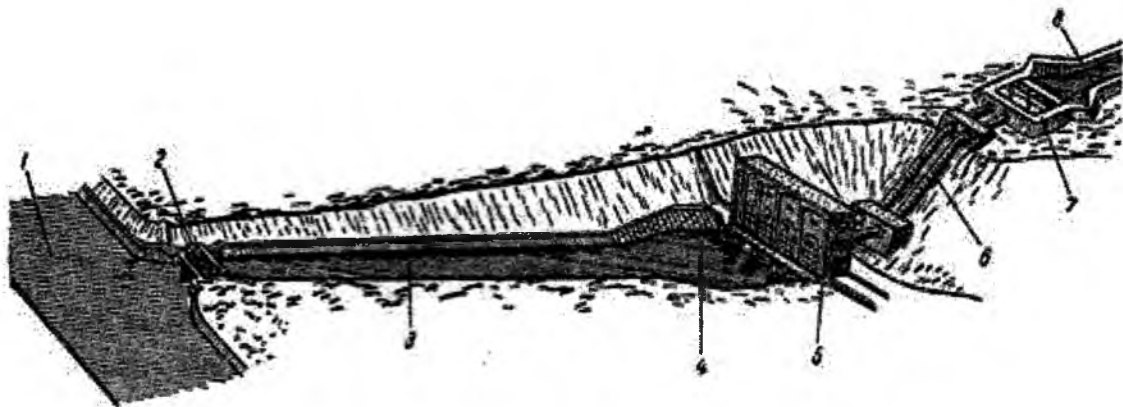


Рис. 1.1. Гидроузел насосной станции:

1 - канал; 2 - водозаборное устройство;

3 - подводящий канал; 4 - аванкамера; 5 - здание насосной станции;

6 - напорный трубопровод; 7 - напорный бассейн;

8 - магистральный канал

Основными параметрами, характеризующими режим работы насосной установки, являются **напор и подача**.

Напор – разность удельных энергий жидкости в напорном и всасывающем патрубках насоса, необходимая для подъема жидкости на заданную высоту и преодоления сил трения в трубопроводе.

Подача – объем жидкости, перекачиваемый насосной установкой за единицу времени.

Режимами работы насосной установки называются разные процессы работы ее оборудования в соответствии с изменяющимися условиями работы системы в целом.

В зависимости от назначения и рода перекачиваемой жидкости насосные установки подразделяются на:

**водопроводные,
мелиоративные,
нефтеперекачивающие,
канализационные,
теплофикационные и др.**

В тех случаях, когда развиваемое давление недостаточно для подъема воды на требуемую высоту, сооружаются **повысительные** насосные станции (станции подкачки).

Насосные установки этих станций увеличивают напор в сети, забирая воду из одного участка водовода или сети и подавая ее в другой водовод или участок сети. При этом забор воды может осуществляться как через промежуточные резервуары, которые выполняют функции регулирующих емкостей, так и без них. В последнем случае установки работают по схеме «из трубы в трубу».

1.2. Насосные станции

Мелиоративные насосные станции подразделяются на **станции орошения и осушительных систем**. Насосные станции орошения в свою очередь делятся на головные, промежуточные перекачивающие и дождевальные.

При машинном орошении вода поднимается насосами из источника орошения до высших отметок орошаемой территории, откуда распределяется по трубам или самотеком по каналам. Машинный подъем на орошение применяют, когда уровень воды в источнике ниже уровня в канале, а также при поливе дождеванием из закрытой оросительной сети.

Насосные станции осушительных систем перекачивают поверхностные воды или снижают уровень грунтовых вод. При таких станциях обычно сооружают резервуар для приема стоков.

Оросительные насосные станции, забирающие воду из открытых водных источников, называют **головными**, или станциями первого подъема, а забирающие воду из оросительных каналов и подающие ее в вышерасположенный канал — зональными или **перекачивающими**. Станции, забирающие воду из оросительного канала и подающие ее в закрытую сеть для полива дождеванием, называют **подкачивающими**.

Место расположения насосной станции выбирается так, чтобы длина тракта подачи воды была минимальной, в основании сооружений и в месте водозабора залегали прочные и устойчивые грунты, а гидравлические условия забора воды и защиты от наносов и от ледовых явлений были наиболее благоприятными.

Головное водозаборное сооружение и его конструкция должны обеспечить забор воды из водных источников в соответствии с графиком подачи воды и расчетными уровнями воды в нем; минимальный захват наносов, для чего предусматривают забор воды из различных уровней или устройство отстойников; нормальный режим эксплуатации и возможность ремонта.

Тип водозаборного сооружения определяется комплексом топографических, геологических и гидрогеологических условий, расходом воды насосной станции и устанавливается на основании технико-экономических расчетов.

От водозаборного сооружения до водоприемника всасывающих труб вода течет по **водоподводящему открытому каналу** или по **закрытому водоводу** (самотечному или сифонному). Скорость течения воды в подводящем канале определяется из условий неразмываемости и допустимой степени заиления русла, необходимостью и целесообразностью применения облицовки.

Закрытые подводящие водоводы служат для обеспечения непрерывного подъема воды от водоисточников, находящихся ниже линии гидродинамического напора. Минимальную скорость течения воды в водоводе принимают не менее 0,8 м/с. Отложившиеся наносы из водовода удаляют промывкой или механическим способом.

Необходимо отметить, что при небольшой длине, а главное, при значительной величине местных потерь напора, которая может превышать 10-15% от потерь по длине, простой трубопровод считают коротким ($L < 300$ м). В противном случае трубопровод является длинным ($L > 300$ м.).

1.3. Оборудование, применяемое на насосных станциях

В здании насосной станции размещают следующее оборудование:

основное гидромеханическое — главные насосы, подающие воду в соответствии с графиком подачи воды; часть всасывающих и напорных трубопроводов с регулировочной (задвижки), контрольно-измерительной (водомеры) и предохранительной (обратные клапаны, предохранительные клапаны) арматурой;

вспомогательное гидромеханическое — вакуум-насосы для запуска главных насосов; дренажные насосы; трубопроводы вспомогательных насосов со всей их арматурой;

основное энергетическое — двигатели главных насосов; двигатели задвижек трубопроводов главных насосов, особое оборудование, специфическое для данного типа двигателя (например, распределительное устройство и понизительные подстанции);

вспомогательное энергетическое — электродвигатели вспомогательных насосов, затворов, подъемных кранов и т.д.

Теплофикационные насосные станции предназначены для подачи горячей воды в системы отопления и горячего водоснабжения жилых и общественных зданий, а также технологическим потребителям. Источниками горячей воды являются центральные котельные и теплоэлектроцентрали, на которых обычно устанавливаются сетевые насосы. К теплофикационным сетям присоединяются тепловые пункты, в которых устанавливаются насосы, подающие горячую воду непосредственно потребителю для отопления и других нужд.

Насосные установки тепловых и атомных электростанций выполняют разнообразные функции в технологическом процессе выработки электрической и тепловой энергии. Питательные насосы подают воду в котельный агрегат. Конденсатный насос перекачивает конденсат (превратившийся в воду отработанный в турбине пар) в деаэратор. Циркуляционный насос обеспечивает постоянную циркуляцию охлаждающей воды через конденсатор и охлаждающие устройства (градирни, брызгальные бассейны).

Широкое распространение получили **насосные установки, предназначенные для транспортировки нефте- и газопродуктов.**

Находят они применение и **в строительстве:** для водопонижения, откачки загрязненных вод из котлованов, подачи различного рода жидких и полужидких компонентов (растворов, бетонов и т.д.). Применяются насосные установки и **в горнорудной промышленности** для транспортировки различного рода пульп (землесосы, земснаряды и проч.).

Насосные станции комплектуются **одним или несколькими насосными агрегатами.** Если в состав насосной установки входят несколько агрегатов, напорные и всасывающие линии насосов связываются между собой соответственно напорными и всасывающими коллекторами. К напорным коллекторам присоединяются напорные водоводы, а к всасывающим коллекторам — всасывающие водоводы. Если при насосной станции имеются приемные резервуары, всасывающие коллекторы могут не предусматриваться, а всасывающие линии насосов соединяются непосредственно с резервуаром.

1.4. Надежность подачи или откачки воды на насосных станциях

По надежности подачи или откачки воды насосные станции разделяют на три категории.

I категория надежности — насосные станции, у которых в аварийных ситуациях допускается перерыв в работе не более

5 ч, или снижение подачи до 50 % расчетной не более чем в течение 3 суток, или при прекращении подачи могут возникнуть опасность для жизни и угроза нанесения народному хозяйству значительного Ущерба; к этой категории надежности обычно относят каскады крупных и уникальных насосных станций, обслуживающих крупные массивы с ценными сельскохозяйственными культурами, а также крупные осушительные насосные станции, имеющие ограниченную аккумулирующую емкость осушительной системы.

II категория надежности — насосные станции, у которых в аварийных ситуациях допускается перерыв в подаче до одних суток или снижение ее до 50 % расчетной не более чем в течение 5 суток; к этой категории надежности обычно относят крупные и средние насосные станции, обслуживающие более 5 тыс. га посевов ценных сельскохозяйственных культур.

III категория надежности — насосные станции, у которых допускается перерыв в подаче до 5 суток; к ней относят все остальные насосные станции.

При выборе места расположения гидроузла насосной станции и разработке его генерального плана придерживаются следующих рекомендаций.

1. Стремиться при размещении всех сооружений узла к максимальной экономии площади застройки, особенно когда сооружения располагают на землях, пригодных для сельскохозяйственного использования; водозабор желательно размещать как можно ближе к орошаемой территории.

2. Не допускать строительства гидроузла на площадках залегания полезных ископаемых, в зонах активного карста, оползней, селевых потоков и снежных лавин, на откосах глубоких выемок, в первом поясе зоны санитарной охраны источников водоснабжения, рядом с курортами, на территориях зеленых зон городов, лесопарков, заповедников и в охранных зонах исторических памятников.

3. Размещать основные сооружения насосных станций только по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы, рыбоохраны, водного транспорта и водо-

охраны, при этом необходимо также соблюдать требования Воздушного кодекса.

4. Размещать линии электропередачи и связи по границам полей севооборотов, вдоль дорог и существующих трасс.

5. Выносить жилые поселки и отдельные сооружения насосной станции из зон, по которым может пройти сосредоточенный поток воды при аварийном прорыве напорных сооружений; в качестве защитных средств можно предусмотреть сооружение специальных струенаправляющих устройств, защитных дамб, подпорных стен, нагорных и ловчих каналов.

6. Обеспечивать подъезд пожарных автомобилей к зданиям и сооружениям по всей их длине с одной стороны при ширине здания или сооружения до 18 м и с двух сторон — более 18 м.

7. Предусматривать защиту прилегающей территории от эрозии, заболачивания и засоления.

8. Предусматривать устройство дорог, обеспечивающих проезд транспорта ко всем сооружениям узла, а также места его стоянки.

9. Предусматривать превышение на 0,15-0,2 м планировочной отметки уровня полов первого этажа сооружений. При этом сама планировочная отметка должна быть на 0,5 м выше максимального уровня воды в источнике.

10. Обеспечивать наряду с максимальными удобствами при эксплуатации, высокими экономическими показателями основного насосно-силового оборудования, технологичностью производства ремонтно-монтажных работ надлежащий эстетический вид отдельных сооружений и узла в целом в увязке с окружающей местностью. Для улучшения микроклимата предусматривают озеленение территории.

Контрольные вопросы к главе 1:

1. По каким принципам осуществляется классификация гидравлических машин?

2. В каких отраслях экономики используются насосные станции и установки и в чем их принципиальное различие?

3. Перечислите основные гидротехнические сооружения, гидромеханическое и электромеханическое оборудование насосных станций?

4. Как классифицируются насосные станции по надежности и безопасности их работы?

5. Какие рекомендации учитываются при проектировании насосных станций?

Глава 2. ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И РЕЖИМЫ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

К основному оборудованию насосных установок относят насосы, приводы насосов (электродвигатели, двигатели внутреннего сгорания), а также трубопроводы с регулирующей и запорной арматурой.

На современных насосных установках наибольшее распространение получили **лопастные** насосы: центробежные и осевые.

2.1. Центробежные насосы

Внутри неподвижного корпуса 1 (рис. 2.1), имеющего спиральную форму, находится рабочее колесо 2, закрепленное на валу 3. Колесо 2 состоит из двух дисков, между которыми расположены лопасти 4. Корпус насоса соединен с всасывающим и напорным трубопроводами патрубками 5 и 6. Если корпус насоса и его всасывающий трубопровод наполнить жидкостью, а затем привести во вращение рабочее колесо, то жидкость под действием лопастей рабочего колеса приходит во вращение. Центробежные силы перемещают жидкость на периферию, где создается повышенное давление, а в центре колеса – разрежение. За счет разности давлений жидкость поступает в напорный трубопровод. Так осуществляется непрерывная подача жидкости насосом.

Центробежные насосы могут быть как одноступенчатые (с одним рабочим колесом), так и многоступенчатые (с несколькими колесами). Конструктивно в зависимости от расположения вала они подразделяются на насосы горизонтальные и вертикальные.

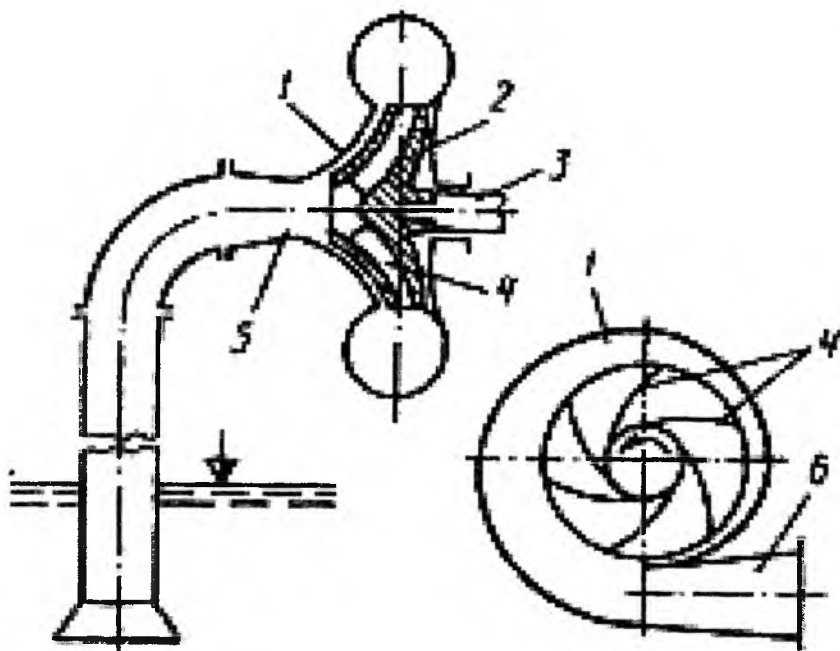


Рис. 2.1. Схема одноступенчатого центробежного насоса

2.2. Осевые насосы

В таких насосах рабочее колесо (рис. 2.2) вращается в сферической камере. При воздействии лопастей рабочего колеса на жидкость за счет изменения скорости течения давление над лопастью повышается, а под ней понижается. Благодаря разности давлений жидкость перемещается вдоль оси насоса.

Осевые насосы изготавливаются двух типов: с жестко закрепленными лопастями рабочего колеса (типа О) и с поворотными лопастями (типа ОП). Насосы обоих типов могут выпускаться в двух исполнениях: Г – с горизонтальным расположением вала, В – с вертикальным. Рабочее колесо осевых насосов типа ОП состоит из втулки обтекаемой формы, на которой укреплены поворотные лопасти. Возможность изменения угла установки лопастей позволяет регулировать подачу жидкости и напор насоса в широких пределах при сохранении высоких значений КПД.

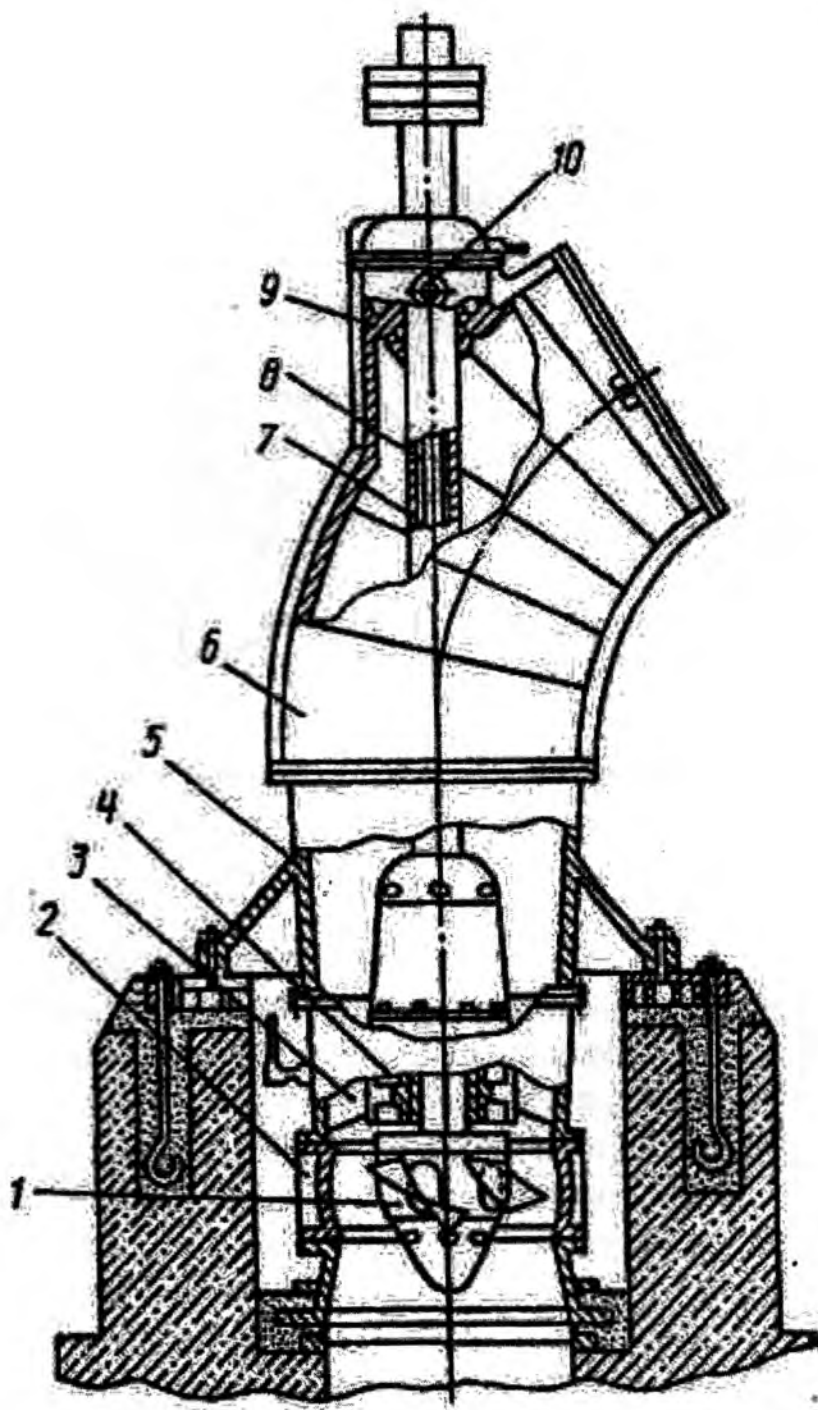


Рис. 2.2. Осевой насос типа ОП:

1 – рабочее колесо с поворотными лопастями; 2 – сферическая камера; 3 – спрямляющий аппарат; 4 – нижняя опора вала; 5 – диффузор с лапами для крепления к фундаментным плитам; 6 – корпус насоса; 7 – полый вал; 8 – шток привода механизма разворота лопастей; 9 – верхний направляющий подшипник; 10 – механизм поворота лопастей с ручным приводом

2.3. Трубопроводы

Внутренние трубопроводы насосных станций (**напорные и всасывающие** линии насосов, всасывающие и напорные коллекторы и др.) выполняются, как правило, из стальных труб. Напорные трубопроводы предназначены для подачи воды от насосных станций до водовыпускных сооружений или до мест отбора воды из системы водоподачи. Протяженность напорных трубопроводов может составлять от нескольких десятков метров до десятков километров. При большой протяженности напорных трубопроводов их стоимость может превышать стоимость насосной станции со всем оборудованием, поэтому особенно важен правильный выбор прочностных показателей трубопроводов, зависящих от материала и толщины стенок труб.

Напорные трубопроводы мелиоративных насосных станций прокладывают в основном из стальных, железобетонных (сборных и монолитных) и асбестоцементных труб. Чугунные *трубы применяют в мелиорации относительно редко* из-за высокой их стоимости и значительной массы. Не получили широкого распространения пока и пластмассовые трубы.

Сборные железобетонные трубы применяют при диаметрах 500-1600 мм и давлении до 1,5 МПа (при использовании труб со стальным сердечником давление может быть увеличено до 3 МПа). Монолитные железобетонные трубы применяют при давлении до 0,5 МПа и практически при любых диаметрах (обычно значительных).

Асбестоцементные трубы используют при диаметрах 100-500 мм и давлении в них до 1,5 МПа.

Стальные трубы можно использовать для любых диаметров и давлений, но в связи с дефицитностью стали их применяют лишь в тех случаях, когда другие трубы использовать нельзя. Все трубопроводы, кроме стальных, прокладывают только в грунте. Стальные трубопроводы могут быть проложены как в грунте, так и открыто.

Открытые стальные трубопроводы чаще всего проектируют разрезными; при этом на каждом прямолинейном участке трубопровода, опирающемся на промежуточные опоры между

двумя анкерными опорами, должен быть компенсатор. Засыпные стальные трубопроводы выполняют цельносварными без анкерных и промежуточных опор и компенсаторов.

Трасса должна проходить на устойчивых к оползанию участках местности. Трубопровод целесообразно прокладывать с непрерывным подъемом, участки с обратным уклоном допускаются как исключение. Для опорожнения напорных трубопроводов их необходимо прокладывать с уклоном не менее 0,001 по направлению к выпуску. Желательно избегать поворотов трассы трубопровода в плане и вертикальной плоскости. В переломных точках профиля трубопроводов во избежание скопления воздуха устанавливают вантузы.

Наружную поверхность стальных трубопроводов, проложенных в грунте, защищают от коррозии. Трубы диаметром 1200 мм и более нуждаются в защите и внутренних поверхностей. Тип противокоррозионной защиты зависит от степени коррозионной активности грунта и наличия блуждающих токов в зоне прокладки трубопроводов. Для защиты от воздействия блуждающих токов, а также от почвенной коррозии рекомендуют использовать электрохимический способ – катодную поляризацию.

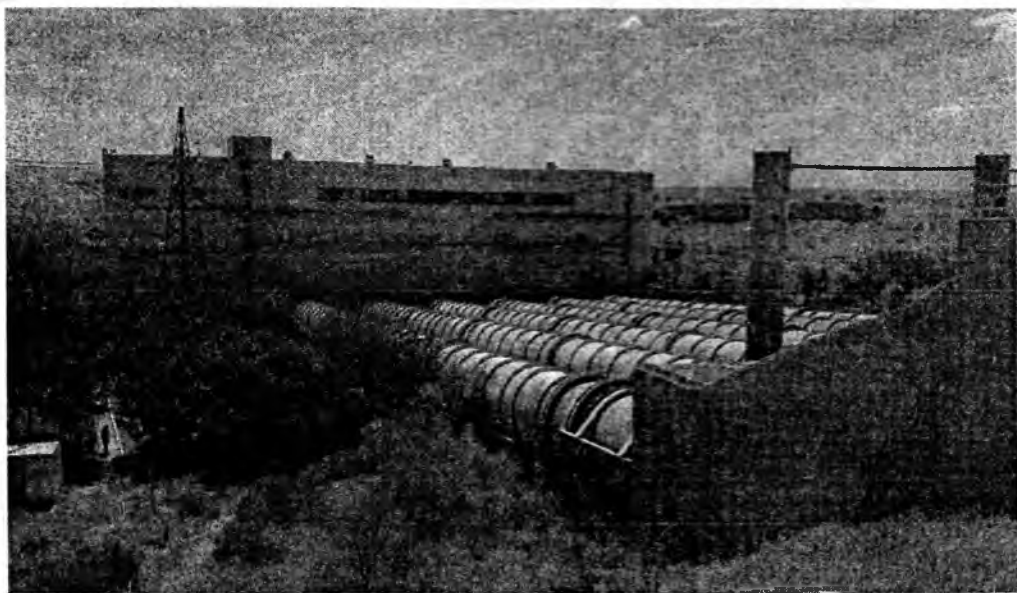


Рис. 2.3. Трубопроводы диаметром 3600 мм насосной станции КМК-1

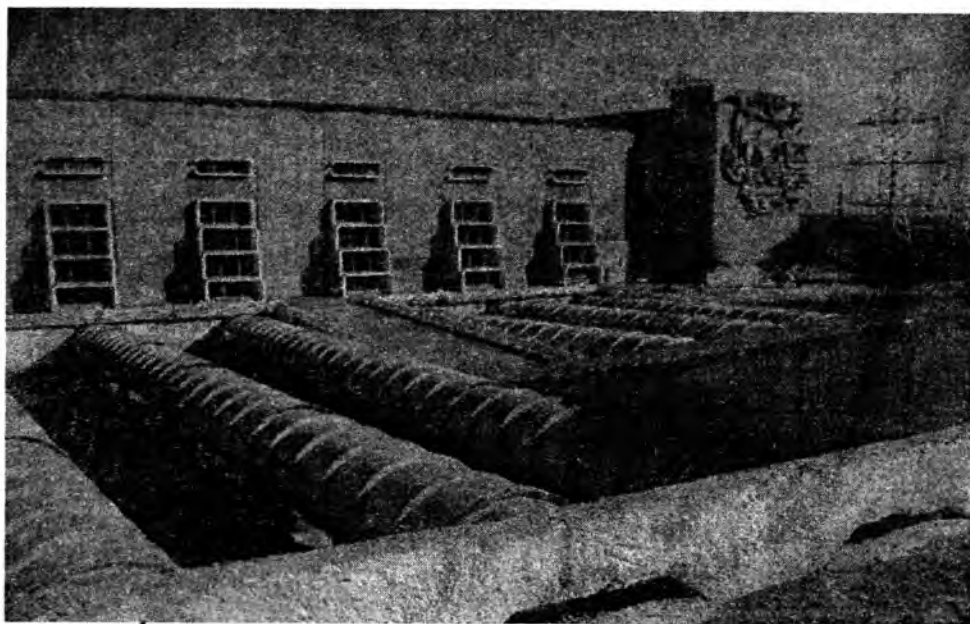


Рис. 2.4. Индивидуальные трубопроводы диаметром 2800мм насосной станции ДНС-1

Трубопроводная арматура

В качестве трубопроводной арматуры в насосных установках используются задвижки, затворы, обратные затворы (клапаны).

В зависимости от конструкции **задвижки** подразделяются на **параллельные** и **клиновые**. Задвижки большого диаметра, а также работающие с дистанционным и автоматическим управлением, оборудуются гидравлическими или электрическими приводами. Для уравнивания давления по обе стороны диска у крупных задвижек предусматривается обводная задвижка (байпас).

В качестве запорной и регулирующей арматуры используются затворы. Широкое распространение в последнее время получили **дисковые затворы**, которые оборудуются электрическими приводами.

Обратные затворы предназначены для того, чтобы воспрепятствовать опорожнению напорных трубопроводов и обратному вращению насоса после его остановки. Конструкции

обратных затворов различны: с замедленной посадкой, одно-дисковые, многодисковые, с противовесом и др.

Во время работы насоса под действием потока воды диск поворачивается на оси и вода проходит через затвор. После остановки насоса диск под действием собственного веса и давления воды со стороны напорного водовода опускается и затвор закрывается.

2.4. Режимы работы насосов и насосных установок

Режимы работы насосных установок существенно зависят от изменения режимов водопотребления.

Режим водопотребления обычно характеризуется **суточными, недельными и годовыми** графиками водопотребления.

На рис. 2.5. представлен примерный годовой график водоподачи насосной станции.

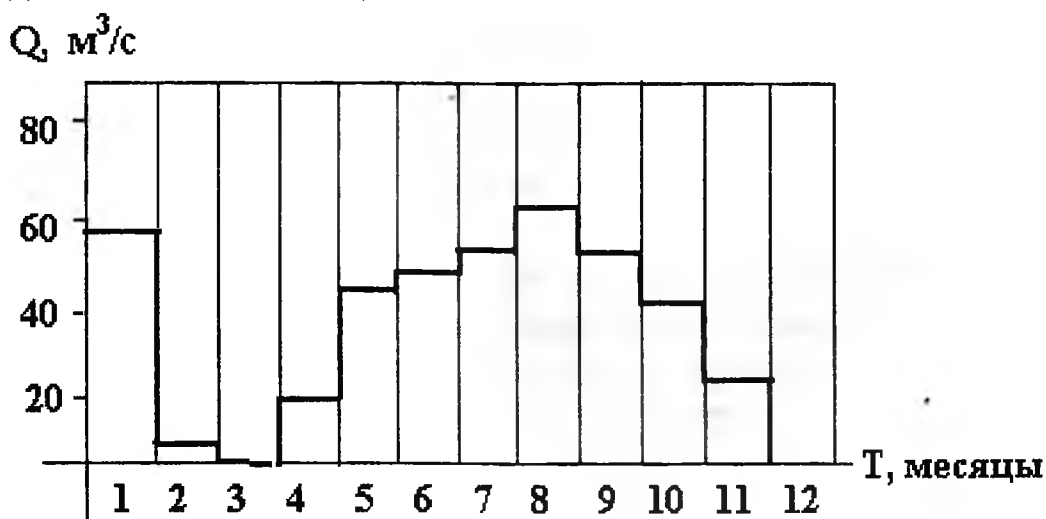


Рис. 2.5. Годовой график водоподачи насосной станции

Кроме того, режим водопотребления характеризуется кривой распределения подач, которая дает представление о диапазоне изменения водопотребления за тот или иной промежуток времени (месяц, год и т.п.) и длительности работы системы с тем или иным водопотреблением. Графики водопотребления характеризуются коэффициентами неравномерности.

Максимальный коэффициент неравномерности:

$$K_{\text{макс}} = Q_{\text{макс}} / Q_{\text{ср}}, \quad (2.1)$$

где $Q_{\text{макс}}$ – максимальное водопотребление;

$Q_{\text{ср}}$ – среднее значение водопотребления.

Минимальный коэффициент неравномерности:

$$K_{\text{мин}} = Q_{\text{мин}} / Q_{\text{ср}}, \quad (2.2)$$

где $Q_{\text{мин}}$ – минимальное водопотребление.

Диапазон колебания водопотребления характеризуется отношением $\lambda = Q_{\text{мин}} / Q_{\text{макс}}$, которое может быть также выражено через коэффициенты максимальной и минимальной неравномерности

$$\lambda = K_{\text{мин}} / K_{\text{макс}}. \quad (2.3)$$

Режим притока сточных вод характеризуется графиками притока, которые имеют вид, аналогичный графикам водопотребления, а также коэффициентами неравномерности.

Режим работы насосных установок промышленных предприятий определяется главным образом технологическим процессом предприятия.

При стабильном водопотреблении установки работают с постоянными значениями подачи и давления или напора, которые между собой связаны соотношением:

$H = p / \rho g$, где H – напор, м; p – давление насоса, Па; ρ – плотность жидкой среды, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

С ростом водопотребления подачу приходится увеличивать. При этом потери давления в трубах увеличиваются. Чтобы компенсировать эти потери, следует увеличить давление, развиваемое насосной установкой. **При уменьшении водопотребления** подача и давление должны быть уменьшены.

Приведение в соответствие водопотребления и подачи осуществляется в настоящее время чаще всего изменением

числа работающих агрегатов или степени открытия задвижек (затворов) на напорных линиях насосов и насосных установок.

Режим работы насосной установки, подающей воду потребителю, через аккумулирующую емкость (резервуар, водонапорную башню и т.п.), характерен тем, что в отдельные периоды времени подача насосной установки отличается от водопотребления. Если подача больше водопотребления, уровень воды в резервуаре поднимается, если меньше, уровень опускается.

Регулирование режима работы насосной установки, состоящей из одного агрегата, осуществляется включением агрегата при снижении уровня воды до заданного нижнего значения и отключением при достижении заданного верхнего значения. Затем цикл повторяется.

Если насосная установка состоит из нескольких агрегатов, режим ее работы отличается тем, что задается по несколько верхних и нижних уровней, при достижении которых изменяется число работающих агрегатов.

Число включений-отключений насосных агрегатов на насосных станциях с резервуарами достигает 40-50, а в ряде случаев 100 включений в сутки. Поскольку такое число включений для агрегатов большой мощности недопустимо, в насосных установках с агрегатами мощностью свыше 150 кВт вместо включений-отключений применяется **дресселирование** потока воды задвижкой.

Контроль за режимом работы насосной установки осуществляется с помощью различных измерительных устройств: **манометров, уровнемеров, расходомеров, счетчиков электроэнергии, амперметров** и т.д. Изменение режима работы насосной установки влияет на режим работы отдельных насосных агрегатов, из которых состоит установка.

2.5. Анализ режима работы насосных установок

Характеристиками насоса называются зависимости напора H , мощности N , коэффициента полезного действия η и допустимой вакуумметрической высоты всасывания $H_{\text{ВАС}}^{\text{доп}}$ или

кавитационного запаса $\Delta h_{\text{доп}}$ от подачи насоса Q при определенной частоте вращения рабочего колеса диаметром D .

Характеристики Q - H центробежных насосов описываются уравнением квадратичной параболы:

$$H_H = H_\Phi - S_\Phi Q^2, \quad (2.4)$$

где H_Φ – фиктивный напор при нулевой подаче, м; S_Φ – гидравлическое фиктивное сопротивление насоса, м·(с/л)².

При необходимости фиктивные параметры могут быть определены по каталожным данным насоса или по экспериментальным данным. Для этого следует определить координаты двух точек рабочей части напорной характеристики насоса. Двум точкам соответствуют значения напоров H_1 и H_2 , м, и подачи Q_1 и Q_2 , л/с, с учетом которых далее определяются значения фиктивных параметров насоса, м·(с/л)², при нулевой подаче:

$$S_\Phi = \frac{H_1 - H_2}{Q_2^2 - Q_1^2} \quad (2.5)$$

$$H_\Phi = H_1 + S_\Phi Q_1^2, \quad (2.6)$$

$$\text{или} \quad H_\Phi = H_2 - S_\Phi Q_2^2, \quad (2.7)$$

Значения фиктивного напора зависят от конструктивных параметров насоса. Отношение фиктивного напора к номинальному напору $H_\Phi^* = H_\Phi / H_6$, так же как и коэффициент быстроходности, дает представление о крутизне напорной характеристики насоса.

Для большинства наиболее распространенных центробежных насосов для обычной воды относительный фиктивный напор $H_\Phi^* \approx 1,25$, а для динамических насосов сточной жидкости $H_\Phi^* = 1,45$. Наибольшую крутизну имеют характеристики Q - H осевых насосов, для которых $H_\Phi^* = 2$.

Для анализа режима работы насосных установок с несколькими насосами, работающими параллельно или последовательно, используют суммарные характеристики этих насосов.

Контрольные вопросы к главе 2:

1. Опишите конструкции центробежных и осевых насосов.

2. Каковы основные отличия воздействия лопастей рабочего колеса на жидкость у центробежных и осевых насосов?

3. Как работает трубопроводная арматура насосных станций?

4. Что называется режимом работы насосной станции и в чем специфика крупных и малых насосных станций?

5. Приведите общие сведения об анализе режимов насосных станций.

Глава 3. РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

3.1. Регулирование режима работы насоса

Преднамеренное изменение подачи и напора насосов в соответствии с новым режимом работы системы называется **регулированием**.

Центробежные насосы регулируются **изменением степени открытия задвижки** на напорной линии. Прикрывая или открывая затвор, изменяют крутизну характеристики $Q-H$ трубопровода, которая зависит от его гидравлического сопротивления.

Подача насоса при заданной частоте вращения определяется не только его главной характеристикой, но и свойствами трубопроводной системы (сети), на которую он работает. В общем случае насос должен создавать напор, достаточный для повышения давления от p_1 в резервуаре на стороне всасывания до p_2 в резервуаре на стороне нагнетания, подъема жидкости на высоту H_r , равную разности геодезических высот между уровнями жидкости или точками измерения давления в резервуарах. Набор должен покрывать увеличение скорости движения жидкости, соответственно от v_1 до v_2 (скорости v_1 до v_2 измеряются в тех же точках, что и давления) и потери напора ΔH в подводящем и напорном трубопроводах, обусловленных гидравлическим сопротивлением.

Если давления p_1 и p_2 выражены в паскалях, то требуемый напор H_0 , получается в м. Напор, который определяется трубопроводной системой, равен:

$$H_c = H_r + \frac{p_2 - p_1}{g\rho} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \Delta H, \quad (3.1)$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; ρ – плотность жидкости, кг/м^3 .

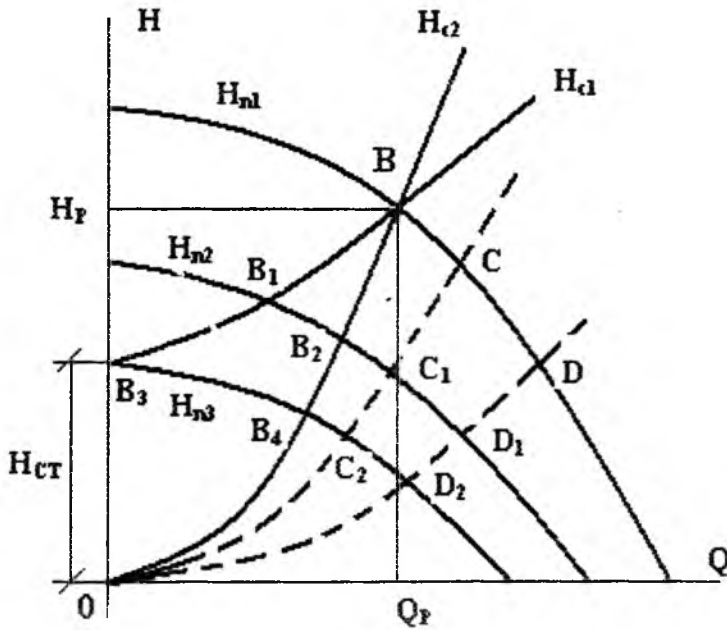


Рис. 3.1. Изменение главной рабочей характеристики насоса и положения рабочих точек при изменении его частоты вращения

Выражение (3.1) называется **характеристикой трубопровода**. Первое и второе слагаемые этого выражения не зависят от скорости движения жидкости, поэтому определяемый ими напор

$$H_r + (p_2 - p_1)/(g\rho) = H_{ст} \quad (3.2)$$

называется **статическим**. Третье и четвертое слагаемые зависят от скорости движения жидкости, поэтому соответствующий напор

$$\frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2g} + \Delta H = H_{дин} \quad (3.3)$$

называется **динамическим**. Таким образом, характеристику трубопроводной сети можно представить так:

$$H_C = H_{CT} + H_{дин} . \quad (3.4)$$

В осях Q-H характеристика трубопроводной сети представляет собой кривую, отсекающую на оси ординат отрезок H_{CT} (кривую H_{c1} на рис. 3.1).

При турбулентном движении жидкости суммарные потери напора в подводящем и напорном трубопроводах с достаточной точностью можно считать пропорциональными квадрату скорости движения жидкости и, следовательно, квадрату подачи:

$$\Delta H = KQ^2 . \quad (3.5)$$

где, K - коэффициент пропорциональности или характеристический коэффициент трубопровода (сети).

Скорости движения жидкости в резервуарах на сторонах всасывания и нагнетания в большинстве случаев малы, поэтому с учетом (3.2) выражение (3.1) можно представить в следующем виде:

$$H_C = H_{CT} + KQ^2 . \quad (3.6)$$

Влияние отдельных членов выражения (3.6) различно в зависимости от конструкции насоса.

Если и на стороне всасывания, и на стороне нагнетания резервуары с жидкостью находятся под атмосферным давлением (это имеет место, например, в системах водоснабжения), второй член выражения (3.1), определяемый разностью давлений воздуха в конце и начале трубопроводной системы, весьма мал и им можно пренебречь. Характеристика сети в этом случае представляет собой параболу, проходящую через начало координат (кривая H_{c2} на рис. 3.1).

При установившемся режиме работы насоса мощность, передаваемая потоку жидкости машиной, равна мощности, расходуемой в трубопроводной сети. Очевидно, равенство этих мощностей соблюдается только в точке пересечения Q-H характеристики насоса, соответствующей заданной скорости вращения (кривая H_{n1} на рис. 3.1), с характеристиками сети

(кривые H_{c1} и H_{c2}). Таким образом, точка В, в которой пересекаются указанные характеристики, полностью определяет установившийся режим работы насоса: напор H_p , расход Q_p , мощность на валу P_p и КПД η_p . Эта точка должна лежать на рабочем участке Q-H характеристики машины и называется **рабочей**.

3.2. Дроссельное регулирование центробежного насоса

Дроссельное регулирование центробежного насоса осуществляют дросселем (задвижкой), установленным на напорном трубопроводе. При закрытии дросселя характеристический коэффициент сети K , входящий в уравнение (3.6), увеличивается, характеристика сети становится более крутой (см. кривую H_{c2} на рис. 3.2) и рабочая точка машины, определяемая пересечением характеристики сети с главной рабочей характеристикой насоса, перемещается в сторону уменьшения расхода (точка B_1).

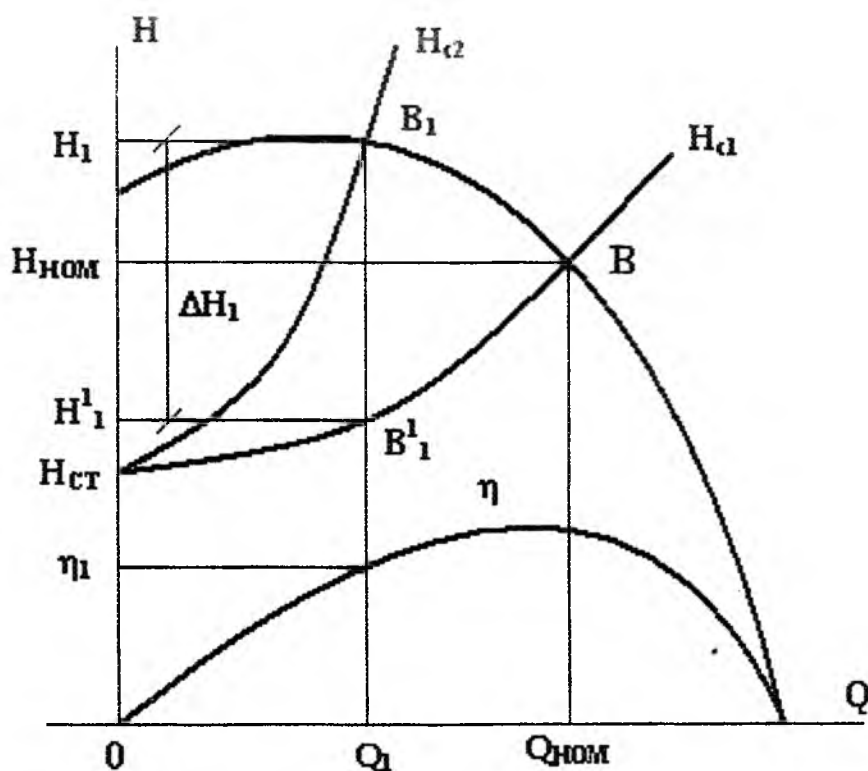


Рис. 3.2. Изменение напора и подачи центробежной машины при дроссельном регулировании ее производительности

Новой подачи Q_1 соответствует напор машины H_1 , хотя до закрытия дросселя для обеспечения той же подачи достаточен был напор H'_1 , определяемый точкой B'_1 на характеристике трубопроводной сети H_{C1} .

Таким образом, разность напоров $(H_1 - H'_1)$ представляет собой потерю напора (энергии) в дросселе. Очевидно, потеря мощности на дросселирование в долях от мощности на валу машины, работающей в номинальном (оптимальном) режиме, составляет:

$$\frac{\Delta P}{P_{\text{НОМ}}} = \frac{Q_1 \Delta H_1}{Q_{\text{НОМ}} H_{\text{НОМ}}} \frac{\eta_{\text{МАКС}}}{\eta_1} \quad (3.7)$$

С увеличением глубины такого регулирования возрастает потеря напора в дросселе и, следовательно, возрастают непроеизводительные потери мощности. Эти потери особенно велики при отсутствии противодавления. Следовательно, дроссельное регулирование подачи центробежных машин весьма неэкономично. Однако благодаря простоте и отсутствию каких-либо дополнительных устройств (задвижка необходима не только для регулирования подачи, но и для отделения машины от трубопроводной сети в периоды ее остановок) такое регулирование получило широкое применение, особенно для машин небольшой подачи, приводимых в движение асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором.

Для машин осевого типа дроссельное регулирование не применяется, поскольку уменьшение их подачи обычно сопровождается существенным увеличением мощности на валу и, следовательно, мощности, потребляемой приводным электродвигателем.

3.3. Регулирование насоса изменением частоты вращения

При изменении частоты вращения насоса изменяется положение характеристики $Q-H$ насоса. Уменьшая частоту вращения, перемещают характеристику вниз параллельно самой себе. Увеличение частоты вращения вызывает обратные

явления. Это способ регулирования **более экономичен**, но требует применения специального регулируемого электропривода, что усложняет и **удорожает** насосную установку.

Напорная характеристика центробежного насоса, работающего с переменной частотой вращения, описывается уравнением:

$$H = H_H \left(\frac{n}{n_H} \right)^2 - S \cdot Q_H^2 \quad (3.8)$$

где H – напор в начале трубопровода;

H_H – номинальный напор насоса;

n и n_H – переменное и номинальное значение частоты вращения насоса;

S – коэффициент гидравлического сопротивления напорного трубопровода.

Q_H – номинальная подача насоса.

Характеристика напорного трубопровода описывается зависимостью:

$$H = H_r + SQ^2 \quad (3.9)$$

H_r – геометрический напор;

Совместное решение уравнений (3.8) и (3.9) относительно параметра Q дает зависимость изменения подачи насоса от его частоты вращения

$$Q = Q_H \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{n}{n_H} \right)^2 - \frac{H_r}{H}}{1 - \frac{H_r}{H}}} \quad (3.10)$$

Принимаем номинальное значение подачи насоса:

$$\bar{Q} = \sqrt{\frac{n^2 - \eta_{mp}}{1 - \eta_{mp}}} \quad (3.11)$$

где $\bar{Q}$ – относительная подача, т.е. фактическая подача насоса, отнесенная к номинальному значению;

$\bar{n} = \frac{n}{n_H}$ – относительная частота вращения насоса, т.е. фак-

тическая частота вращения насоса, отнесенная к его номинальному значению;

η_{mp} – КПД трубопровода, т.е. отношение геометрической высоты подъема к манометрическому напору.

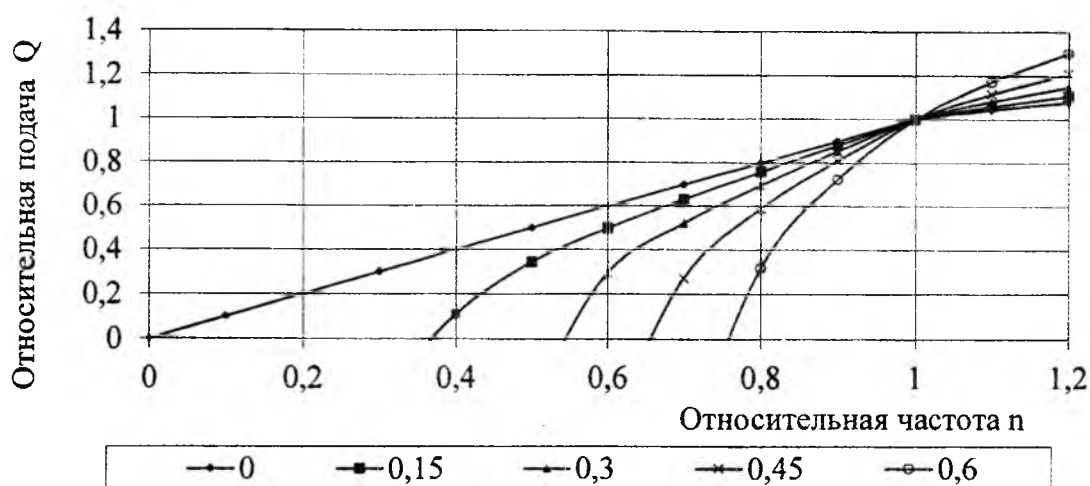


Рис. 3.3. Изменение подачи насоса от частоты вращения электродвигателя при различных значениях

КПД трубопровода η_{mp} :

1 – 0; 2 – 0,15; 3 – 0,30; 4 – 0,45; 5 – 0,60.

Кроме того, режим работы центробежных насосов может регулироваться с помощью **входного направляющего аппарата**, устанавливаемого на входе воды в насос, **впуском воздуха** в корпус насоса и другими способами.

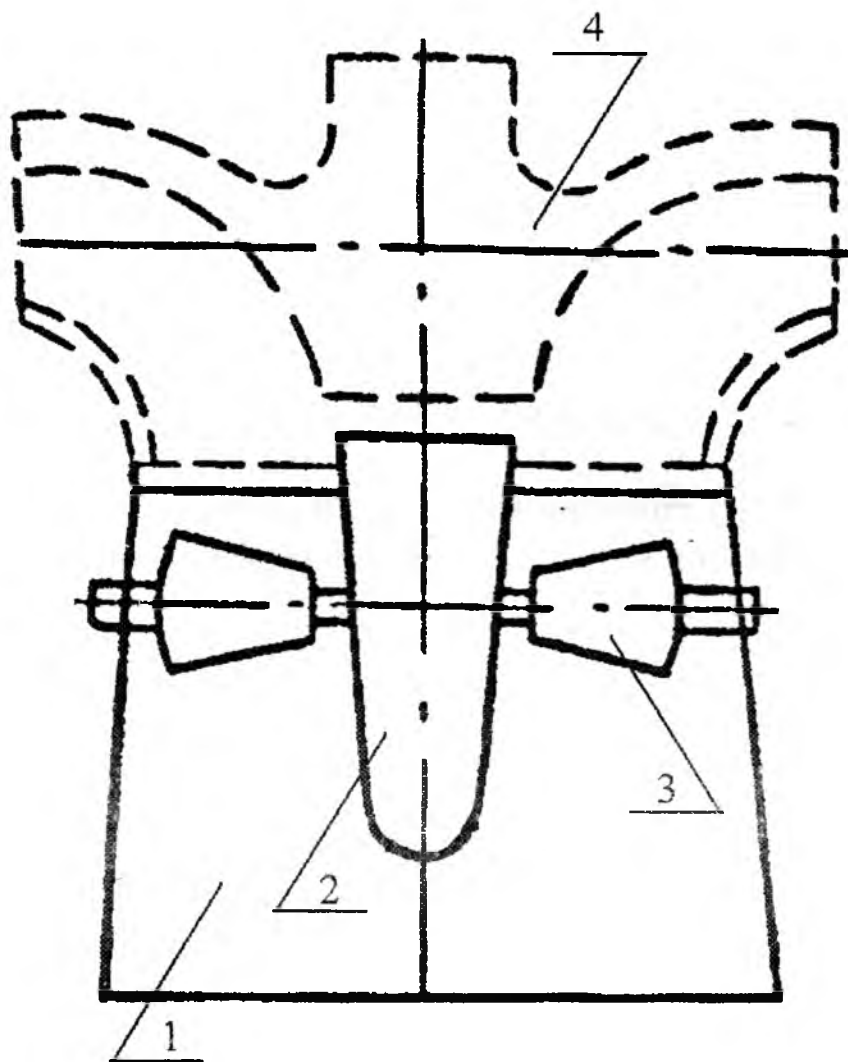


Рис. 3.4. Схема входного направляющего аппарата насоса 2400BP-25/25. 1- корпус, 2- обтекатель, 3- поворотные лопатки, 4 - рабочее колесо

3.4. Регулирование режима работы насоса с помощью перепускного устройства

Предложенный нами способ регулирования работы насосной станции заключается в том, что **производится перепуск части расхода жидкости** из одного напорного трубопровода в другой, которые объединяются между собой с помощью перепускной трубы с дроссельным устройством.

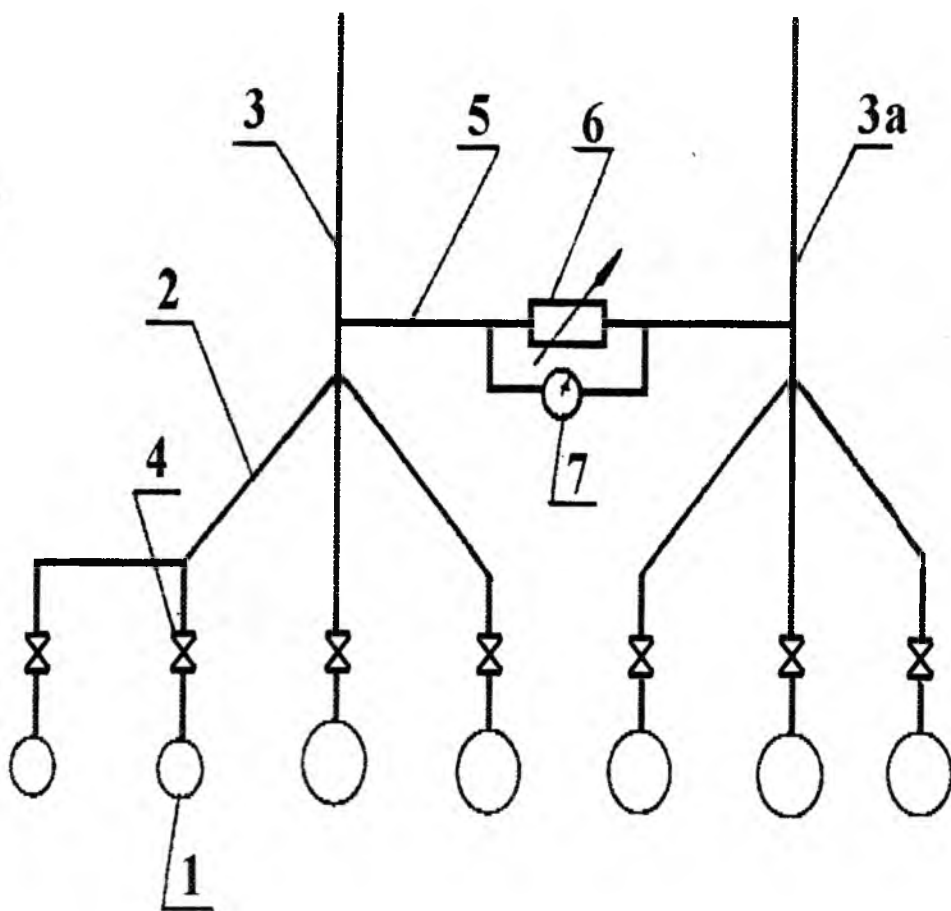


Рис. 3.5. Перепускное регулирующее устройство
 1 – насосные агрегаты; 2 – индивидуальные напорные трубопроводы; 3 и 3-а – общие напорные трубопроводы; 4 – дисковый затвор;
 5 – перепускная труба; 6 – дроссельное устройство;
 7 – дифманометр.

Анализ фактических режимов на ряде насосных станций показал, что **равномерную загрузку напорных трубопроводов не всегда удастся осуществить.**

Установлено, что на насосных станциях, **оборудованных двумя и более** параллельно расположенными длинными нитками напорного трубопровода, энергетически выгодными являются режимы с равномерной загрузкой напорных трубопроводов, т.е. при одинаковых подачах в них. На уровне изобретения для насосных станций разработано **энергосберегающее перепускное устройство.**

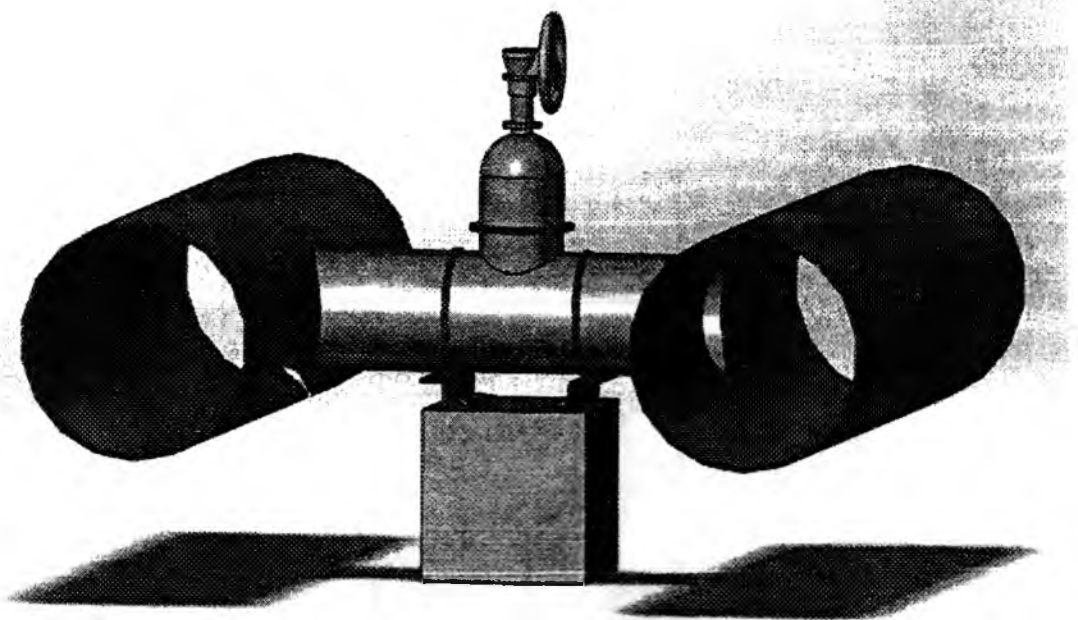


Рис. 3.6. Трехмерная модель перепускного устройства с дроссельным устройством

Потери энергии при подаче равного количества жидкости по двум ниткам напорного трубопровода с использованием перепускного устройства **всегда будут меньше или равны потерям** при подаче того же количества жидкости без перепускного устройства.

Сопоставим величины потерь энергии $h_l = \lambda \frac{l V^2}{d \cdot 2g}$ для каждого варианта: $h_{l1} + h_{l2}$ и $2h_{l1-2}$.

Докажем, что потери энергии при подаче равного количества воды по двум ниткам напорного трубопровода будут меньше или равны потерям при подаче того же количества воды без перепускного устройства:

$$\text{т.е. } h_{l1} + h_{l2} \geq 2h_{l1-2} \quad (3.12)$$

Обозначим постоянную величину $\lambda \frac{l}{d \cdot 2g}$ через a , тогда

$$a(V_1^2 + V_2^2) \geq 2a \frac{(V_1 + V_2)^2}{4}$$

или

$$2(V_1^2 + V_2^2) \geq (V_1 + V_2)^2 \quad (3.13)$$

преобразуя выражение (6), получим:

$$(V_1 - V_2)^2 \geq 0 \quad (3.14)$$

Так как любое число, возведенное в квадрат, **положительно или ноль**, то предположение, что

$$h_{l1} + h_{l2} \geq 2h_{l1-2}$$

можно считать доказанным.

Для осуществления равномерной загрузки напорных трубопроводов и регулирования подачи насосной станции Научно-производственным предприятием «Водоподъемник» был разработан **способ изменения подачи насосной станции**. Сущность его заключается в том, что производится перепуск части расхода жидкости из одного напорного трубопровода в другой, которые объединяются между собой с помощью перепускной трубы с дроссельным устройством.

Регулирование подачи осуществляется путем изменения гидравлического сопротивления дроссельного устройства, а величина изменения подачи определяется по показаниям дифманометра, измеряющего перепад давления в параллельных напорных трубопроводах в месте установки перепускной трубы.

Основное принципиальное отличие способа регулирования перепуском от частотного регулирования электропривода и регулирования направляющим аппаратом на входе заключается в том, что в данном случае регулирование происходит в сторону увеличения подачи насосной станции.

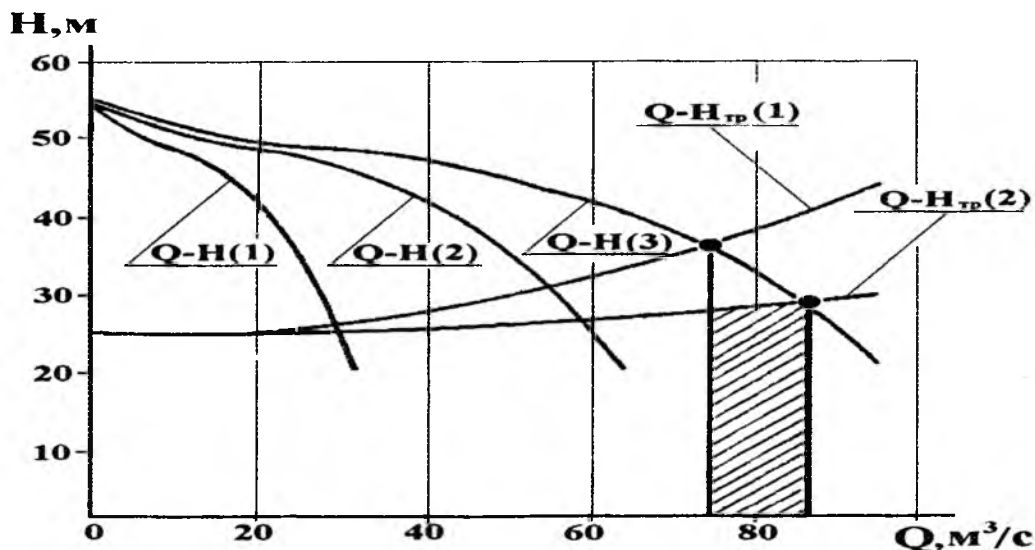


Рис. 3.7. Способ регулирования подачи насосной станции перепуском

Для регулирования подачи насосной станции используется наличие перепадов давления в началах общих напорных трубопроводов насосной станции, возникающих вследствие разных потерь в трубопроводах.

При закрытых дроссельных устройствах, когда не будет осуществляться перепуск по перепускной трубе из одного общего напорного трубопровода в другой, каждый насосный агрегат будет работать на свой напорный трубопровод. Суммарная подача насосной станции будет равна сумме расходов жидкости в каждом напорном трубопроводе.

Если дроссельное устройство полностью открыть, то изменится характеристика сети, а, следовательно, изменятся рабочие точки насосов.

Расходы насосных агрегатов при полностью открытых или закрытых дроссельных устройствах будут являться **диапазоном регулирования подачи**. Чем больше разница в расходах жидкости в напорных трубопроводах (при закрытых дроссельных устройствах на напорных трубопроводах), тем больше диапазон регулирования.

Изменение подачи на заданную величину по показаниям дифманометра осуществляют по следующей зависимости:

$$\Delta Q = Q_{\max} \sqrt{\frac{H_3 - H_o}{H_3 - H_o}} \quad (3.15)$$

где ΔQ , $Q_{\max}$ – изменение подачи насосной станции иско-
мое и максимально возможное; H_3 , H_o , H_o – показания дифма-
нометра при закрытом, промежуточном и открытом дрос-
сельном устройстве.

Таким образом, при различных расходах в трубопроводах
суммарные потери энергии на преодоление сил трения в напор-
ных трубопроводах при закрытых дроссельных устройствах
будут всегда больше, чем потери при протекании того же рас-
хода жидкости при перепуске, т.е. при полностью открытых
дроссельных устройствах.

**При этом определено, что энергосбережение может со-
ставлять от 5 до 20%.**

Контрольные вопросы к главе 3:

1. Перечислите основные способы регулирования режи-
мов работы насосов и насосных станций.

2. Какие способы регулирования режимов работы насосов
и насосных станций можно отнести к экономичным, а какие к
неэкономичным?

3. Какие преимущества имеет способ изменении частоты
вращения электропривода насоса по сравнению с дроссельным
регулированием?

4. В чем заключается способ регулирования работы
насосной станции с помощью перепускного устройства?

5. Какое основное принципиальное отличие способа регу-
лирования перепуском от частотного регулирования электро-
привода и регулирования направляющим аппаратом на входе?

Глава 4. ОСОБЫЕ ЯВЛЕНИЯ НА НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ

4.1. Высота всасывания насосов

Рассмотрим установку с центробежным насосом.

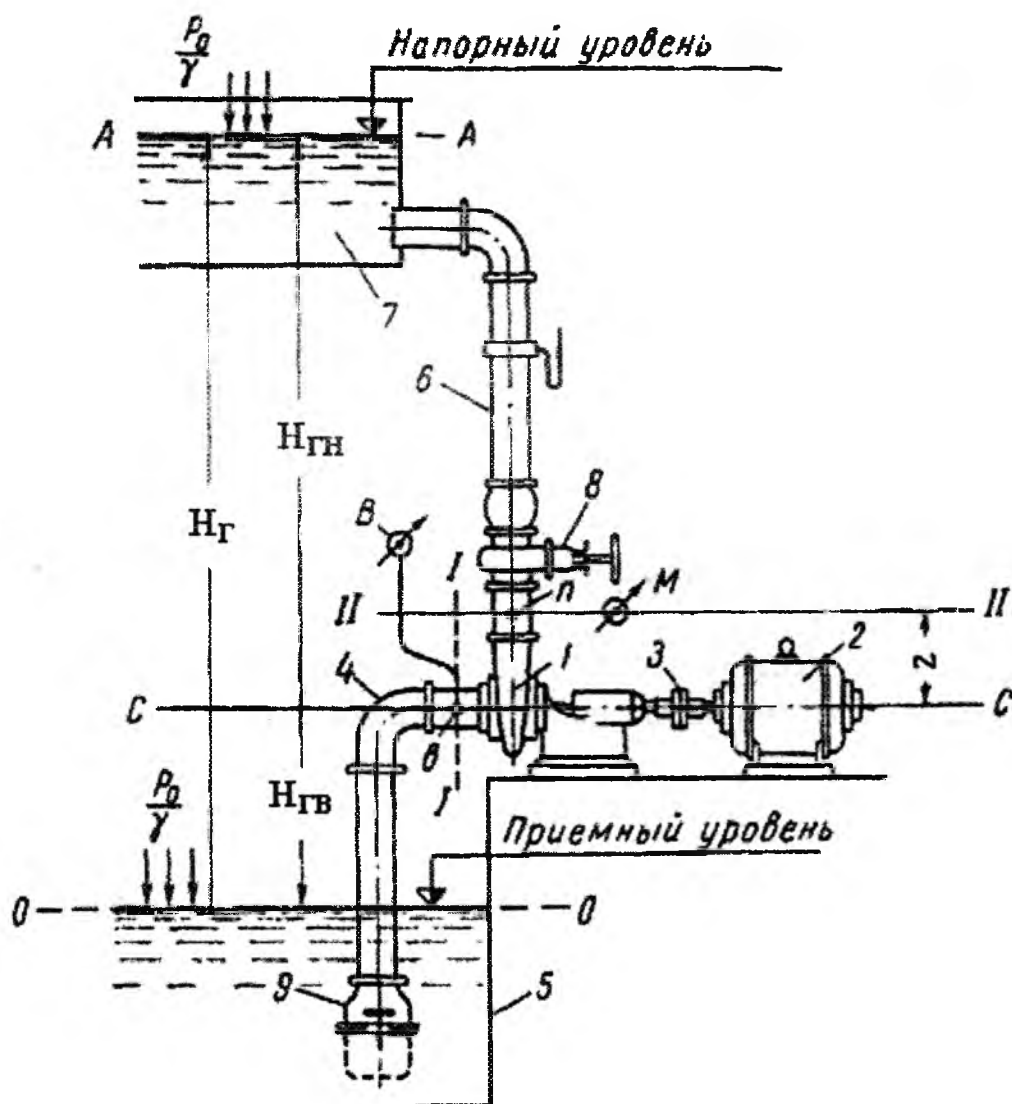


Рис. 4.1. Установка с центробежным насосом

1 – насос; 2 – двигатель; 3 – передача; 4 – всасывающий трубопровод; 5 – приемный резервуар; 6 – напорный трубопровод; 7 – напорный резервуар; 8 – задвижка; 9 – обратный клапан

Для того, чтобы можно было поднять жидкость с уровня О-О, лежащего ниже оси насоса, насос должен создавать у входа на лопатки рабочего колеса абсолютное давление $\frac{P_1}{\gamma}$, которое меньше атмосферного – разрежение, или вакуум.

Тогда под действием атмосферного давления $\frac{P_0}{\gamma}$, а точнее за счет разности давлений $\frac{P_0}{\gamma}$ и $\frac{P_1}{\gamma}$ (именуемой вакуумметрической высотой всасывания $H_{\text{вак}}$) происходит всасывание, то есть подъем жидкости до центра насоса.

Кроме преодоления геометрической высоты $H_{\text{ГВ}}$, необходимо затратить часть $H_{\text{вак}}$ на создание в нем скорости $v_{\text{в}}$ и преодоление гидравлических сопротивлений $h_{\omega\text{В}}$ по пути движения.

$$H_{\text{вак}} = \frac{P_0 - P_1}{\gamma} = H_{\text{ГВ}} + h_{\omega\text{В}} + \frac{v_{\text{в}}^2}{2g}, \quad (4.1)$$

Из этого уравнения можно определить высоту установки насоса над низшим уровнем жидкости в приемном резервуаре:

$$H_{\text{ГВ}} = H_{\text{вак}} - h_{\omega\text{В}} - \frac{v_{\text{в}}^2}{2g}. \quad (4.2)$$

Величина $H_{\text{вак}}$ для каждого насоса различна. При расчете геометрической высоты всасывания конкретного насоса эту величину следует принимать по каталогу. Остальные члены уравнения определяются гидравлическими расчетами.

Вакуумметрическую высоту всасывания определяют на заводах опытным путем, она приводится в каталогах при $\frac{P_0}{\gamma} = 10$ м.вод.ст. (техническая атмосфера) и температуре перекачиваемой жидкости 20° С.

Поэтому при работе насоса в других условиях необходимо в каталожные данные вводить поправки и определять так называемую допустимую вакуумметрическую высоту всасывания $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ по формуле:

$$H_{\text{вак}}^{\text{доп}} = H_{\text{вак}}^{\text{кат}} + \left(\frac{P_0}{\gamma} - 10 \right) - (h_{\text{пж}} - h_{\text{пж}, t=20^\circ}), \quad (4.3)$$

где $\frac{P_0}{\gamma}$ – м вод. ст., барометрическое давление в пределах 11,3–10, $h_{\text{пж}}$ – упругость паров жидкости в м вод. ст. при температуре перекачиваемой воды 10–100 °С в пределах 0,12–0,33.

В таком случае **допустимая геометрическая высота всасывания** центробежного насоса будет равна

$$H_{\text{зв}}^{\text{доп}} = H_{\text{вак}}^{\text{доп}} - h_{\omega B} - \frac{v_B^2}{2g}. \quad (4.4)$$

4.2. Кавитация в насосах

При работе лопастных насосов при входе на лопатки рабочего колеса обычно создается давление $\frac{P_1}{\gamma}$, меньшее атмосферного (разрежение). Величина его, как видно из уравнения:

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_0}{\gamma} - H_{\text{ГВ}} - h_{\omega B} - \frac{v_B^2}{2g} \quad (4.5)$$

определяется величиной атмосферного давления, геометрической высотой всасывания, скоростью потока, а, следовательно, и гидравлическими сопротивлениями.

Если давление при входе на рабочее колесо лопастного насоса $\frac{P_1}{\gamma}$ по какой-либо причине упадет до давления, равного упругости пара перекачиваемой жидкости, то в потоке, особенно в отмеченных ранее местах наибольшего снижения давления, будут образовываться разрывы, то есть пустоты, заполняемые парами и газами, выделяющимися из этой жидкости. Такой процесс нарушения сплошности течения потока, напоминающий бурное кипение жидкости, называется **кавитацией**.

Кавитация - нарушение сплошности потока жидкости, сопровождаемое образованием пузырьков, заполненных парами жидкости, газами или их смесью.

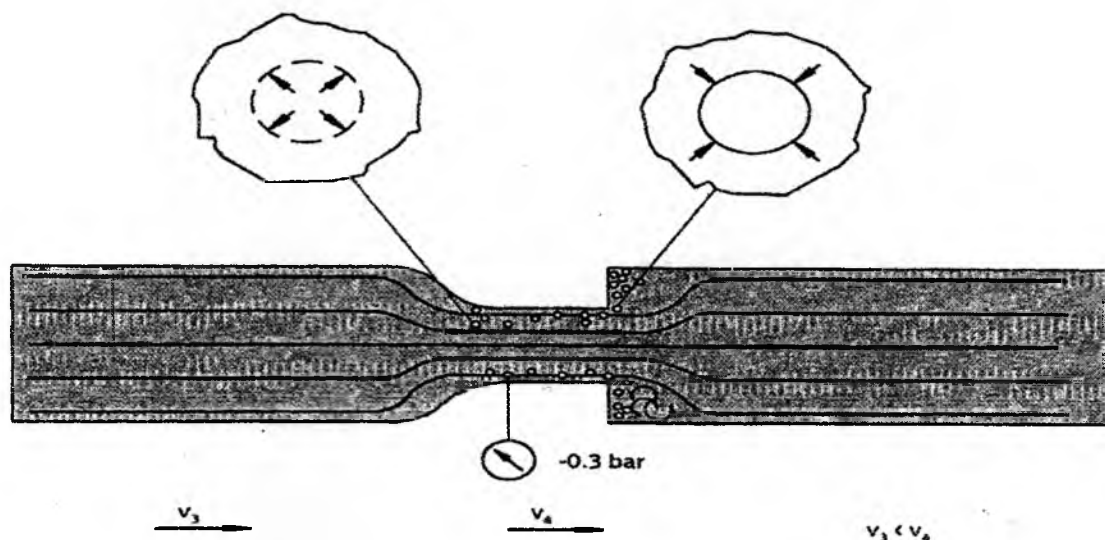


Рис. 4.2. Явление кавитации в трубопроводе

Явление кавитации сопровождается дополнительными потерями энергии и **разрушением поверхностей рабочего колеса и корпуса насоса**. Образовавшиеся в жидкости паровоздушные пузырьки уносятся потоком в область повышенного давления, где происходит конденсация пара. До конденсации гидростатическое давление жидкости, окружающей паровоздушный пузырек, уравнивается внутренним противодействием пара и газа.

4.3. Кавитационная эрозия насосов

При конденсации занимаемый паром объем мгновенно уменьшается до небольшого объема конденсата и оставшегося разреженного газа; поэтому частицы жидкости, не встречая противодействия, приходят в движение и ускоренно движутся к центру пузырька.

Там они сталкиваются, вызывая **мгновенное местное повышение давления**. Это повышение особенно велико, если конденсация пузырька происходит на шероховатой и трещино-

ватой поверхности, когда частички жидкости проникают в углубления и трещины подобно клину.

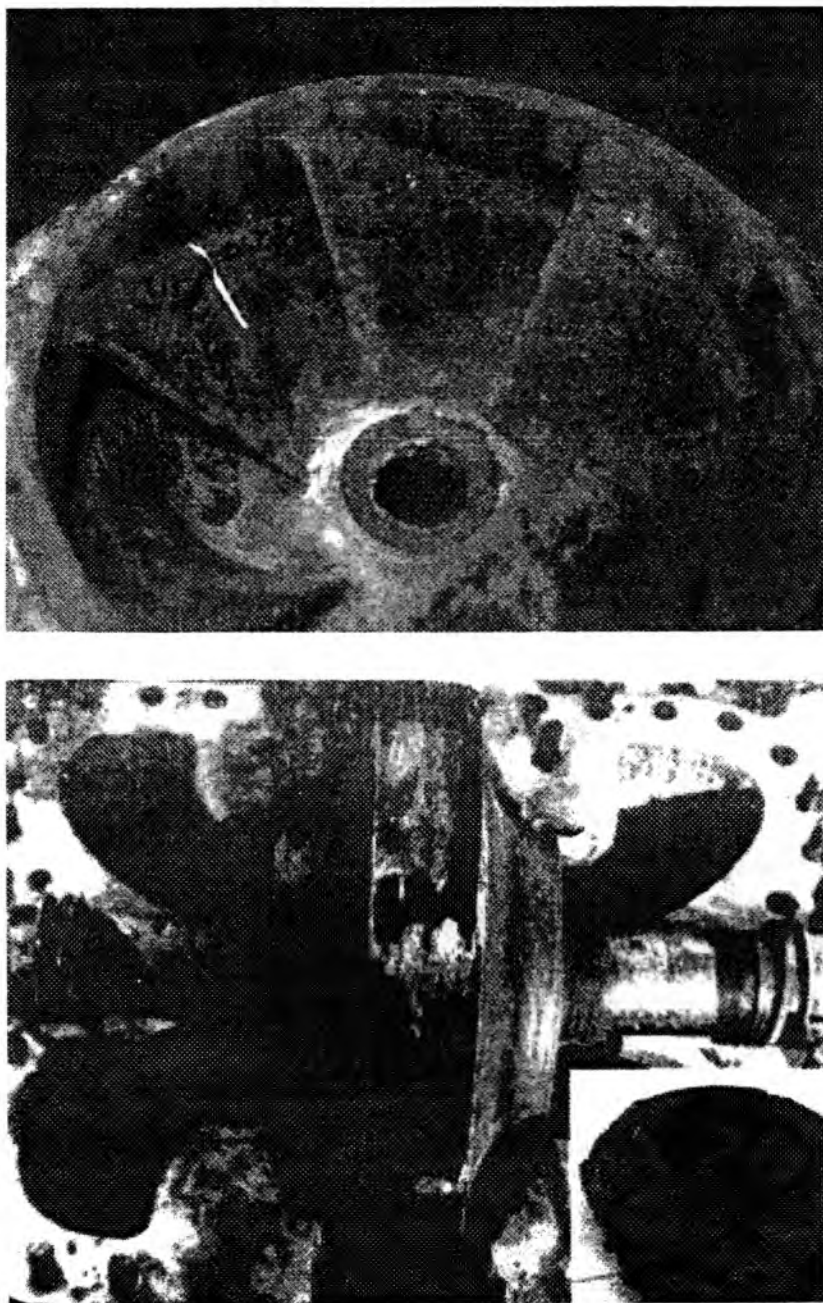


Рис. 4.3. Примеры кавитационной эрозии насосных установок

В этом случае **повышение давления достигает тысяч атмосфер** и сопровождается **откалыванием кусочков металла** с лопаток или других элементов рабочего колеса и некоторой (иногда даже опасной) вибрацией всего насоса. Описанный ме-

ханический процесс разрушения рабочих колес носит название **кавитационной эрозии**.

Коррозия в насосах

Из разнообразного состава атмосферного воздуха наибольшей растворимостью в воде отличается **кислород**; поэтому газы, выделяющиеся в зоне пониженного давления, в основном представлены кислородом. Наличие большой концентрации кислорода, а также непрерывное удаление защитной пленки окислов при механическом разрушении поверхности металла способствуют явлению - **коррозии**. Разрушение гладких поверхностей начинается главным образом с химического разрушения, а механическая эрозия начинается позже, когда поверхность станет шероховатой.

Шум и вибрация при кавитации

Кроме этих явлений при кавитации возникают **специфический шум**, потрескивание, отдельные удары. Интенсивность этих шумов характеризует интенсивность процесса кавитации.

В результате местного повышения давления оставшийся после конденсации пара воздух сильно сжимается и подобно демпферу накапливает энергию. Сжатый воздух начинает быстро расширяться, сопровождается микровзрывом, поэтому наблюдаются такие специфические звуковые эффекты.

Из вышеизложенного следует, что **кавитация представляет нежелательное, а в отдельных случаях опасное явление**, приводящее к разрушению рабочих органов насоса, поэтому надо стремиться к предупреждению этого явления.

Для нормальной работы насосов (нормального всасывания) необходимо, чтобы минимальное абсолютное давление в области входных кромок лопаток рабочего колеса p'_{min} превышало упругость паров жидкости $p_{пж}$ при данной температуре, то есть

$$p'_{min} > p_{пж}.$$

При этом необходимо учитывать возможное увеличение подачи насосов. В случае повышения относительной скорости потока в колесе, увеличиваются явления вихреобразования с отрывом потока от лопаток и, в конечном счете, происходят кавитационные разрушения.

Не следует также допускать увеличение числа оборотов насоса без должной проверки, так как при этом возрастает его водоподача, а вместе с ней увеличивается и опасность кавитации.

Необходимо обращать внимание на правильное конструирование водоприемной части насосных установок.

В том случае, если действующая насосная установка работает в условиях кавитации, необходимо, прежде всего, выяснить причины, порождающие кавитацию, то есть **установить причины понижения давления в проточной части рабочего колеса.** Повысить давление в насосе иногда удастся путем подведения некоторой части жидкости из напорного трубопровода в область входного патрубка насоса по специально устроенной обводной линии.

4.4. Прочие особые явления на насосных станциях

К особым явлениям насосных станций можно отнести:

работу насоса в неустойчивой зоне характеристики, в так называемом режиме «седла» или «помпаж»;

при «потере привода» — отключении двигателя насоса от сети без отключения напорного водовода от верхнего бьефа;

пуск насоса при закрытом клапане срыва вакуума в сифонном водовыпуске и т.д.

Указанные режимы **не являются обязательными при эксплуатации насосной станции**, однако они встречаются вследствие гидравлического удара при пуске насоса, ухудшении действительных характеристик насосов вследствие неисправностей, возникающих в энергосистеме и непосредственно на насосной станции; ошибок эксплуатационного персонала и, наконец, из-за недоучета возможных колебаний нижнего бьефа насосной станции.

Контрольные вопросы к главе 4:

1. Как определяется допустимая геометрическая высота всасывания центробежного насоса?
2. Объясните явление кавитации в насосах.
3. Перечислите негативные проявления кавитации в насосах.
4. Какие причины приводят к коррозии насосов?
5. Какие необязательные режимы возникают при эксплуатации насосной станции?

Глава 5. ВЗАИМОСВЯЗЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ НА НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ

Как показывает мировой опыт эксплуатации, подавляющее число аварий на насосных станциях происходит во время электромеханических или гидромеханических неустановившихся процессов, когда в системе возникают наибольшие динамические нагрузки.

5.1. Последствия аварийных гидромеханических переходных процессов при незапланированных погашениях электроэнергии

Наиболее неблагоприятные последствия возникают при переходных процессах, связанных с внезапным аварийным отключением основных насосных агрегатов. При этом возникает наибольший **гидравлический удар** в напорном трубопроводе и наибольшая **угонная скорость** отключенных агрегатов.



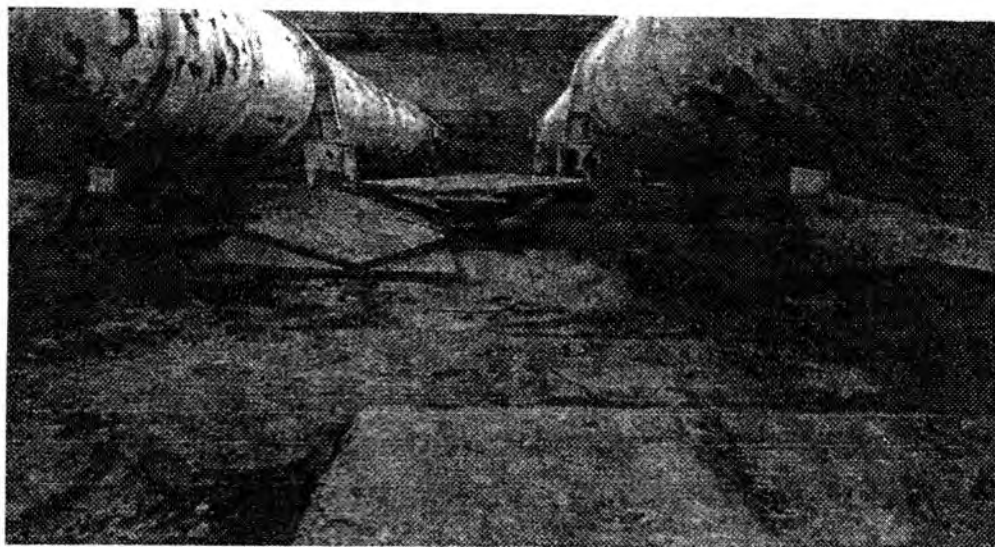


Рис. 5.1. Аварийный разрыв трубопровода на пятом трубопроводе насосной станции № 5 КМК

На современном этапе создались следующие **предпосылки** для глубокого исследования и формализации взаимного влияния электромеханических и гидромеханических неустановившихся процессов:

1. Старение оборудования и сооружений большинства насосных станций, спроектированных на срок службы в 25 лет, а работающих уже по 40 лет и более.

2. Участвовавшие плановые и внеплановые погашения электроэнергии.

3. Развитие систем частотного регулирования электропривода.

В.И. Виссарионовым разработана теория и методы обоснования параметров оросительных насосных станций. Гидравлический переходный процесс в том случае, когда учитывается упругость воды и стенок напорных водоводов, описывается следующими уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{c^2}{gf} \cdot \frac{\partial Q}{\partial x} &= 0 \\ \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{gf} \cdot \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\lambda}{2Df^2 g} Q|Q| &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (5.1)$$

где H – напор в сечении трубопровода;

x – расстояние по оси трубопровода от начала координат до данного сечения;

Q – расход в сечении трубопровода;

f – площадь поперечного сечения трубопровода;

D – диаметр трубопровода;

c – скорость распространения волны гидравлического удара по трубопроводу.

При наличии короткого водопроводящего тракта гидравлический переходный процесс описывается уравнением неустановившегося движения несжимаемой жидкости в жестком водоводе:

$$H = H_r + \frac{8Q|Q|}{\pi^2 g} \left(\sum_j^n \frac{\xi_j}{D_j^4} + \sum_j^n \frac{\lambda_j l_j}{D_j^5} \right) + \frac{dQ}{dt} \cdot \frac{1}{g} \int_L \frac{dL}{f(L)} \quad (5.2)$$

где H – напор насоса;

H_r – геометрический напор;

ξ_j, λ_j – коэффициенты потерь напора местные и по длине j -го участка;

l_j, D_j – длина и диаметр j -го участка водовода;

n – число участков водовода, заполненных водой;

Q – подача насоса;

L – координата оси трубопровода.

Уравнение механического переходного процесса, записывается в виде:

$$2\pi J \frac{dn}{dt} = M_d - M_r - M_T, \quad (5.3)$$

где M_d – вращающий момент двигателя;

M_r – гидравлический момент насоса;

M_T – момент трения в опорах;

n – частота вращения.

Для определения гидравлического момента M_r можно использовать четырехквadrантную характеристику насоса в виде

зависимостей между приведенными расходом $\bar{Q}$, частотой вращения $\bar{n}$ и гидравлическим моментом $\bar{M}_r$:

$$\bar{Q} = \frac{Q}{D_1^2 \sqrt{g|H|}}; \bar{n} = \frac{nD_1}{\sqrt{g|H|}}; \bar{M} = \frac{M_r}{\gamma|H|D_1^3}; \quad (5.4)$$

где D_1 – диаметр рабочего колеса насоса;
 γ – удельный вес воды.

Электромеханические переходные процессы в синхронном двигателе до шин с напряжением U_1 можно описать уравнениями Парка – Горева, совместно с уравнением механического переходного процесса, например в форме:

$$\left. \begin{aligned} \omega_s(1+s)\Psi_d - p\Psi_q - \omega_s\rho_q x_q I_{qd} &= \omega_s U_{1q} \\ \omega_s(1+s)\Psi_q - p\Psi_d - \omega_s\rho_d x_d I_{dq} &= -\omega_s U_{1d} \\ p\Psi_r + \omega_s\rho_r E_q &= \omega_s\rho_r E_r \\ p\Psi_{rd} + \omega_s\rho_{rd} E_{rd} &= 0 \\ p\Psi_{rq} + \omega_s\rho_{rq} E_{rq} &= 0 \\ p\delta &= \omega_s s \end{aligned} \right\} \quad (5.5)$$

во внешней сети до шин мощной энергосистемы с напряжением U :

$$\left. \begin{aligned} x_{BH} pI_{d_{BH}} + \rho_{BH} \omega_s I_{d_{BH}} + \omega_s(1+s)x_{BH} I_{d_{BH}} &= \omega_s U_{1q} + \omega_s U \sin \delta \\ x_{BH} pI_{q_{BH}} + \rho_{BH} \omega_s I_{q_{BH}} + \omega_s(1+s)x_{BH} I_{d_{BH}} &= \omega_s U_{1q} + \omega_s U \cos \delta \end{aligned} \right\} \quad (5.6)$$

где $\Psi_d, \Psi_q, \Psi_r, \Psi_{rd}, \Psi_{rq}$ – потокосцепления обмоток статора, ротора, продольного и поперечного контуров соответственно;

$\rho_d, \rho_q, \rho_r, \rho_{rd}, \rho_{rq}, \rho_{BH}$ – декременты затухания токов в статорных и роторных контурах двигателя, внешней сети;

x_d, x_q – синхронные индуктивные сопротивления по продольной и поперечной осям машины;

$x_{вн}$ — индуктивное сопротивление внешней цепи;

$I_{dд}, I_{qд}, I_{dвн}, I_{qвн}$ — продольная и поперечная составляющие токов статора и внешней цепи;

p — символ дифференцирования;

δ — угол между осью эквивалентного двигателя и вектором напряжения шин бесконечной мощности;

s — скольжение;

ω_s — синхронная угловая частота вращения.

При формализации взаимного влияния вышеперечисленных переходных процессов на насосных станциях необходимо соблюдать ограничения:

- 1) по нагреву обмоток;
- 2) на величину напряжений в рабочем колесе насоса;
- 3) на величину давления в трубопроводе.

Точно выполнить указанные критерии можно лишь путем совместного имитационного моделирования электромагнитных, механических и гидравлических переходных процессов.

Фактически при расчетах уравнения Парка — Горева заменяются статической пусковой характеристикой электродвигателя. Весьма приближенно учитываются гидравлические переходные процессы: предполагается, что M_T зависит только от n . Необходимы специальные исследования для оценки границ правомерности подобных упрощений. Применительно к насосу предположение о зависимости гидравлического момента только от частоты вращения справедливо лишь при условии изогональности насосных режимов, в общем же случае значение M_T зависит от двух параметров (n и Q , либо n и H , либо Q и H). Если же рассматривать упругий гидроудар, то здесь колебания давления в трубопроводе будут сопровождаться еще более сложным характером изменения M_T . Точно так же может возникнуть значительная погрешность и из-за применения статической пусковой характеристики двигателя, так как при этом не будут учтены переходные процессы в цепях ротора.

Существенно, что без специальных упрощений даже в отдельности каждая из приведенных выше математических моделей процессов различной физической природы требует при

расчетах применения численных методов. Совместное же имитационное моделирование – еще более сложная задача.

5.2. Метод разделения быстрых и медленных процессов

Переходные режимы электроэнергетических систем, связанные с электромагнитными процессами такие как короткие замыкания протекают за доли секунды.

Режимы, связанные с электромеханическими и гидромеханическими процессами могут продолжаться десятки секунд или несколько минут.

Этот фактор требует выполнение подбора уравнений элементов по соответствующим параметрам для их стыковки.

Возможность разделения движений системы на быстрые и медленные возникает тогда, когда в дифференциальных уравнениях постоянные времени имеют различный порядок.

Общая математическая модель для расчета аварийных режимов учитывала медленные процессы, в том числе с учетом распределенности параметров таких протяженных объектов, как ЛЭП, трубопроводы насосных станций, колебания роторов вращающихся машин, а также процессы в гидромеханических частях вращающихся агрегатов.

5.3. Уравнения электромеханических и гидромеханических переходных процессов насосных станций

В общую систему, входят следующие уравнения:

-уравнения движения несжимаемой жидкости в трубопроводе:

$$H_i - H_{i-1} + l_0 L_{yч} \frac{dQ_i}{dt} + r_0 L_{yч} Q|Q| = 0, \quad (5.7)$$

$$\frac{dH_i}{dt} + c_0 \frac{1}{L_{yч}} (Q_i - Q_{i-1}) = 0 \quad (5.8)$$

- уравнения движения агрегата, включающий насос и электрический привод:

$$\text{синхронного двигателя: } T_{JC} \frac{d^2\delta}{dt^2} = M_{ДВ} - M_{МЕХ}, \quad (5.9)$$

$$\text{асинхронного двигателя: } T_{JA} \frac{ds}{dt} = M_{ДВ} - M_{МЕХ}, \quad (5.10)$$

- уравнения электрических моментов двигателя насоса:

$$\text{синхронного: } M_{ДВ} = \frac{E_q U_c}{X_{d\Sigma}} \sin\delta + \frac{U^2}{2} \frac{(X_d - X_q)}{X_{d\Sigma} X_{q\Sigma}} \sin 2\delta, \quad (5.11)$$

$$\text{асинхронного: } M_{ДВ} = M_{ДВ}^M \frac{2(1+s_{kp})}{\frac{s}{s_{kp}} + \frac{s_{kp}}{s} + 2s_{kp}}, \quad (5.12)$$

гидравлический момент насоса:

$$M_{МЕХ} = M_{Г} - M_{ТР}, \quad M_{Г} = \frac{\rho \eta Q H}{\omega}, \quad M_{ТР} = (0,03 - 0,07) M_{Г} \text{sign}(n); \quad (5.13)$$

- уравнение регуляторов возбуждения синхронного двигателя:

$$T_e \frac{dE_{qe}}{dt} = E_{q0} - E_{qe} + v, \quad T_p \frac{dv}{dt} = e - v, \quad (5.14)$$

$$e = \sum_{i=1}^m (K_{0\Pi} \Pi_i + K_{1\Pi} \frac{d\Pi_i}{dt} + K_{2\Pi} \frac{d^2\Pi_i}{dt^2}), \quad (5.15)$$

$$\text{причем } e_{\min} \leq e \leq e_{\max} \quad (5.16)$$

Приведенные уравнения позволили исследовать переходные режимы насосных агрегатов при различных аварийных и эксплуатационных режимах: при изменении напряжения на шинах, аварийном отключении синхронного двигателя, авариях, связанных с насосом или в трубопроводе и т.д.

Для решения приведенных уравнений используются соответствующие математические выражения, связывающие между собой параметры режима. К ним относятся выражения, связывающие величину момента с расходом и напором насоса. Величины активной и реактивной мощностей синхронного двигателя связываются с напряжением на шинах и ЭДС возбуждения. Разработан алгоритм поэтапного решения электромеханических и гидромеханических переходных процессов, выявления и расчета гидравлического удара в трубопроводах насосных станций. Блок схема алгоритма представлена на рис. 5.2.

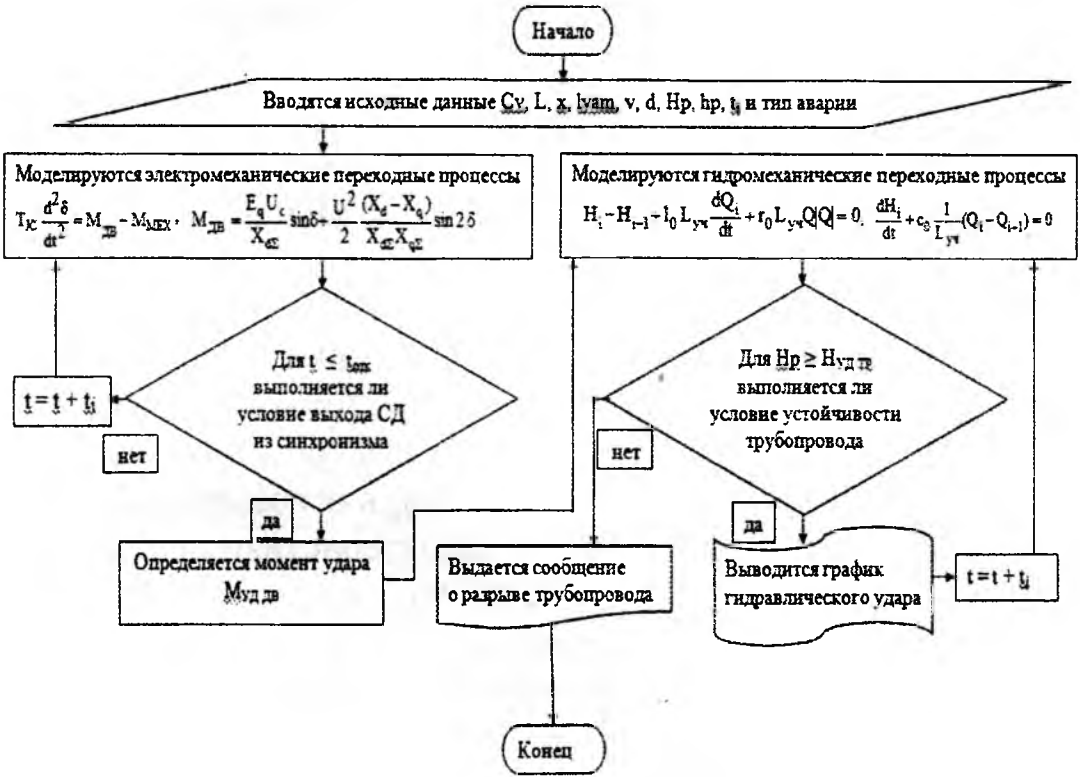


Рис. 5.2. Блок схема алгоритма поэтапного решения электромеханических и гидромеханических переходных процессов насосных станций

Приведенная система уравнений позволяет исследовать переходный режим насосного агрегата при различных аварийных и эксплуатационных режимах: при изменении напряжения на шинах, аварийном отключении синхронного двига-

теля, авариях, связанных с насосом или в трубопроводе и других.

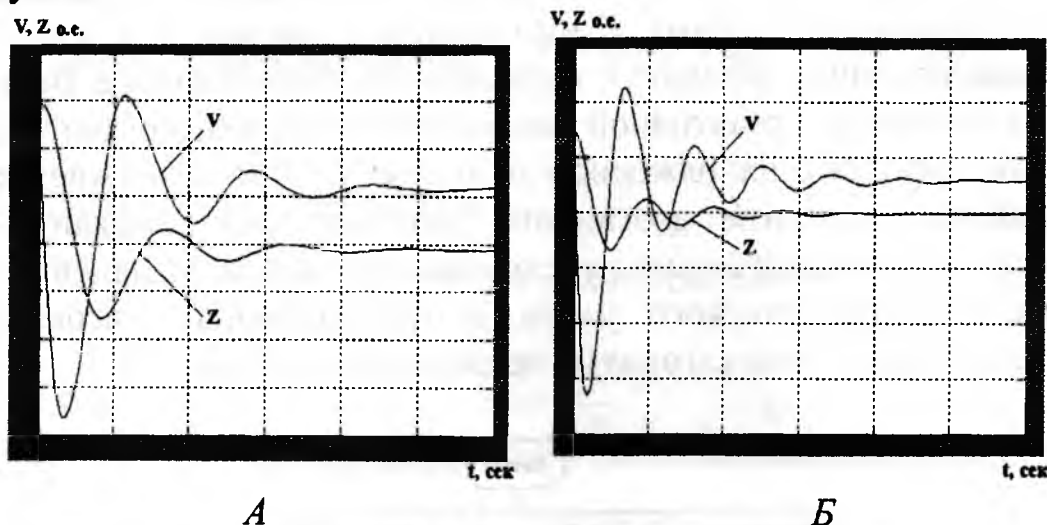
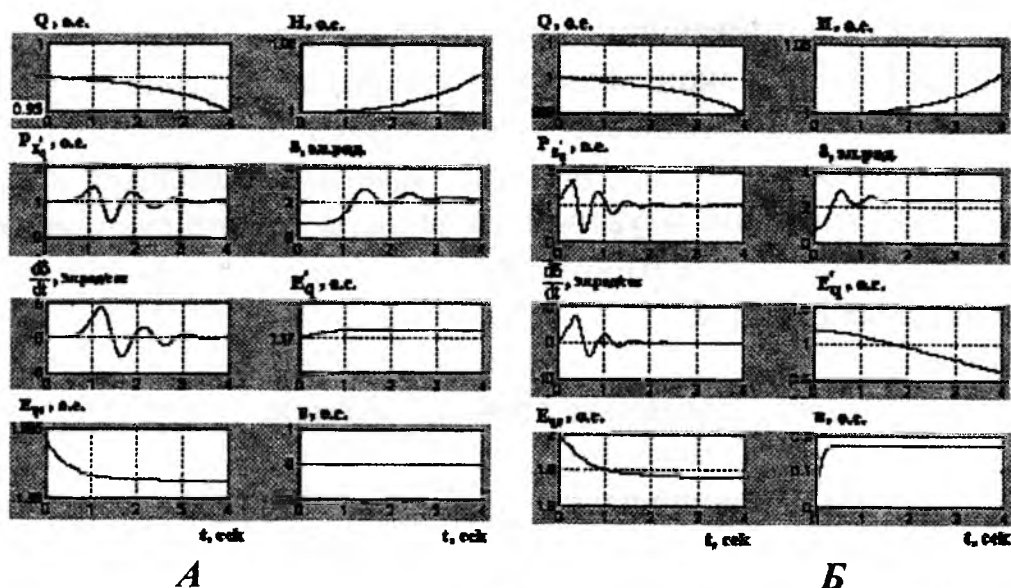


Рис. 5.3. Переходные гидромеханические процессы для тракта «трубопровод - верхний бьеф». Расчеты проведены при следующих параметрах: А) $L=1500 \text{ м}$, Б) $L=500 \text{ м}$

Совместное решение уравнений (5.7)-(5.16) позволило провести комплексный анализ переходных режимов системы «трубопровод - насос - электро-двигатель - электрическая сеть».

Определено, что одним из тяжелых режимов является снижение напряжения на шинах станции, в особенности на шинах системы. На рис. 4 приведены характеристики переходных процессов при снижении напряжения на шинах системы на 2%. Анализ показывает, что снижение напряжения на шинах системы более чем на 8% приводит к выходу синхронного двигателя из синхронизма.

Из приведенных кривых видно, что характер протекания гидромеханических переходных процессов несколько меняется, а именно – расход снижается, в то время как напор повышается. Это объясняется тем, что движущая сила – вращающий момент машины снижается, а увеличение напора связано с инерционностью движения потока.



А) АРВ СД отключен $K_{OU}=0$; Б) АРВ включен, $K_{OU} = 5$ ед.
 Рис. 5.4. Переходные электро- и гидромеханические процессы при понижении напряжения на шинах системы на 2%.

Рассмотрены случаи скачкообразного уменьшения мощности синхронного двигателя (рис. 5.5): на 15% – устойчивость агрегата сохраняется, при этом электромеханические процессы затухают быстро, а гидромеханические процессы продолжаются около 140 с; на 30% – агрегат попадает в режим длительных колебаний; на 50% – приводит к нарушению устойчивости двигателя и выходу его из синхронизма.

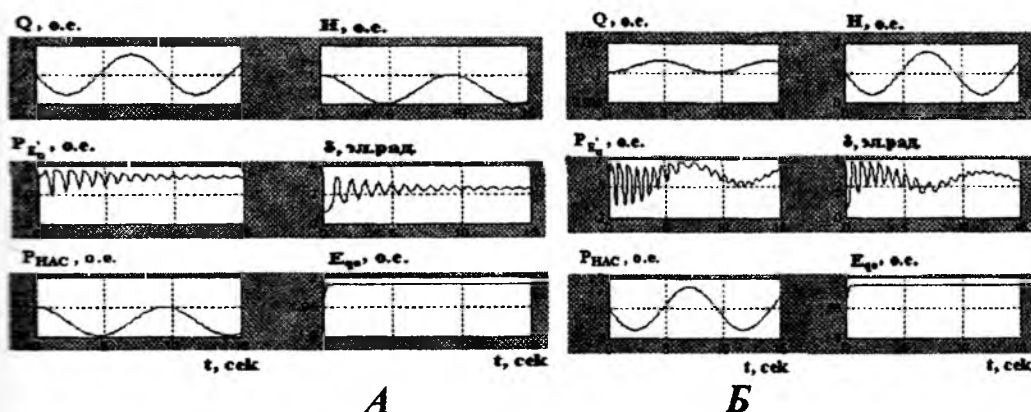


Рис. 5.5. Переходные процессы при скачкообразном изменении нагрузки на валу агрегата: А – мощность двигателя уменьшается на 15%, Б - мощность двигателя уменьшается на 30%.

Аварии, возникающие при гидравлических ударах, наносят существенный экономический ущерб, вследствие затрат на их ликвидацию и перерывов в подаче воды потребителям, связанных с ремонтом. В связи с этим важным становится вопрос разработки способов и устройств защиты от гидравлического удара основного энергетического оборудования и трубопроводов насосных станций.

Контрольные вопросы к главе 5:

1. Каковы предпосылки изучения взаимного влияния электромеханических и гидромеханических переходных процессов на насосных станциях?

2. Какие допущения и ограничения учитываются при математическом моделировании взаимного влияния электромеханических и гидромеханических переходных процессов на насосных станциях?

3. В чем заключается метод разделения быстрых и медленных переходных процессов?

4. Какие уравнения электромеханических и гидромеханических переходных процессов насосных станций входят в общую систему переходных режимов насосных агрегатов при различных аварийных и эксплуатационных режимах?

5. Какие аварийные режимы возможны на насосных станциях?

Глава 6. СПОСОБЫ И УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА ОСНОВНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

6.1. Аварийные электромеханические и гидромеханические переходные процессы на насосных станциях

В настоящее время изучение переходных процессов при отключении насосных агрегатов производится в основном для следующих двух случаев:

1. Определение величины давления в трубопроводе при гидравлическом ударе, сравнение ее с допустимыми величинами, принятие в случае необходимости мер по снижению величины гидравлического удара.

2. Определение величин разгонных оборотов при обратном вращении рабочих колес.

Наихудшие результаты для обоих случаев имеют место при отключении всех насосных агрегатов, работающих на общую нитку напорного трубопровода.

Исследованиями, было установлено, что, если в водоводе возможно образование разрыва сплошности потока, то расчет неустановившегося движения необходимо производить с учетом гидравлического удара в трубопроводе.

Гидравлический удар характеризуется резким повышением давления в напорном трубопроводе, вызываемым свойствами жидкости при быстрых изменениях скорости движения жидкости. Гидравлический удар представляет собой колебательный процесс с чередованием резких повышений и понижений давления. Он возникает чаще всего вследствие быстрого закрытия или открытия запорных устройств. Давление в трубопроводе возрастает до значений, в несколько раз превышающих номинальные, что может привести к разрушению трубопровода или его арматуры.

При плановом отключении питания электродвигателей работающих насосов, инерционный напор будет образовываться от действия сил инерции столба жидкости в напорном трубопроводе. Действие инерционного напора во время переходного процесса вызовет понижение давления в начале общего напорного трубопровода.

Величина инерционного напора в напорных трубопроводах может быть соизмерима с геометрической высотой подъема насосной станции. Тогда при аварийных отключениях агрегатов давление в начале общего трубопровода может снизиться до нуля и даже стать ниже атмосферного. Длительность процесса понижения давления в первую очередь будет зависеть от величины подачи насосных агрегатов до момента планового отключения и может составить от нескольких секунд до нескольких минут.

На насосных станциях возможны случаи планового отключения не всех насосных агрегатов, работающих на общую нитку трубопровода, а только их части. Практика эксплуатации показывает, что отключение одного трансформатора – довольно частое явление. Как показал анализ таких отключений, они, в основном, происходят во время пуска насосного агрегата. Неудавшийся пуск приводит к сработке защит и отключению всей секции шин или трансформатора.

Оставшийся в работе насос изменит свой режим работы вследствие понижения давления в начале общего трубопровода. Его рабочая точка может значительно сместиться в сторону увеличения подачи, и насос может попасть в зону сильно развитой кавитации. При этом образование и «схлопывание» кавитационных зон будет сопровождаться значительными пульсациями давления, а также вибрацией основного оборудования станции и его напорного трубопровода.

Опыт эксплуатации гидравлических систем показывает, что резкие колебания давления (гидравлические удары) могут привести к разрушению сети, поломкам трубопроводной арматуры, насосов и даже к полному выходу из строя насосных станций.

Аварии, возникающие при гидравлических ударах, наносят существенный экономический ущерб, вследствие затрат на их ликвидацию и перерывов в подаче воды потребителям, связанных с ремонтом. В связи с этим важным становится вопрос разработки способов и устройств защиты от гидравлического удара основного энергетического оборудования и трубопроводов насосных станций.

Гидравлическим ударом называется резкое повышение давления в напорном трубопроводе, вызываемое свойствами жидкости при быстрых изменениях скорости движения жидкости. Гидравлический удар представляет собой колебательный процесс с чередованием резких повышений и понижений давления. Он возникает чаще всего вследствие быстрого закрытия или открытия запорных устройств. Давление в трубопроводе возрастает до значений, в несколько раз превышающих номинальное, что может привести к разрушению трубопровода или его арматуры.

Эффективными устройствами защиты от гидравлического удара в основном оборудовании и трубопроводах насосных станций могут стать два устройства:

1. Перепускное устройство.
2. Устройство пропорционального управления дисковым затвором насоса.

6.2. Перепускные устройства как средство защиты от гидравлического удара

Способы защиты напорных трубопроводов от гидравлического удара можно разделить на два типа: сброс воды из трубопроводов при повышении давления и впуск воды или воздуха при снижении давления ниже атмосферного для предотвращения разрывов сплошности потока.

Установка перепускного устройства на напорных трубопроводах позволяет уменьшить величину повышения давления при гидравлическом ударе.

Проанализируем характер протекания гидравлического удара на насосных станциях, оборудованных перепускным

устройством, соединяющим две или более нитки напорных трубопроводов.

При повышении давления в одной из ниток, при открытом перепуске, будет осуществляться сброс воды в соседние, а при понижении давления происходить обратный процесс – переток жидкости из соседних трубопроводов.

Рассмотрим схему расчета гидравлического удара на насосных станциях при работе перепуска.

Расчеты переходных процессов в напорных системах водоподачи связаны в первую очередь с решением задач неустановившегося движения воды в трубопроводах.

Уравнение неустановившегося движения воды в трубопроводах принимается в следующем виде:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + g \frac{\partial H}{\partial v} + v \frac{\partial v}{\partial x} + \lambda \frac{|v|v}{2d} = 0 \quad (6.1)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + v \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{a^2}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad (6.2)$$

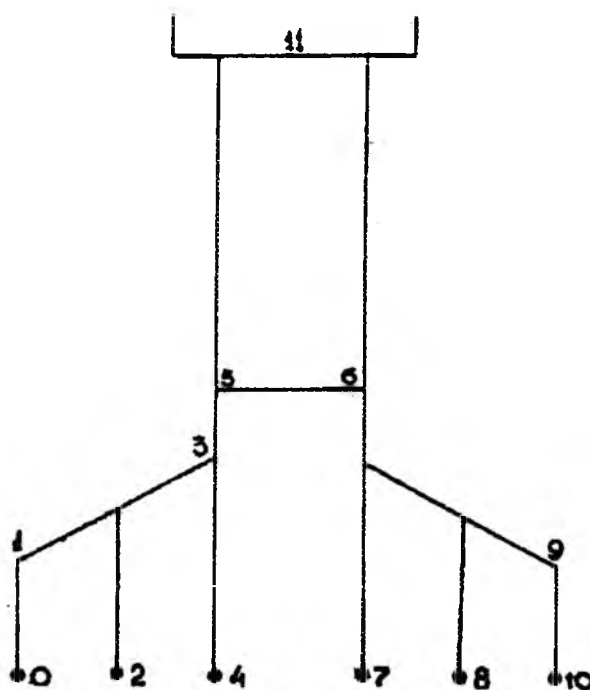
где H , v , x – напор, скорость движения воды и координата рассматриваемой точки;

a – скорость распространения ударной волны;

d – диаметр трубопровода;

λ – коэффициент сопротивления на трение по длине трубопровода.

Эти уравнения квазилинейные и прямого решения не имеют. Поэтому решение осуществим численным методом. Прежде чем приступить к решению необходимо подготовить расчетную схему напорной системы водоподачи. На рисунке 6.1 представлена такая схема для решаемой задачи. Каждая напорная система насосной станции включает: источник питания или в общем случае несколько источников питания (в нашем случае это насосные агрегаты), трубопроводы и водовыпуски. Все эти элементы представлены в расчетной схеме.



*Рис. 6.1. Расчетная схема напорной системы насосной станции:
0, 2, 4, 7, 8, 10 – насосы; 1, 3, 9 – места изменения диаметра трубопровода;
5, 6 места установки перепускного устройства;
11 – водовыпуск*

При переходных процессах изменяются следующие параметры насоса: подача Q , напор H и частота вращения n . Зависимости между Q и H определяются напорной характеристикой насоса $H-Q$.

Момент на валу насоса M_n можно получить, пересчитав каталожные значения мощности N по формуле

$$M_n = (975/n) N \quad (6.3)$$

где n – частота вращения в рассматриваемый момент времени, мин^{-1} .

Нами принята форма характеристик насосов, предложенная К. П. Вишневым. При этом используются четырехквандратые характеристики насоса $H/\beta^2 = f_1(Q/\beta)$ и $M/\beta^2 = f_2(Q/\beta)$, полученные на основе теории подобия насосов (где β –

относительная частота вращения ротора, n – частота вращения при номинальном режиме работы насоса).

Преимущество практического использования характеристик в этих координатах несомненно, так как для номинального режима работы насоса при $\beta = 1$ характеристика $H/\beta^2 - Q/\beta^2$ превращается в обычную каталожную характеристику $H - Q$.

Далее приведем граничные условия изменения стационарных процессов работы насосов, когда планово отключаются параллельно работающие насосные агрегаты, при работе перепускного устройства.

При плановом отключении параллельно работающих насосных агрегатов неизвестными величинами будут H_{0j} , v_{0j} , M_{nj} , β_j .

Для нахождения этих величин используем следующие формулы:

$$H_{0,j} = H_{0,0} + \varphi_{0,j} + \psi_{0,(1),j}, \quad (6.4)$$

$$v_{0,j} = v_{0,0} + \frac{g}{a}(\varphi_{0,j} - \psi_{0,(1),j}) \quad (6.5)$$

где φ и ψ – величины повышения или понижения давления соответственно от прямых и обратных волн гидравлического удара.

Так как $Q_j = 0$, $v_{0j} = 0$, то $\varphi_{0,j} = \psi_{0,(1),j} - \frac{av_{0,j}}{g}$,

При этом:

$$\beta_j = \beta_{j-1} + \Delta\beta_j = \beta_{j-1} + \frac{375}{n \cdot GD^2} \left(\frac{M_{n,j} + M_{n,j-1}}{2} \right)$$

где $\Delta\beta_j$ – приращение частоты вращения;

GD^2 – каталожная инерционная характеристика ротора насосного агрегата.

Учитывая приведенные выше зависимости, характеристики насоса примут следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{H}{\beta_j} &= f_1 \left(\frac{Q_j}{\beta_j} \right) \\ \frac{(M_{n,j} - M_{тр})}{\beta_j^2} &= f_2 \left(\frac{Q_j}{\beta_j} \right) \end{aligned} \right\} \quad (6.6)$$

где $M_{тр}$ – момент трения насоса в гидравлических и механических системах.

В нашем случае, при определении расчетных величин надо учитывать перепускное устройство, где происходит перераспределение потока воды. Поэтому принимаем, что в i -ом. узле напорного трубопровода, в месте установки перепускного устройства, осуществляется отбор воды из одного трубопровода в другой, при этом давление в узле i полностью, затрачивается на потери напора, обусловленные гидравлическим сопротивлением этого устройства:

$$H_{i,j} - Z_i = S_{ci} Q_{ci,j}^2 \quad (6.7)$$

где Z_i – разность отметок напорных трубопроводов в месте установки перепускного устройства;

S_{ci} – гидравлическое, сопротивление перепускного устройства, в i -ом узле;

Q_{ci} – расход воды через устройство.

Обозначив начальный расход, отбираемый через перепускное устройство до возникновения переходного процесса $Q_{ci,0}$, получаем формулы для определения Q_{ci} и ψ_{ij}

$$Q_{ci,j} = -\frac{a}{2g\omega S_{ci}} + \sqrt{\left(\frac{Q_i}{2g\omega S_{ci}} \right)^2 + \frac{H_{i,0} - Z_i + 2 \int_{i(i-1)} + (aQ_{ci,0})/(g\omega)}{S_{ci}}} \quad (6.8)$$

$$\psi_{i,j} = \varphi_{i(i-1),j} + \left(\frac{a}{g\omega} \right) (Q_{ci,0} - Q_{ci,j}) \quad (6.9)$$

где ω – площадь поперечного сечения перепускного устройства.

Отбор воды из промежуточного i -го узла трубопровода будет равен разности подходящего к узлу и отходящего от него расходов.

На основе этих принятых формул составлен алгоритм расчета переходных процессов с учетом перепускного устройства.

Алгоритм можно подразделить на три части:

- ввод исходных данных и переработка их для проведения расчетов переходных процессов;
- расчет переходных процессов в напорных трубопроводах с перепускными устройствами;
- выдача результатов.

Основные теоретические зависимости, полученные по результатам расчетов, представлены на рисунке 6.2.

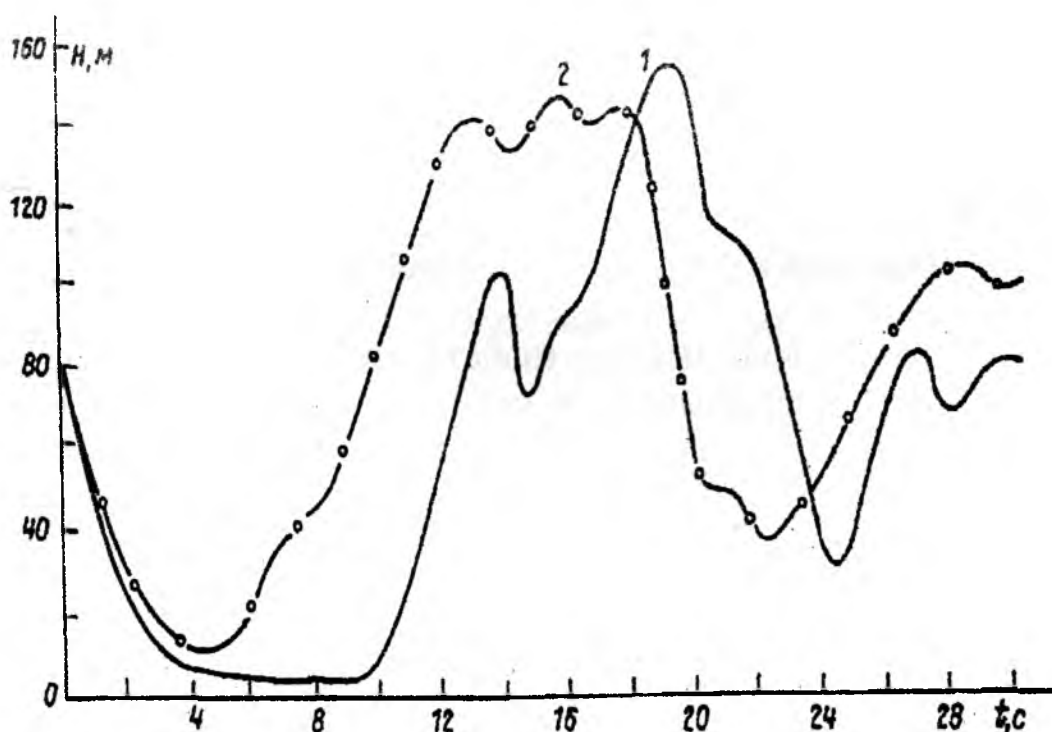


Рис. 6.2. Теоретические зависимости, полученные по результатам расчетов: 1 – без перепуска; 2 – с перепуском.

Анализ зависимостей переходного процесса позволил сделать вывод о том, что при работе перепуска величина колебаний давления уменьшилась на 20 м, при этом гидравлический удар снизился на 40 %. Длительность понижения давления уменьшилась более чем в 1,5 раза.

На насосной станции были проведены натурные испытания изучаемых переходных процессов. Результаты эксперимента и сопоставление с расчетными зависимостями представлены на рисунке 6.3.

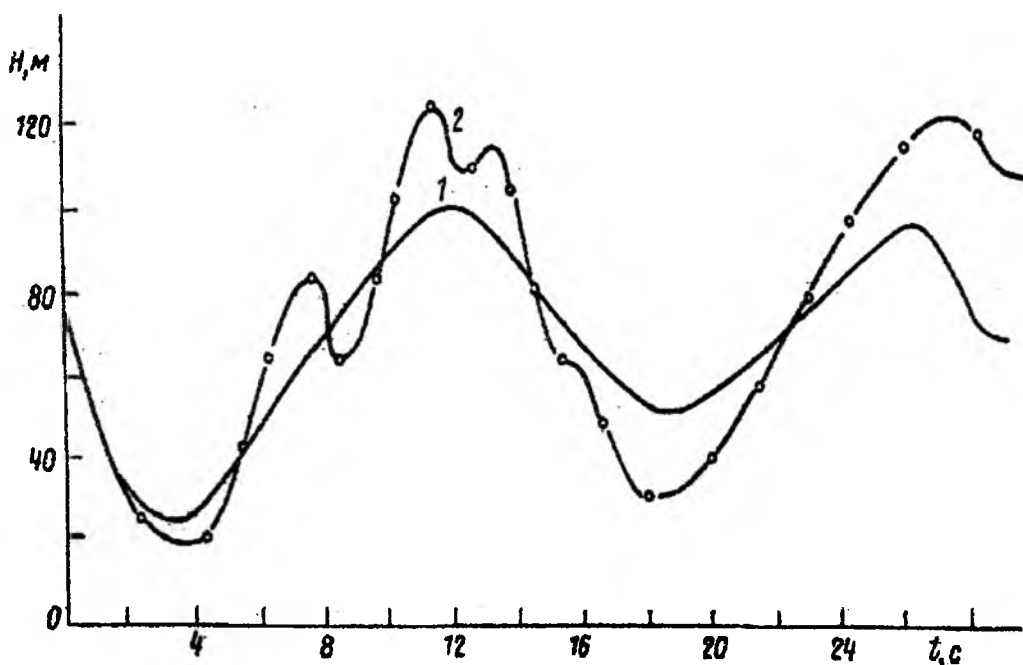


Рис. 6.3. Сопоставление результата натурного эксперимента (1) с расчетной зависимостью (2).

Анализ этих зависимостей позволяет сделать вывод о том, что перепускное устройство является достаточно эффективным средством защиты напорных трубопроводов и насосных агрегатов от гидравлического удара.

По результатам натурных экспериментов сделаны следующие выводы:

1. Перепускные устройства в начале ниток длинных напорных трубопроводов способствуют выравниванию подачи

в них, что приводит к существенному снижению потребления электроэнергии насосными станциями.

2. При работе перепускного устройства гидравлический удар в напорных трубопроводах протекает значительно мягче. При повышении давления в одной из ниток осуществляется сброс воды в соседние, а при понижении – переток воды из соседних.

3. Расчеты, проведенные по разработанному алгоритму, и данные натурных экспериментов на действующей насосной станции показали довольно высокую сходимость результатов.

6.3. Пропорциональное устройство управления дисковым затвором насоса для защиты насосных станций от гидравлического удара

Сокращение времени закрытия дискового затвора способствует более быстрому выводу оставшегося в работе насоса из кавитационной зоны. Кроме того, при этом улучшаются вибрационные характеристики отключенного насоса за счет сокращения величины и продолжительности его обратного вращения, а также напорного трубопровода, за счет уменьшения пульсации давления, вызываемой работой насосов в режиме кавитации и в реверсивном режиме.

Однако сокращение времени закрытия дискового затвора может повысить давление в напорном трубопроводе. Это связано с тем, что быстрое закрытие на заключительном этапе, когда происходит резкое изменение коэффициента местного сопротивления диска в зависимости от угла его разворота, вызовет увеличение величины гидравлического удара. Очевидно, что в этом случае необходимо введение дифференцированного закрытия дисковых затворов у аварийно отключенных агрегатов.

Дисковые затворы в этом случае следует первые 60°-70° закрывать за время, равное продолжительности протекания жидкости через отключенные насосы в прямом направлении после внезапного отключения всех насосов, работающих на

этот трубопровод. Оставшиеся 20^0 - 30^0 закрытия необходимо выполнить в режиме нормального отключения насосов.

Угол поворота в пределах 60^0 - 70^0 определен из условия резкого изменения коэффициента сопротивления дисковых затворов, являющегося функцией угла поворота при их закрытии. Медленное прикрытие дискового затвора на конечном участке (на последние 20^0 - 30^0) там, где происходят значительные изменения коэффициента сопротивления дискового затвора, а значит и расхода воды через него, позволит избежать аварийно опасного давления при движении воды через насос в обратном направлении.

Для осуществления дифференцированного закрытия дискового затвора будет разработано устройство управления с использованием самых современных достижений пропорциональной и цифровой гидравлики.

Известно устройство управления дисковым затвором, содержащее дисковый затвор с сервоприводом, маслonaпорную установку, золотник управления, маслопровод с дросселем, соединяющий маслonaпорную установку с сервоприводом.

Недостатком такого устройства являются низкая надежность и энергетическая неэффективность из-за того, что оно имеет длительное время закрытия дискового затвора, предназначенное для нормальных режимов, но неприемлемое для аварийных режимов. При аварийных отключениях насоса во избежание появления гидравлического удара и обратной угонной скорости насоса необходимо значительно более быстрое закрытие дискового затвора.

Наиболее близкой по технической сущности является устройство управления насосом, содержащее дисковый затвор с сервоприводом, маслonaпорную установку, дискретный золотниковый распределитель управления, основной маслопровод с дросселем, соединяющий маслonaпорную установку с сервоприводом, снабженное дополнительным маслопроводом с дросселем и запорным устройством, имеющим датчик аварийного отключения насоса, причем дополнительный маслопровод подключен параллельно основному, а запорное устройство связано с дисковым затвором.

Недостатком такой системы является то, что из-за использования дискретного золотникового распределителя регулирование закрытия дискового затвора при аварийном отключении насоса происходит ступенчато в два этапа, при этом нет возможности регулирования подачи масла и соответственно плавного изменения скорости закрытия дискового затвора. Из-за невозможности осуществления обратной связи дискретного золотникового распределителя с напорным трубопроводом отсутствует возможность осуществления своевременного закрытия дискового затвора до наступления гидравлического удара. При этом скорость течения жидкости в напорном трубопроводе меняется на обратную, жидкость через насос сливается из напорного трубопровода в нижний бьеф, что приводит к перерасходу затраченной на подъем жидкости электроэнергии, а насос переходит к обратной угонной скорости вращения, к которой он не предназначен, что отрицательно сказывается на его надежности и долговечности.

Основной задачей устройства пропорционального управления насосом является повышение надежности и экономичности насосной станции путем исключения возможности возникновения гидравлического удара и обратной угонной скорости насоса при аварийном отключении насоса.

Поставленная задача решается тем, что устройство пропорционального управления насосом, содержащее дисковый затвор с сервоприводом, маслонапорную установку, золотниковый распределитель, маслопровод с дросселем, соединяющий маслонапорную установку с сервоприводом, и датчик аварийного отключения насоса снабжается дополнительным цифровым датчиком скорости потока жидкости в напорном трубопроводе и программируемым логическим контроллером, а золотниковый распределитель выполняется регулируемым в пропорциональном исполнении.

На рисунке 6.4 представлена принципиальная схема устройства. Устройство пропорционального управления насосом 1 содержит дисковый затвор 2, расположенный в напорном трубопроводе 3, с сервоприводом 4, маслонапорную установку 5, пропорциональный золотниковый распределитель 6, масло-

провод 7, соединяющий маслонапорную установку 5 с сервоприводом 4. Устройство снабжено датчиком 8 аварийного отключения насоса 1, который подключен к статорной обмотке 9 электропривода 10 и через программируемый логический контроллер 11 соединяется с пропорциональным золотниковым распределителем 6. Устройство содержит также цифровой датчик скорости 12, расположенный в напорном трубопроводе 3 и через программируемый логический контроллер 11 соединяется с пропорциональным золотниковым распределителем 6.

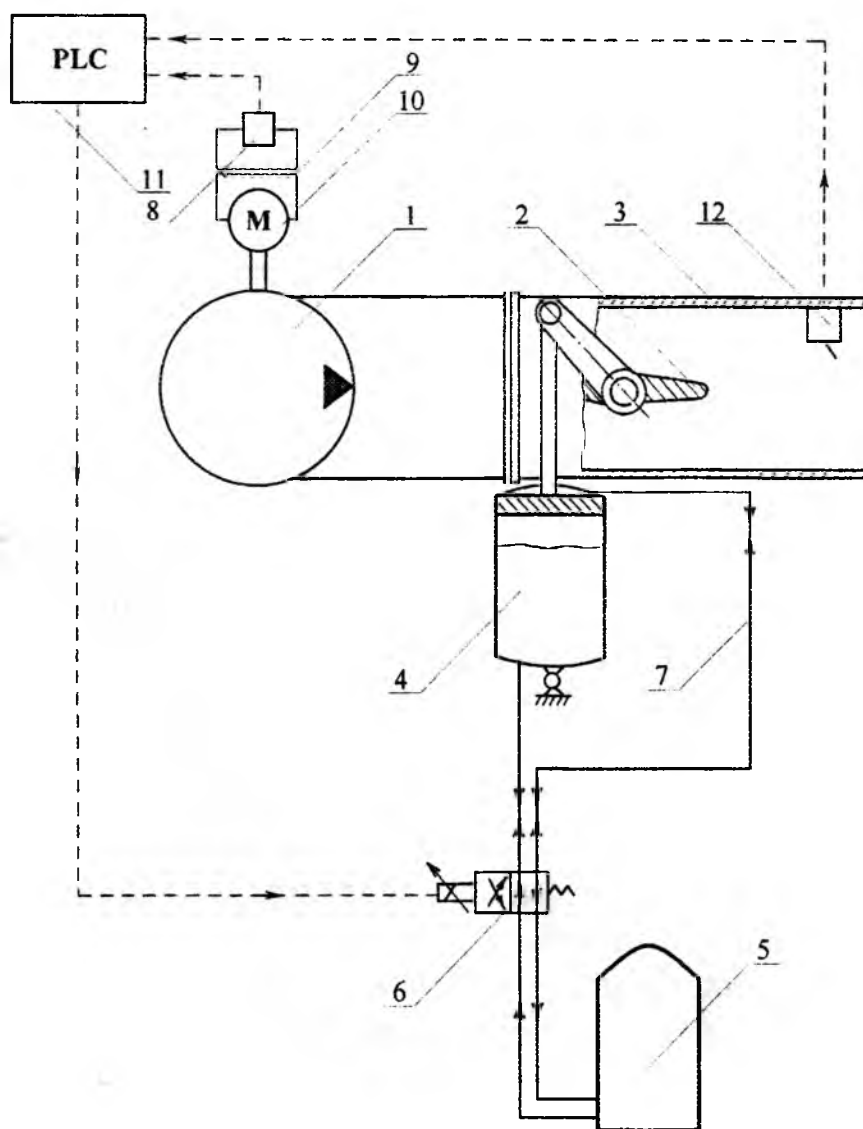


Рис. 6.4. Схема устройства пропорционального управления насосом

Устройство работает следующим образом.

При нормальном отключении насоса 1 пропорциональный золотниковый распределитель 6 переключается на закрытие дискового затвора 2, при этом масло из маслонапорной установки 5 поступает в сервопривод 4 по маслопроводу 7. Пропускная способность пропорционального золотникового распределителя 6 устанавливается таким образом, что она обеспечивает медленное закрытие затвора 2 в нормальном режиме и после этого насос 1 отключается.

При аварийном отключении насоса сигнал от датчика 8, связанного через статорную обмотку 9 с электроприводом 10 насоса 1, поступает через программируемый логический контроллер 11 к пропорциональному золотниковому распределителю 6. Сигнал от датчика 8 запускает процесс закрытия дискового затвора и в дальнейшем процессе не участвует. Сигнал от цифрового датчика скорости жидкости 12, расположенного в напорном трубопроводе 3, поступает в программируемый логический контроллер 11, где он преобразуется в выходной ток, управляющий степенью открытия пропорционального золотникового распределителя 6. Масло из маслонапорной установки 5 поступает в сервопривод 4 по маслопроводу 7 и дисковый затвор 1 начинает быстро закрываться. Скорость прямого потока жидкости в трубопроводе 3 снижается и пропорционально ей снижается напряжение сигнала цифрового датчика 12. Программируемый логический контроллер 11 пропорционально снижению скорости жидкости преобразует входящее напряжение в выходной токовый сигнал и, соответственно, уменьшается подача масла через пропорциональный золотниковый распределитель 6, который в свою очередь уменьшает скорость закрытия дискового затвора 1. Изменение скорости закрытия дискового затвора 1 происходит плавно и пропорционально скорости течения жидкости в трубопроводе. Техническая характеристика программируемого логического контроллера 11 программируется таким образом, что в момент смены в напорном трубопроводе 3 прямой скорости подачи жидкости на обратную скорость, т.е. в момент нулевой скорости жидкости, фиксируемой цифровым датчиком 12, дисковый затвор 1 полностью закрывается.

Применение устройства пропорционального управления насосом исключает возможность возникновения гидравлического удара и обратной угонной скорости насоса при аварийных погашениях электроэнергии, обеспечивает экономию затраченной электроэнергии, повышает надежность и экономичность насосной станции.

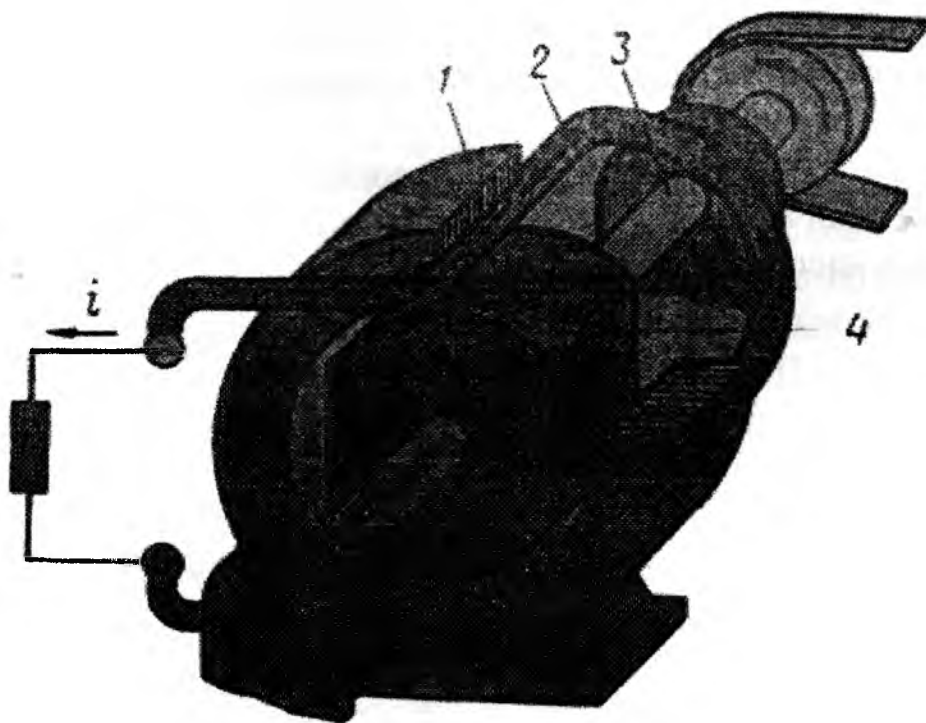
Контрольные вопросы к главе 6:

1. Что означает понятие – «переходные процессы», применительно к насосным станциям? Приведите примеры.
2. Что представляет собой гидравлический удар? Какие негативные последствия от произошедшего гидравлического удара на насосных станциях?
3. Охарактеризуйте перепускное устройство как средство защиты от гидравлического удара на насосных станциях.
4. Охарактеризуйте устройство пропорционального управления насосом как средство защиты от гидравлического удара на насосных станциях.
5. Перечислите достоинства и недостатки устройств защиты от гидравлического удара в основном оборудовании и трубопроводах насосных станций.

Глава 7. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Электрическая машина — это электромеханическое устройство, предназначенное для преобразования либо механической энергии в электрическую (электрический генератор), либо электрической энергии в механическую (электрический двигатель).

Синхронные машины широко применяются как в качестве генераторов, так и электродвигателей, в то время как асинхронные — в основном служат двигателями.



*Рис. 7.1. Синхронный генератор (упрощенная схема устройства)
1 — сердечник статора (неподвижная часть машины), 2 — обмотка статора, 3 — вал, 4 — ротор двигателя (постоянный магнит).*

Принцип работы такого генератора заключается в том, чтобы при помощи привода (двигателя внутреннего сгорания или турбины) через ременную передачу привести в движение ротор генератора. Одновременно в обмотке статора наводится ЭДС (указано стрелками) и благодаря замыканию её на нагрузке в цепи появляется ток.

7.1. Привод насосов

Для привода насосов используются преимущественно **асинхронные коротко-замкнутые и синхронные двигатели**. В редких случаях используются асинхронные электродвигатели с фазным ротором. Электродвигатели мощностью до 350 кВт выполняются на напряжение 380-660 В, а выше 350 кВт на 6-10 кВ. В ряде случаев, особенно в передвижных насосных установках, для привода насосов используются двигатели внутреннего сгорания.

Когда речь идёт о **синхронном электродвигателе**, то его работа начинается с подачи тока на обмотку статора. Это приводит к вращению магнитного поля, которое при взаимодействии с полем ротора вырабатывает силу, которая, в конечном счёте, преобразует электрическую энергию в механическую и вращает вал.

В асинхронном электродвигателе при включении обмотки статора в сеть образуется вращающееся с частотой n_1 магнитное поле. При этом в обмотке статора и ротора наводится ЭДС. Благодаря тому, что обмотка ротора замкнута в ней возникает ток, который взаимодействуя с полем статора создаёт электромагнитные силы $F_{эм}$ приводящие во вращение ротор двигателя.

В асинхронном электродвигателе при включении обмотки статора в сеть образуется вращающееся с частотой n_1 магнитное поле. При этом в обмотке статора и ротора наводится ЭДС. Благодаря тому, что обмотка ротора замкнута в ней возникает ток, который взаимодействуя с полем статора создаёт электромагнитные силы $F_{эм}$ приводящие во вращение ротор двигателя.

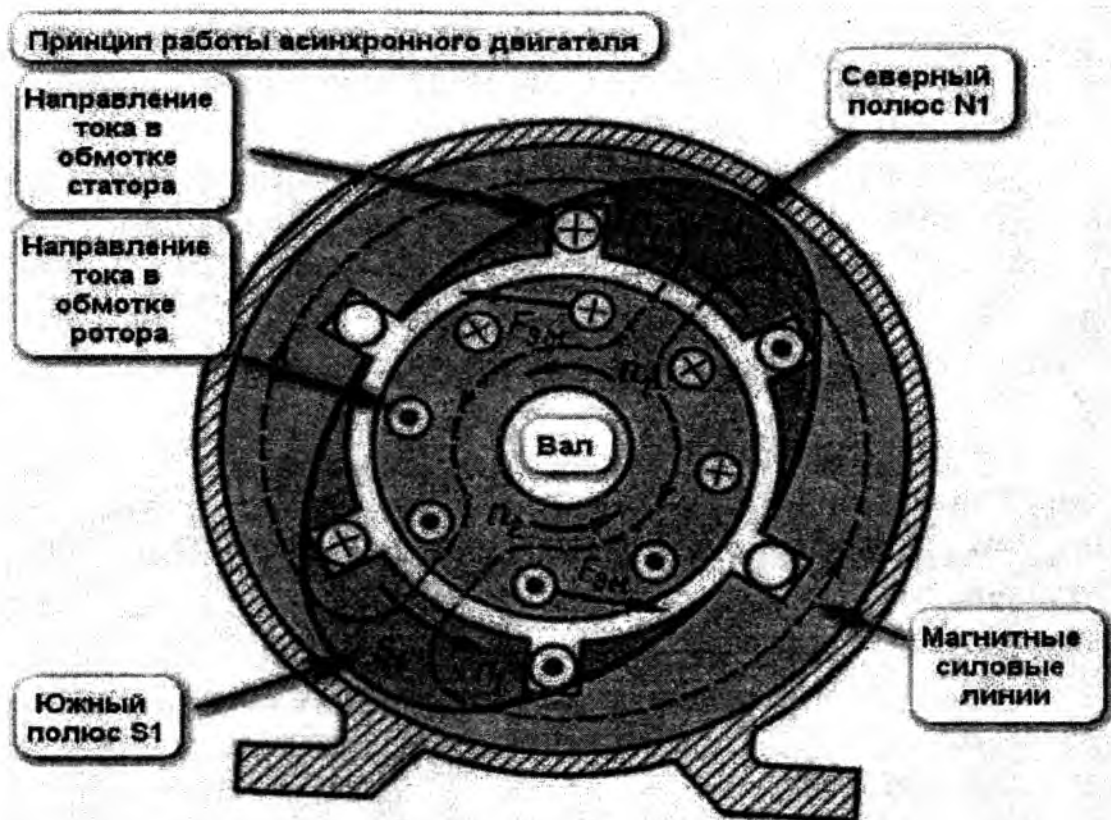


Рис. 7.2. Принцип действия асинхронного электродвигателя

Основными характеристиками электрических двигателей являются:

Механическая характеристика – зависимость частоты вращения от момента нагрузки на валу двигателя (статического момента сопротивления рабочего механизма) $n = f(M)$ при неизменных значениях напряжения питания двигателя, тока возбуждения, сопротивления в цепи рабочей обмотки (обмотки статора и ротора или обмотки якоря), или для асинхронных двигателей зависимость момента на валу от скольжения $M = f(s)$, при неизменных значениях напряжения питания U и сопротивлений в цепях обмоток статора и ротора;

Электромеханическая характеристика – зависимость частоты вращения от тока нагрузки $n = f(I)$ при неизменных значениях напряжения U и сопротивлений в цепях обмоток статора и ротора;

Регулировочная характеристика — зависимость частоты вращения от регулирующего параметра: тока возбуждения или напряжения питания;

Рабочие характеристики — зависимость КПД η , коэффициента мощности $\cos\varphi$, рабочего тока I , частоты вращения n от нагрузки двигателя (полезной мощности) P_2 .

7.2. Номинальные данные электрических машин

Номинальный режим работы электрической машины — это режим работы, при котором значения каждого из параметров равно номинальному.

Номинальные условия применения — условия, установленные в стандарте или технических условиях на данный конкретный тип машины, при которых эта машина должна иметь номинальную частоту вращения.

Номинальные данные электрической машины — это совокупность числовых значений электрических и механических параметров, обусловленных изготовителем, которым удовлетворяет электрическая машина в заданных условиях эксплуатации.

Таковыми данными являются: номинальная мощность (кВт или кВ·А), номинальное напряжение (В), номинальный ток (А), номинальная частота вращения (об/мин), номинальные КПД (%), коэффициент мощности, частота переменного тока (Гц), число фаз, режим работы машины [длительный, кратковременный, повторно-кратковременный либо другой].

Номинальная мощность электрической машины — это мощность, на которую рассчитана данная машина по условиям ее допустимого перегрева.

Номинальная мощность двигателя — это полезная механическая мощность на валу, вращающемся с номинальной угловой скоростью ($\omega_{2ном}$ при номинальном нагрузочном моменте $M_{2ном}$: $P_{ном} = M_{2ном} \cdot \omega_{2ном}$ или $P_{ном} = 0,105 \cdot M_{2ном} \cdot n_{2ном}$,

где, $n_{2ном}$ — номинальная частота вращения вала.

Номинальное напряжение — напряжение, на которое машина рассчитана заводом-изготовителем для работы в номинальном режиме с номинальной мощностью.

Номинальное напряжение трехфазных машин — это линейное напряжение, то есть напряжение между фазами подключенной к машине сети.

Номинальное напряжение ротора асинхронного двигателя с трехфазной обмоткой — это напряжение на выводах разомкнутой обмотки ротора (напряжение на контактных кольцах) при неподвижном роторе и включенной на номинальное напряжение обмотке статора.

Номинальное напряжением двухфазной обмотки ротора — это наибольшее из напряжений между контактными кольцами.

Номинальное напряжением возбудительной системы машины с независимым возбуждением — это номинальное напряжение того независимого источника, от которого получается возбуждение.

Номинальное напряжение возбуждения — напряжение на выводах (или контактных кольцах) обмотки возбуждения с учетом падения напряжения под щетками при питании ее номинальным током возбуждения, когда активное сопротивление приведено к расчетной рабочей температуре, при работе машины в номинальном режиме с номинальной мощностью, напряжением и частотой вращения.

Номинальный ток — ток, соответствующий работе машины в номинальном режиме с номинальной мощностью и частотой вращения при номинальном напряжении.

Номинальный ток возбуждения — ток возбуждения, соответствующий работе машины в номинальном режиме с номинальной мощностью и частотой вращения при номинальном напряжении.

Номинальная частота вращения — частота вращения, соответствующая работе машины при номинальных напряжении, мощности и частоте тока и номинальных условиях применения.

Коэффициент полезного действия (КПД) — отношение полезной (отдаваемой) мощности к затрачиваемой (подводимой); для двигателей — отношение полезной механической мощности на валу к активной подводимой электрической мощности.

7.3. Надежность электрических машин

Надежность — это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и в условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Безотказность — это свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Долговечность — это свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.

Ремонтопригодность — это свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Сохраняемость — это свойство объекта сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтопригодности в течение и после хранения и транспортирования.

Отказ — это событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта, то есть в переходе в неработоспособное состояние.

Причины отказов электрических машин

Основные причины выхода из строя асинхронных двигателей

- Неудовлетворительная эксплуатация.
- Несовершенная защита или отсутствие ее (при защите двигателей плавкими предохранителями электродвигатели отказывают из-за работы на двух фазах).
- Несоответствие конструктивного исполнения двигателей условиям эксплуатации.
- Неправильный выбор двигателя по мощности.
- Некачественное изготовление, отказы по вине заводов-изготовителей.

Порядок выявления скрытых дефектов оборудования

- Неравномерность воздушного зазора, что приводит к задеванию ротора о статор машины. Это может быть обусловлено тем, что технологический процесс и состояние оборудования не обеспечивают требуемую обработку станин, подшипниковых узлов и пакетов ротора.

- Неравномерность воздушного зазора может быть вызвана также прогибом вала при его недостаточной жесткости.

- Низкое качество изоляции обмоточных проводов и пропитывающих лаков.

Преждевременные отказы обмоток вызываются часто несовершенными технологическими процессами, некачественными пропиткой, намоткой и укладкой в пазы витков обмотки статора.

Отказы электродвигателей из-за повреждения обмоток — 85-95%.

Отказы электродвигателей из-за повреждений подшипников — 2-5%.

Основные отказы обмоток обусловлены междувитковыми замыканиями — 93%.

7.4. Основные причины выхода из строя электрических машин

Одна из основных причин отказов синхронных машин — это заводские дефекты.

Для оценки эксплуатационной надежности синхронных генераторов широко применяют показатель **удельная повреждаемость**. Это удельное число аварийных отключений, которое измеряется средним числом повреждений на одну машину в год и выражается в процентах.

Большинство повреждений относится к обмотке статора, основным местом повреждений изоляции обмоток статора является пазовая часть обмотки, пробой которой составляет примерно 50% всех пробоев обмоток статора.

На процесс изменения и разрушения изоляции оказывают влияние повышенные механические усилия при переходных процессах, вибрация, перенапряжения, перегрузки по току. В процессе изготовления могут появиться участки с пониженной электрической прочностью. Это связано с изготовлением стержней обмоток с размерами, выходящими за пределы допуска, что приводит к повреждению изоляции при укладке обмотки в пазы. В процессе изготовления возможно попадание на поверхность изоляции ферромагнитных частиц, вибрация которых в магнитном поле приводит к постепенному разрушению изоляции.

Лобовые части обмоток крупных электрических машин наибольшей опасности подвергаются при переходных процессах. Большие ударные токи могут вызвать разрывы бандажей, деформацию частей обмотки, появление трещин и вмятин в изоляции. В процессе эксплуатации синхронных двигателей отмечаются также пробой изоляции вследствие попадания в нее масла и влаги.

Среди повреждений активной стали наиболее частыми являются ослабление запрессовки, расшатывание сердечника стали под действием вибрационных и магнитных сил, повреждение изоляционной пленки на поверхности листов.

На подвижных частях машины частые повреждения наблюдаются на бандажных узлах; эти повреждения вызываются действием центробежных сил, деформациями вала и усилиями горячих посадок на вал.

Под действием температуры происходит перемещение обмотки ротора, деформация проводников обмотки. Возможно также перекрытие каналов охлаждения и снижение сопротивления изоляции при попадании влаги, масла и пыли на обмотку.

Характерными повреждениями и нарушениями в работе подшипниковых узлов крупных синхронных машин являются выплавление баббита, повреждение вкладышей и цапф подшипниковыми токами. Выплавление баббита обычно происходит при нарушении работы системы маслоснабжения.

Наиболее распространенной неисправностью подшипников является вытекание масла. Подшипниковые токи возникают из-за несимметрии в магнитной системе, обусловленной неравномерным зазором, наличием осевых каналов, несимметричным размещением сегментов активной стали.

Замыкание обмотки ротора на корпус также приводит к появлению подшипниковых токов.

Для обеспечения надежности крупных синхронных машин большое внимание уделяется контактно-щеточной системе и возбудителям. Число отказов возбудителей иногда превышает число отказов обмоток ротора и статора.

Основные причины выхода из строя машин постоянного тока

Данные о причинах выхода из строя в период эксплуатации электрических машин постоянного тока показывают, что большинство аварий происходит по вине обслуживающего персонала, который не всегда обеспечивает необходимый уход и качественное выполнение текущего ремонта.

Конструкционные недостатки. Так, у двигателей прокатных станов основные отказы обусловлены повреждениями коллектора, что вызвано неблагоприятной коммутацией при регулярных кратковременных перегрузках.

Наиболее частыми повреждениями возбuditелей синхронных генераторов являются повреждения бандажей обмотки якоря, нарушения пайки петушков и износ коллектора. При этом надежность коллекторно-щеточного узла во многом зависит от мощности возбuditеля.

В тяговых двигателях одной из частых причин отказов в работе является возникновение кругового огня на коллекторе. Это вызвано условиями эксплуатации (буксование колесных пар), невысоким качеством выпрямленного питающего напряжения, повышенными ударными и вибрационными нагрузками.

Повреждения обмоток якорей машин постоянного тока проявляются в пробое корпусной изоляции между пакетом стали якоря и обмоткой и пробое изоляции между витками.

В крупных машинах постоянного тока проявляются в пробое корпусной изоляции между пакетом стали якоря и обмоткой и пробое изоляции между витками.

В крупных машинах постоянного тока повреждения проявляются в распайке соединительных петушков коллекторных пластин с обмоткой и в разрушении проволочных бандажей.

Отказы механических узлов машин постоянного тока определяются в основном состоянием шеек вала и подшипников качения и скольжения. Повреждения подшипников скольжения и шеек вала выражаются в виде износа вкладышей в гнездах подшипников, вытекания смазки из подшипников при их неисправностях, нарушения работы смазочных колец в подшипниках.

Контрольные вопросы к главе 7:

1. Какие виды электрических машин применяются на насосных станциях и их принцип действия?
2. Перечислите основные характеристики электрических двигателей.
3. Какие основные причины выхода из строя синхронных и асинхронных двигателей на насосных станциях?

4. Какие числовые значения электрических и механических параметров, обусловлены изготовителем, которым удовлетворяет электрическая машина в заданных условиях эксплуатации?

5. Какие показатели работоспособности, имеют важное значение для электрических машин?

Глава 8. СИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ КАК РЕГУЛЯТОРЫ НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

8.1. Синхронная машина как источник активной и реактивной мощности

Синхронная машина может работать не только как источник активной мощности, но также как и источник реактивной мощности. Это видно из нижеприведенной диаграммы (рис. 8.1), показывающей возможности синхронного двигателя в широком диапазоне изменять реактивную мощность (в пределах допускаемый по техническим условиям). Эта диаграмма построена при условии постоянства потребляемой машиной активной мощности $P = \text{const}$.

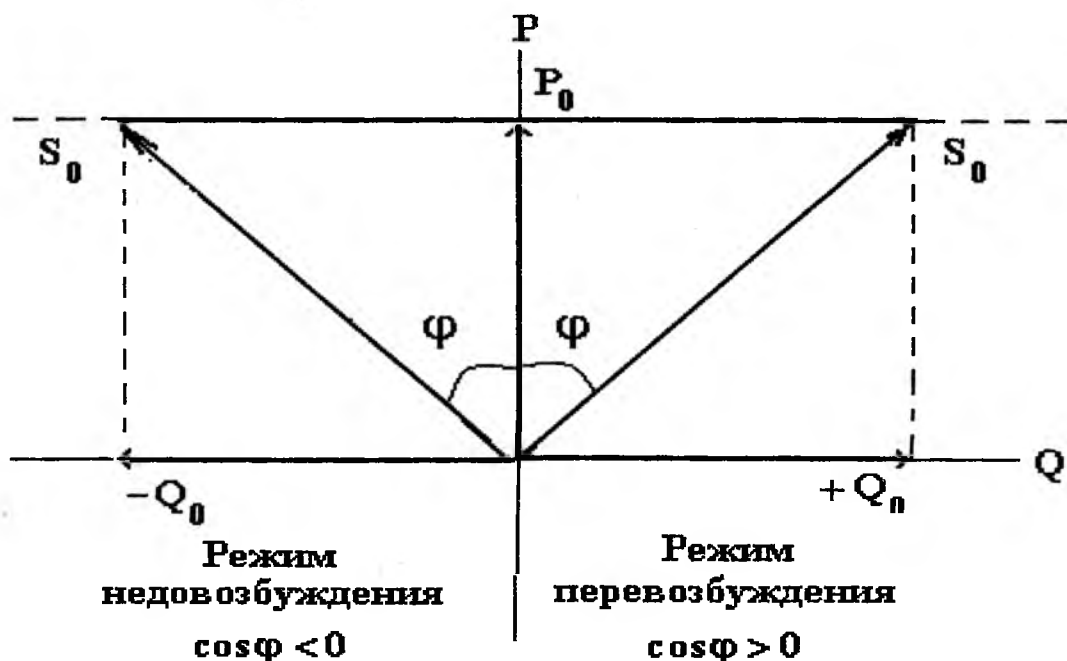


Рис. 8.1. Режимы выдачи ($\cos \varphi > 0$) и потребления ($\cos \varphi < 0$) реактивной мощности синхронным двигателем

Как известно, полная мощность двигателя определяется выражением:

$$S = P + jQ \text{ или } S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (8.1)$$

где, P , Q – потребляемые синхронным двигателем активная и реактивная мощности. Степень загрузки машины активной мощностью определяется соотношением – коэффициентом мощности

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}.$$

В случае перевозбуждения синхронный двигатель выдает реактивную мощность в электрическую систему ($\cos \varphi > 0$, $Q > 0$), при недовозбуждении потребляет ($\cos \varphi < 0$, $Q < 0$).

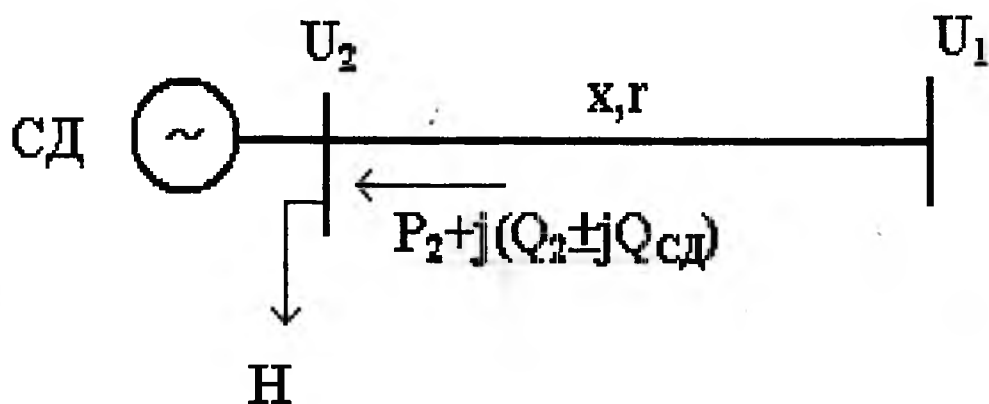


Рис. 8.2. Схема сети с синхронным двигателем, как регулятором реактивной мощности

Сущность регулирования напряжения путем воздействия на потоки реактивной мощности по элементам электрической сети заключается в том, что при изменении реактивной мощности изменяются потери напряжения в реактивных сопротивлениях. Так, для схемы сети, приведенной на рис. 8.2, связь между напряжениями начала U_1 и конца U_2 можно записать в виде:

$$U_2 = U_1 - \Delta U = U_1 - \frac{P_2 r + (Q_2 \pm Q_{сд}) x}{U_2}. \quad (8.2)$$

В отличие от активной мощности, **реактивную мощность** в узлах сети можно изменять путем установки в них **устройств поперечной компенсации**, т. е. компенсирующих устройств. В качестве таких устройств могут служить синхронные компенсаторы, шунтирующие и управляемые реакторы, статические тиристорные компенсаторы, а также генераторы местных электростанций, подключенные к системе передачи и распределения электроэнергии; синхронные электродвигатели и др. Часть компенсирующих устройств может только выдавать в сеть реактивную мощность, некоторые – только потреблять из сети реактивную мощность (шунтирующие и управляемые реакторы). Наиболее приемлемыми для регулирования напряжения являются устройства, обладающие возможностями, в зависимости от режима сети, как генерировать, так и поглощать реактивную мощность (синхронные двигатели, компенсаторы, статические тиристорные компенсаторы).

8.2. Регулируемые и нерегулируемые компенсирующие устройства

Компенсирующие устройства могут быть нерегулируемыми и регулируемыми. При включении нерегулируемого компенсирующего устройства в сети создается постоянная по величине компенсация потери напряжения (отрицательная или положительная). Если же компенсирующее устройство позволяет изменить направление реактивной мощности в зависимости от режима сети, то по величине компенсация потери напряжения, как это следует из формулы (8.2), оказывается переменной, в результате чего появляется возможность регулировать напряжение. Так, в схеме сети, приведенной на рис. 8.1, при изменении компенсирующим устройством реактивной мощности от генерации (знак «минус» в формуле (8.2) перед $Q_{сд}$) до потребления (знак «плюс» перед $Q_{сд}$) будет изменяться величина потери напряжения, что при неизменном напряжении $U_1 = \text{const}$ приведет также к изменению напряжения U_2 в конце сети, т. е. будет обеспечено регулирование напряжения.

Как следует из формулы (8.2), эффективность регулирования напряжения с помощью поперечных компенсирующих устройств повышается в сетях с относительно большими реактивными сопротивлениями по сравнению с активными, например, в воздушных сетях по сравнению с кабельными. При этом **наибольший эффект достигается при установке компенсирующих устройств в наиболее удаленных от центров питания узлах нагрузки, каковыми являются насосные станции с синхронными двигателями.**

С помощью поперечного компенсирующего устройства можно создать режим, в котором величина напряжения в конце сети окажется больше величина напряжения в начале ($U_2 > U_1$). Это произойдет тогда, когда величина потери напряжения в формуле (8.2) станет отрицательной:

$$\frac{P_2 r}{U_2} + \frac{Q_2 x}{U_2} - \frac{Q_{сд} x}{U_2} < 0. \quad (8.3)$$

Отсюда мощность компенсирующего устройства для такого режима,

$$Q_{сд} > P \frac{r}{x} + Q_2.$$

Физическую сущность регулирования напряжения с помощью синхронных двигателей дополнительно поясняет векторная диаграмма (рис. 8.3).

Для этого связь между напряжением U_1 и U_2 запишем через падение напряжения:

$$U_1 = U_2 + \frac{P_2 r + Q_2 x}{U_2} + j \frac{P_2 x - Q_2 r}{U_2} = U_2 + \frac{P_2}{U_2} r + j \frac{P_2}{U_2} x - j \frac{Q_2}{U_2} r + \frac{Q_2}{U_2} x. \quad (8.4)$$

При установке синхронного двигателя выдающего реактивную мощность уравнение (8.4) приобретает вид:

$$U_1 = U_2 + \frac{P_2}{U_2} r + j \frac{P_2}{U_2} x - j \frac{Q_2 - Q_{сд}}{U_2} r + \frac{Q_2 - Q_{сд}}{U_2} x.$$

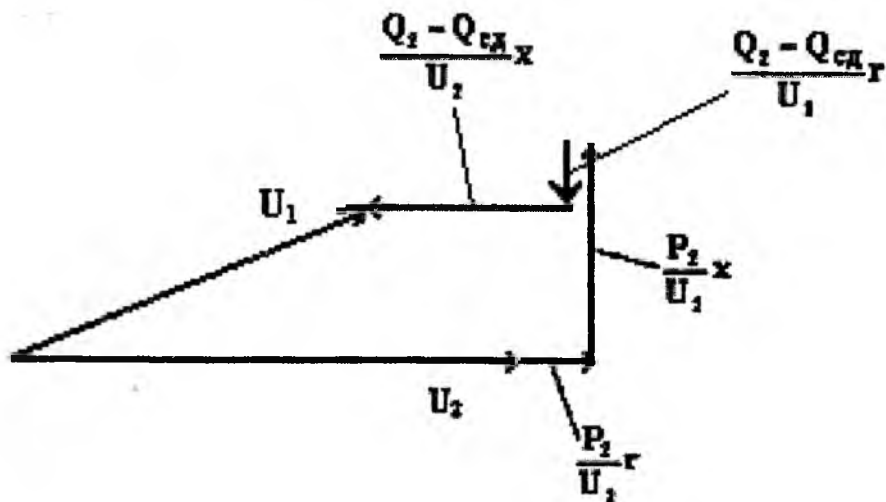


Рис. 8.3. Векторная диаграмма синхронного двигателя, режим перевозбуждения ($Q_{сд} > 0$, $\cos \varphi > 0$)

Поскольку $\frac{Q_2 - Q_{сд}}{U_2} x > \frac{P_2}{U_2} r$, следовательно $|U_2| > |U_1|$.

Для случая, когда генерируемая реактивная мощность синхронного двигателя полностью компенсирует реактивную нагрузку потребителей ($Q_{сд} = Q_2$):

$$U_1 = U_2 + \frac{P_2}{U_2} r + j \frac{P_2}{U_2} x. \quad (8.5)$$

Компенсирющие устройства поперечной компенсации оказывают комплексное положительное влияние на режим электрических сетей. Кроме возможности регулирования напряжения, они позволяют снизить потери активной мощности и электроэнергии за счет разгрузки элементов сети от реактивной мощности и, соответственно, снижения рабочих токов. В ряде случаев, когда передаваемая активная мощность ограничивается допустимым током по нагреву проводников или допустимой потерей напряжения, за счет разгрузки сети от реактивной мощности, можно увеличить пропускную активную мощность. Поэтому вопросы выбора мощности и мест установ-

ки компенсирующих устройств должны решаться комплексно. Рассмотрим особенности выбора мощности компенсирующего устройства по условию регулирования напряжения.

Пусть при $U_1 = \text{const}$ напряжение U_2 по каким-то причинам не удовлетворяет потребителей (рис. 8.2), и его надо повысить до $U_{2ж}$ с помощью выбора соответствующей мощности компенсирующего устройства, устанавливаемого в конце сети. При расчете следует учесть, что при повышении напряжения U_2 до $U_{2ж}$ произойдет изменение потребляемых нагрузок P_2 и Q_2 до $P_{2ж}$ и $Q_{2ж}$ в соответствии с их статическими характеристиками $P_2 = f(U_2)$ и $Q_2 = f(U_2)$. Этот фактор может не учитываться в том случае, если нагрузка подключена к вторичной стороне трансформатора, имеющего устройство регулирования (РПН), которое позволяет сохранить напряжение на шинах вторичного напряжения неизменным.

До и после установки синхронного двигателя мощностью $Q_{сд}$ связь между напряжениями начала и конца сети соответственно, представляются в виде:

$$U_1 = U_2 + \frac{P_2 r + Q_2 x}{U_2}, \quad U_1 = U_{2ж} + \frac{P_{2ж} r + (Q_{2ж} - Q_{сд}) x}{U_{2ж}}. \quad (8.6)$$

Приравнивая правые части данных уравнений по условию $U_1 = \text{const}$, найдем мощность компенсирующего устройства:

$$Q_{сд} = \frac{(U_{2ж} - U_2) U_{2ж}}{x} + (P_{2ж} - P_2) \frac{U_{2ж}}{U_2} \frac{r}{x} + (Q_{2ж} - Q_2) \frac{U_{2ж}}{U_2}. \quad (8.7)$$

Здесь мощности P_2 , Q_2 , $P_{2ж}$, $Q_{2ж}$ находятся по соответствующим статическим характеристикам.

Таким образом, синхронные двигатели насосных станций могут успешно выполнять роль потребителей-регуляторов реактивной мощности и напряжения, тем более, когда они оснащаются автоматическими регуляторами возбуждения (АРВ).

Контрольные вопросы к главе 8:

1. Дайте определение активной и реактивной мощности.
2. Назовите возможности синхронного двигателя по регулированию мощности на насосных станциях. Что значит выдача и потребление реактивной мощности синхронным двигателем?
3. Какие компенсирующие устройства применяются для изменения реактивной мощности? Охарактеризуйте регулируемые и нерегулируемые компенсирующие устройства.
4. Физическая сущность регулирования напряжения с помощью синхронных двигателей.
5. Какая особенность выбора мощности компенсирующего устройства по условию регулирования напряжения?

Глава 9. ТРАНСФОРМАТОРЫ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Трансформатор – электрический аппарат, который представляет собой статическое устройство, преобразующее одну систему переменного тока в другую. Параметры для преобразования могут быть самыми разными: ток, напряжение, частота, число фаз. Чаще всего в системе электроснабжения насосных станций используются силовые трансформаторы, которые позволяют изменить величину тока и напряжения (при этом все остальные параметры сети остаются неизменными).

По назначению существует деление аппаратов на **трансформаторы силового и специального назначения**. **Силовые** являются одним из основных элементов систем энергоснабжения и используются при транспортировке электроэнергии для получения напряжения требуемого класса. **Специальные** же очень разнообразны по своей конструкции и рабочим характеристикам (примером могут послужить сварочные, печные, испытательные **трансформаторы**). Отдельной их категорией являются автотрансформаторы – однообмоточные аппараты, которые способны изменять величину напряжения в минимальных пределах (когда коэффициент трансформации приближён к 1).

9.1. Принцип действия силового трансформатора

Конструктивно аппарат состоит из сердечника, выполненного из листовой электротехнической стали и обмоток 1 и 2 (первичной и вторичной), которые размещены на стержнях и электрически не связаны между собой. К обмотке 1 подключается источник питания, к обмотке 2 – нагрузка (потребитель).

За счёт явления электромагнитной индукции переменный ток i_1 создаёт магнитный поток, который замыкается в сердечнике и сцепляясь с обеими обмотками наводит в них ЭДС само-

и взаимной индукции соответственно. При подключении потребителя во вторичной обмотке создаётся ток i_2 , а на выводах – вторичное напряжение. Разница в напряжениях на вводах и выводах образуется за счёт разного количества витков в 1 и 2 обмотках. Отношение параметров может быть любым.

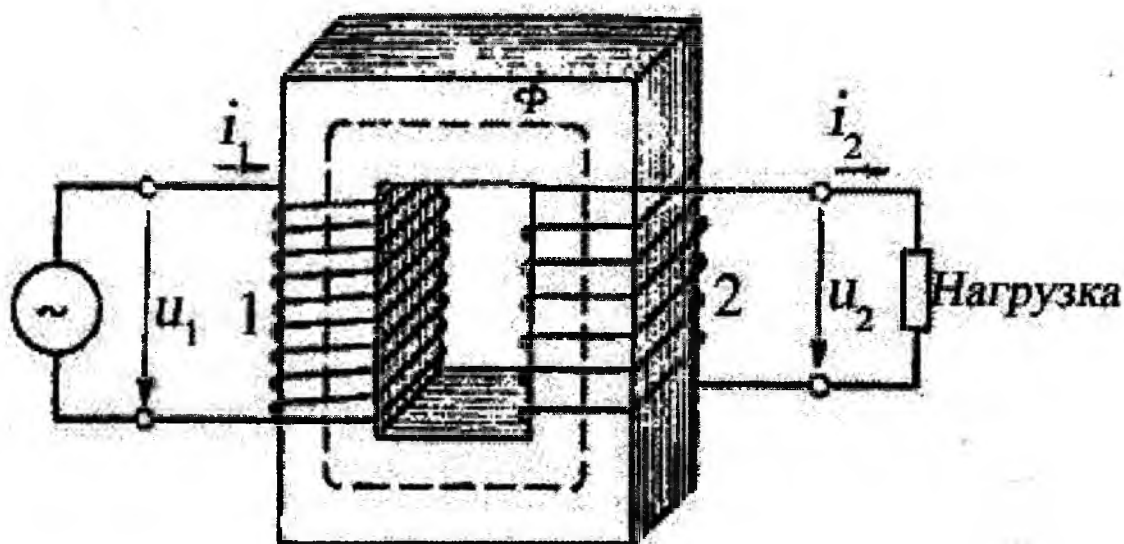


Рис. 9.1. Простейший силовой однофазный трансформатор

По количеству фаз существует разделение на одно- и **трехфазный трансформатор**, по виду охлаждения – на воздушный и масляный, по форме магнитопровода – на стержневой, бронестержневой, броневаой, тороидальный. Особенностью отличия **трёхфазного** от **однофазного трансформатора** в плане его электрической схемы состоит в том, что схемы трёх отдельных систем объединены в одну.

Трансформаторы являются одними из важнейших элементов системы энергоснабжения насосных станций. При работе трансформаторов часть энергии, преобразуемой им, теряется, поэтому полезная мощность трансформатора, отдаваемая им в нагрузку, меньше мощности, потребляемой им из сети источника энергии. Потеря энергии происходит как в магнитопроводе трансформатора, так и в его обмотках. Обмотки трансформатора нагреваются протекающими по ним токами. Потеря энер-

гии в обмотках трансформатора P пропорциональна квадрату плотности тока и весу обмоточного провода G .

В магнитопроводе трансформатора возникают потери энергии за счет перемагничивания стали и вихревых токов. Потери в стали магнитопровода зависят от частоты, магнитной индукции, магнитных свойств материала и толщины стальных листов, из которых собран магнитопровод. Потери в стали Рост пропорциональны весу магнитопровода G и квадрату максимальной магнитной индукции B в магнитопроводе.

Электромагнитные нагрузки трансформатора (магнитную индукцию и плотность тока) нельзя безгранично увеличивать. Магнитную индукцию в магнитопроводе нельзя увеличивать сколь угодно, так как при превышении известной меры намагничивающий ток может оказаться чрезмерно большим. Плотность тока в проводах обмоток так же нельзя увеличивать неограниченно, так как падение напряжения в сопротивлении обмоток при этом возрастает, понижая вторичное напряжение трансформатора при нагрузке.

В еще большей мере электромагнитные нагрузки ограничены допустимыми потерями энергии в активных материалах трансформатора, т. е. в стали магнитопровода и проводах обмоток. При увеличении магнитной индукции растут потери в стали, а при увеличении плотности тока — потери в проводах обмоток. Потери энергии, выделяющиеся в трансформаторе при его работе, превращаются в тепло и нагревают его. Это тепло излучается от поверхности трансформатора в окружающую среду.

Охлаждение нагретых частей трансформатора происходит за счет теплоизлучения, теплопроводности и конвекции. Тепло отводится в окружающую среду главным образом со свободных частей трансформатора (наружная цилиндрическая поверхность обмотки и поверхность ярма). Для увеличения поверхности охлаждения делают вентиляционные каналы в магнитопроводе и обмотках.

Внутренние части магнитопровода и обмоток отдают свое тепло поверхностным частям благодаря теплопроводности. Количество тепла, излучаемого в окружающую среду, зависит как

от поверхности охлаждения, так и от разности температур нагретых частей трансформатора и окружающей среды.

Температура трансформатора сначала повышается быстро, так как мала разность температур трансформатора и окружающей среды. Следовательно, количество тепла, излучаемого в окружающую среду, также мало и потеря энергии в трансформаторе расходуется в основном на его нагрев.

По мере повышения температуры трансформатора увеличивается количество тепла, излучаемого в окружающую среду, и трансформатор нагревается медленнее. Температура повышается до определенного установившегося значения T , при котором количество тепла, выделяющегося в трансформаторе, полностью излучается в окружающую среду.

Если трансформатор отключить после его работы, его нагретые части начнут охлаждаться. Когда разность температур трансформатора и окружающей среды достаточно велика, трансформатор охлаждается быстро. По мере понижения температуры трансформатора разность температур его и окружающей среды уменьшается и процесс охлаждения замедляется.

Если при работе трансформатор нагревается хотя бы в какой-нибудь точке до температуры, выше допустимой для какого-либо материала, из которого изготовлен трансформатор, то трансформатор может выйти из строя. Таким образом, электромагнитные нагрузки ограничиваются тем материалом, который наиболее чувствителен к нагреву.

Применяемые в трансформаторах насосных станций изоляционные материалы по-разному реагируют на повышение температуры. В большинстве случаев выходит из строя раньше других бумажная изоляция, являющаяся наименее нагревостойким материалом из используемых в трансформаторостроении изоляционных материалов. Бумажная изоляция в масле длительно выдерживает температуру до 105°C без существенного снижения своих изоляционных свойств. При нагреве до температуры выше допустимой происходит интенсивное старение изоляции, т. е. она быстро теряет свою электрическую и механическую прочность, что ведет к выходу из строя трансформатора.

Установлены для отдельных частей масляного трансформатора следующие наибольшие превышения температуры над температурой охлаждающего воздуха, которая принимается равной 40°C : обмотки (по измерению сопротивления) 65°C ; % магнитопровод (на поверхности 75°C масло верхних слоев. Указанные температуры установлены с учетом колебания температуры в течение суток и года и изменения нагрузки трансформатора.

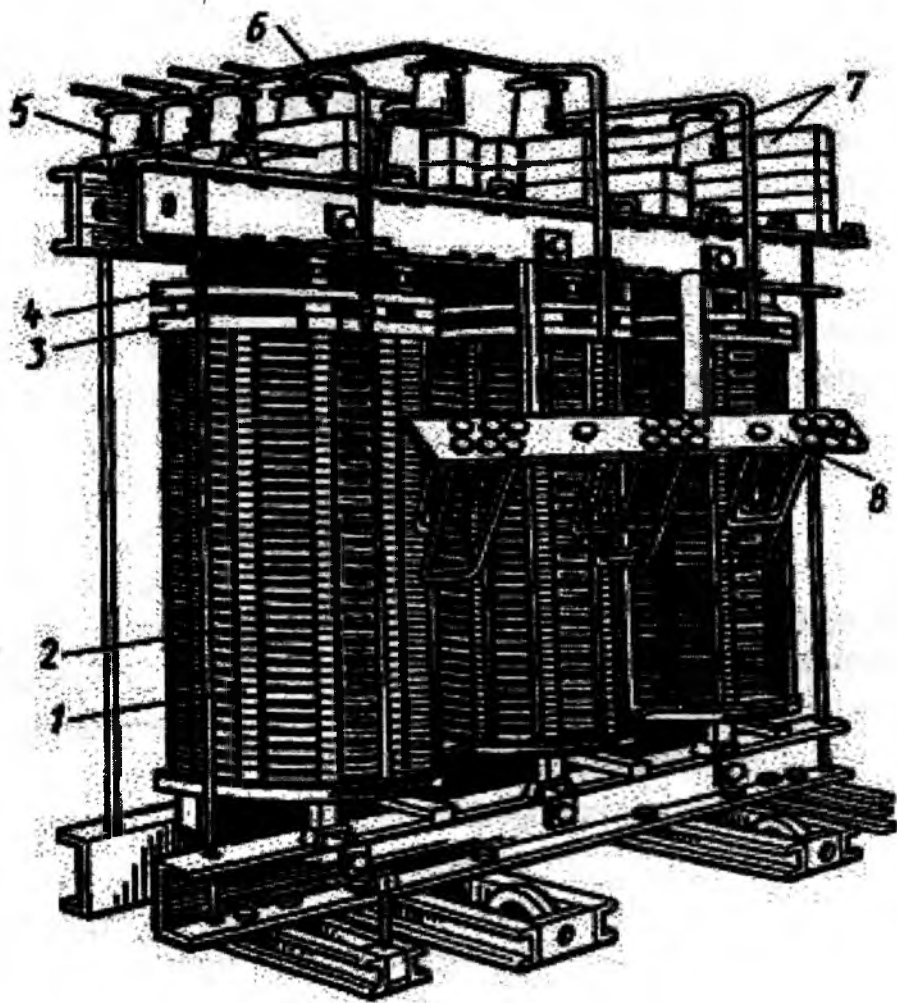


Рис. 9.2 Сухой трансформатор мощностью 320 кВ А без кожуха:

1— вертикальные стяжные шпильки, 2— обмотки ВН, 3— фарфоровые подкладки для прессовки обмоток, 4— стальное прессующее кольцо, 5 — опорные изоляторы отводов ВН, 6—отводы ВН, 7—фарфоровые подкладки для крепления отводов НН, 8 — панель зажимов ВН

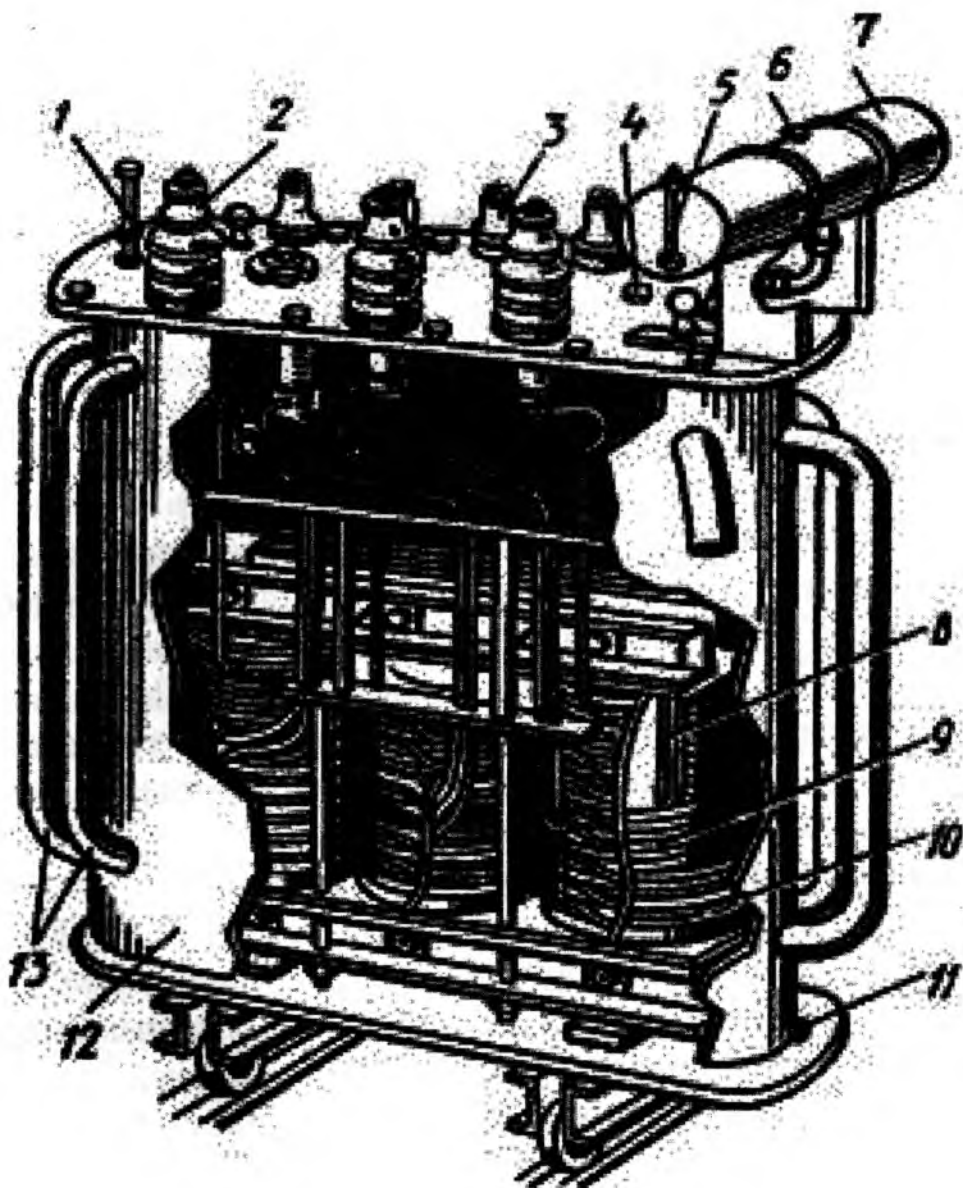


Рис. 9.3. Устройство трехфазного масляного трансформатора средней мощности:

1 – термометр, 2 – выводы обмотки ВН, 3 – выводы обмотки НН, 4, 6 – пробки для заливки масла, 5 – указатель уровня масла, 7 – расширитель, 8 – магнитопровод, 9 – обмотка НН, 10 – обмотка ВН, 11 – пробка для спуска масла, 12 – бак для масла, 13 – трубы для охлаждения масла.

Конструктивное выполнение трансформатора определяется в значительной мере способом его охлаждения, который зависит от номинальной мощности. При увеличении мощности

трансформатора необходимо увеличивать и интенсивность его охлаждения. В силовых трансформаторах для отвода теплоты от обмоток и магнитопровода применяют следующие способы охлаждения: воздушное, масляное и посредством негорючего жидкого диэлектрика. Каждый вид охлаждения имеет соответствующее условное обозначение.

9.2. Виды охлаждения трансформаторов

Трансформаторы малой мощности выполняют, как правило, с охлаждением типа С, т.е. **сухой трансформатор**. В некоторых случаях их помещают в корпус, залитый термореактивными компаундами на основе эпоксидных смол или других подобных материалов. Такие компаунды обладают высокими электроизоляционными и влагозащитными свойствами. После затвердевания они не расплавляются при повышенных температурах и обеспечивают надежную защиту трансформатора от механических и атмосферных воздействий.

Трансформаторы с масляным охлаждением. В трансформаторах с естественным масляным охлаждением (М) магнитопровод с обмотками погружают в бак, наполненный тщательно очищенным минеральным (трансформаторным) маслом. Трансформаторное масло обладает более высокой теплопроводностью, чем воздух, и хорошо отводит теплоту от обмоток и магнитопровода трансформатора к стенкам бака, имеющего большую площадь охлаждения, чем трансформатор. Погружение трансформатора в бак со специальным маслом обеспечивает также повышение электрической прочности изоляции его обмоток и предотвращает ее увлажнение и потерю изоляционных свойств под влиянием атмосферных воздействий. При правильной эксплуатации масляных трансформаторов, когда температура изоляции в наиболее нагретом месте не превышает 105°C , трансформатор может служить $20\div 25$ лет. Повышение температуры на 8°C приводит к сокращению срока службы трансформатора примерно в 2 раза.

В трансформаторах мощностью $20\div 30\text{кВ}\cdot\text{А}$ выделяется сравнительно небольшое количество теплоты, поэтому их баки

имеют гладкие стенки. У более мощных трансформаторов ($20\div 1800$ кВ·А) поверхность охлаждения бака искусственно увеличивают, применяя ребристые или волнистые стенки либо окружая бак системой труб, в которых масло циркулирует за счет конвекции. Для повышения интенсивности охлаждения в трансформаторах мощностью более 1800 кВ·А к баку пристраивают навесные или отдельно установленные трубчатые теплообменники (радиаторы), которые с помощью патрубков с фланцами сообщаются с внутренней полостью бака. В радиаторе происходит усиленная циркуляция масла и интенсивное охлаждение. Масляные трансформаторы типа М применяют для мощностей $10\div 10000$ кВ·А.

Трансформаторы мощностью $10000\div 63000$ кВ·А выполняют обычно с дутьем (тип Д). В этом случае теплоотдача с поверхности радиаторов форсируется путем обдува их вентиляторами. Каждый радиатор обдувается двумя вентиляторами, при этом теплоотдача увеличивается в $1,5\div 1,6$ раза. В трансформаторах с охлаждением типа ДЦ масло насосом откачивается из бака и прогоняется через навесные или отдельно установленные теплообменники (охладители), обдуваемые воздухом. Охлаждение с принудительной циркуляцией масла применяют при мощностях $16000\div 250000$ кВ·А и выше. При использовании масляно-водяного охлаждения нагретое масло проходит через теплообменники, охлаждаемые водой. Циркуляция масла осуществляется за счет естественной конвекции (при охлаждении типа МВ) или же с помощью насоса (при охлаждении типа Ц).

Трансформаторы, охлаждаемые негорючим жидким диэлектриком. Трансформаторы с охлаждением типов Н и НД выполняют с герметизированным баком, заполненным негорючим жидким диэлектриком. Обычно применяют синтетические изоляционные материалы – совтол и др., которые имеют примерно такие же электроизоляционные свойства и теплопроводность, как и трансформаторное масло. Трансформаторы с охлаждением типов Н и НД пожаробезопасны и могут устанавли-

ливаться в закрытых помещениях. Их выпускают мощностью $160 \div 2500$ кВ·А при напряжении 6 и 10 кВ.

Защита масла от соприкосновения с атмосферным воздухом. Во время работы масло в трансформаторе нагревается и расширяется. При уменьшении нагрузки оно, охлаждаясь, возвращается к первоначальному объему. Поэтому масляные трансформаторы мощностью 25 кВ·А и выше имеют небольшой дополнительный бак-расширитель, соединенный с внутренней полостью основного бака. При нагревании трансформатора изменяется объем масла, находящегося в расширителе. Объем его составляет около 10% от объема масла в баке. Применение расширителя позволяет значительно сократить поверхность соприкосновения масла с воздухом, что уменьшает его загрязнение и увлажнение. Расширители имеют воздухоосушитель, заполненный сорбентом — веществом, поглощающим влагу из воздуха, поступающего в расширитель. При мощности 160 кВ·А и выше на них устанавливают также термосифонный фильтр для непрерывного обезвоживания и очистки масла. Для более надежного предохранения от окисления трансформаторы большой мощности выполняют герметизированными с полной изоляцией масла, находящегося в расширителе, от атмосферного воздуха. Это осуществляется с помощью подушки, образующейся из инертного газа (азота) и расположенной между поверхностью масла и гибкой растягивающейся мембраной — азотная защита. Трансформаторы с азотной защитой можно выполнять также и без расширителя.

Защита трансформатора от аварий. Для защиты от возможных аварий трансформаторы мощностью более 1000 кВ·А имеют специальные газовые реле, установленные в трубопроводе между основным баком и расширителем. При значительном выделении взрывоопасных газов, возникающих в результате разложения масла, реле автоматически выключает трансформатор, предупреждая развитие аварии. В этих трансформаторах устанавливают также выхлопную трубу, закрытую стеклянной мембраной. При внезапном повышении внутреннего давления образовавшиеся газы выдавливают мембрану и выходят в атмосферу, предотвращая деформацию бака.

Чтобы предотвратить появление высокого потенциала на обмотке НН при повреждении изоляции обмотки ВН, в трансформаторах, у которых обмотка НН имеет напряжение до 0,69 кВ, между этой обмоткой и заземленным баком включают пробивной предохранитель, который пробивается при напряжении 1000 В.

Контрольные вопросы к главе 9:

1. Дайте определение трансформаторам силового и специального назначения. Принцип действия трансформаторов силового и специального назначения.
2. Почему при работе трансформатора происходит потеря энергии? В каких частях трансформатора происходит потеря энергии?
3. Какие способы отвода тепла применяются в силовых трансформаторах?
4. Охарактеризуйте трансформаторы типа: (М), (Д), (ДЦ), (МВ), (Ц), (Н), (НД).
5. В чем смысл применения бака-расширителя для трансформатора?

Глава 10. НАГРЕВ И ОХЛАЖДЕНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

10.1. Процессы нагревания и охлаждения трансформаторов и электрических машин

Процессы нагревания и охлаждения во всех типах электрических машин происходят по общим законам, так как любую электрическую машину можно в первом приближении рассматривать как некоторое идеальное однородное твердое тело.

В действительности электрическая машина не является таким телом, а представляет собой совокупность ряда частей (обмоток, элементов магнитопровода, конструктивных деталей), которые имеют различные теплопроводность, теплоемкость и условия охлаждения, вследствие чего температура их также различна.

Потери энергии, возникающие в электрической машине, выделяются в виде теплоты, повышающей температуру обмотки и магнитопровода. За промежуток времени dt в электрической машине выделяется тепловая энергия:

$$dQ = \Delta P dt, \quad (10.1)$$

которая частично расходуется на повышение температуры машины на величину $d\theta$, а частично отводится в окружающее пространство.

В любой момент времени в машине имеется баланс тепловой энергии, выражаемый дифференциальным уравнением:

$$dQ = \Delta P dt = c_m d\theta + k_{\text{то}} S_{\text{охл}} \theta dt, \quad (10.2)$$

где $c_m d\theta$ - часть тепловой энергии, которая накапливается в машине и вызывает повышение ее температуры;

$\text{кто} S_{\text{охл}} \theta dt$ - часть тепловой энергии, рассеивающейся в окружающее пространство.

c - удельная теплоемкость машины (количество теплоты, вызывающее повышение температуры 1 кг массы машины на 1°C);

m - масса машины;

$k_{\text{то}}$ - коэффициент теплоотдачи с поверхности (количество теплоты, рассеиваемое с 1 м^2 поверхности охлаждения машины в течение 1 с при разности между ее температурой и температурой окружающей среды в 1°C), который определяется интенсивностью охлаждения электрической машины;

$S_{\text{охл}}$ - поверхность охлаждения машины;

θ - превышение температуры машины над температурой окружающей среды.

По мере увеличения температуры электрической машины и величины θ возрастает количество теплоты, рассеиваемое в окружающую среду, и уменьшается часть теплоты, вызывающей повышение температуры машины. При некотором превышении температуры θ_∞ наступает установившийся тепловой процесс, при котором вся выделяемая в машине теплота отдается окружающей среде.

В этом случае величина $cm d\theta = 0$ и уравнение теплового баланса принимает вид:

$$\Delta P dt = k_{\text{то}} S_{\text{охл}} \theta_\infty dt, \quad (10.3)$$

Величину θ_∞ называют установившимся превышением температуры:

$$F\theta_\infty = \Delta P / (k_{\text{то}} S_{\text{охл}}), \quad (10.4)$$

Уравнение теплового баланса можно представить следующим образом:

$$k_{\text{то}} S_{\text{охл}} (\theta_\infty - \theta) dt = cm d\theta, \quad (10.5)$$

Решая дифференциальное уравнение при условии, что в начальный момент (при $t = 0$) электрическая машина уже имеет некоторое превышение температуры θ_0 над окружающей средой, получаем:

$$\theta = \theta_{\infty}(1 - e^{-t/T}) + \theta_0 e^{-t/T}, \quad (10.6)$$

где, T - постоянная времени нагревания (она имеет размерность времени).

При этом:

$$T = cm / (k_{то1} S_{охл}), \quad (10.7)$$

10.2. Кривые нагревания и охлаждения

Величина θ в процессе нагревания и охлаждения электрической машины изменяется по экспоненциальному закону. При нагревании превышение температуры возрастает (рис. 1, а, кривая 1), асимптотически приближаясь к установившемуся значению $\theta_{\infty 1}$, соответствующему определенным величинам ΔP_1 , $S_{охл1}$ и $k_{то1}$.

Это может происходить при возрастании потерь мощности (т. е. нагрузки) машины или уменьшении интенсивности ее охлаждения.

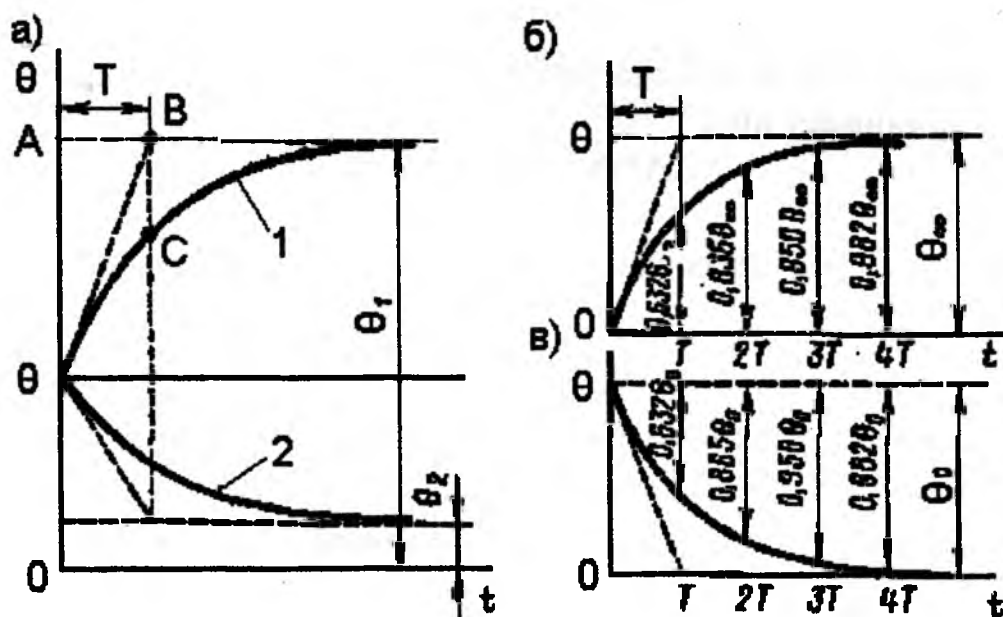


Рис. 10.1. Кривые нагревания 1 и охлаждения 2 электрической машины.

При охлаждении превышение температуры θ уменьшается (кривая 2) до установившегося значения $\theta_{\infty 2}$, соответствующего другим значениям ΔP_2 и $k_{\text{то}2}$.

Это может происходить при уменьшении потерь ΔP или увеличении интенсивности охлаждения. В начальной точке 0 (при $t=0$) производная $d\theta/dt = (\theta_{\infty} - \theta_0)/T$. Следовательно, постоянную времени T можно представить в виде отрезка АВ, отсекаемого касательной (проведенной к кривой нагревания при $t=0$) на прямой, параллельной оси абсцисс и соответствующей установившемуся превышению температуры θ_{∞} .

Постоянную времени T можно записать в виде:

$$T = (cm/\Delta P)\theta_{\infty}, \quad (10.8)$$

Таким образом, физически величину T можно рассматривать как время, в течение которого превышение температуры θ достигло бы установившегося значения θ_{∞} , если бы скорость возрастания температуры оставалась все время неизменной. Такие условия имели бы место, если бы в процессе нагревания и охлаждения машины не происходило отдачи теплоты окружающей среде.

Но так как в действительности часть тепловой энергии рассеивается в окружающее пространство, то за время $t = T$ превышение температуры достигает лишь значения, соответствующего точке С (рис.10, а).

Кривые 1 и 2 показывают характер изменения превышения температуры θ электрической машины соответственно при увеличении нагрузки, например, от $R_{\text{ном}}$ до $1,5R_{\text{ном}}$ (когда возрастают ΔP и θ_{∞}), при уменьшении ее от $R_{\text{ном}}$ до $0,5R_{\text{ном}}$ (когда уменьшается ΔP и θ_{∞}).

Если машина включается в работу после сравнительно длительного пребывания в отключенном состоянии (когда она приобретает температуру окружающей среды), то $\theta_0 = \theta$ (рис.10,б) и уравнение упрощается:

$$\theta = \theta_{\infty}(1 - e^{-t/T}), \quad (10.9)$$

Если машина отключается от сети, то $\Delta P = 0$ и происходит ее охлаждение до температуры окружающей среды. При этом $\theta_{\infty} = 0$ (рис.10, в)

$$\theta = \theta_0 e^{-t/T}, \quad (10.10)$$

Из рассмотрения кривой 1 нагревания электрических машин следует, что при достаточно большой продолжительности работы, когда $t = (3 \div 4)T$, величина $e^{-t/T}$ становится весьма малой и превышение температуры достигает приблизительно значения θ_∞ . В этом случае наступает практически установившийся тепловой режим, называемый продолжительным (или длительным).

Постоянная времени нагревания T обратно пропорциональна теплоотдаче $k_{\text{то}} S_{\text{охл}}$, поэтому хорошо вентилируемые машины имеют меньшие постоянные времени.

При уменьшении интенсивности вентиляции постоянная времени T увеличивается. Например, в машинах с самовентиляцией снижение частоты вращения и останов машины приводят к возрастанию T , поэтому для них постоянная времени при охлаждении $T_{\text{охл}}$ примерно в $2 \div 3$ раза больше постоянной времени при нагревании T .

Для электрических машин различных мощностей величина $T = 0,3 \div 2$ ч, для микромашин $T = 3 \div 10$ мин.

Контрольные вопросы к главе 10:

1. Объясните смысл уравнения теплового баланса электрических машин и трансформаторов.
2. Что такое постоянная времени нагревания электрических машин и трансформаторов?
3. По какому закону происходит нагревание и охлаждение электрических машин и трансформаторов?
4. Когда наступает установившийся тепловой режим электрической машины?
5. Как меняется превышение температуры машины над температурой окружающей среды при нагревании и охлаждении электрических машин?

Глава 11. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

11.1. Основные типы кабелей, применяемых на насосных станциях

Кабелем называют устройство, предназначенное для передачи электрической энергии энергетическому оборудованию насосных станций и состоящее из одного или нескольких изолированных друг от друга проводников, заключенных в герметическую защитную оболочку из резины, пластмассы, алюминия или свинца. Кабель, имеющий поверх защитной оболочки покрытие (броню) из стальных лент, плоской или круглой проволоки (для защиты от механических повреждений), называется бронированным. Если защитные или броневые оболочки кабеля не пропитаны джутовой пропитанной пряжей, то такой кабель называют голым.

Кабели, применяемые на насосных станциях, бывают различного вида:

Силовые кабели предназначены для передачи и распределения электрической энергии. Кабели выпускаются с медными и алюминиевыми токопроводящими жилами с изоляцией из бумажных лент, пропитанных маслом или специальными составами, а также с изоляцией из поливинилхлоридного пластика, полиэтилена, сшитого полиэтилена, резины.

Кабели связи предназначены для передачи сигналов связи и информации. Кабели имеют медные жилы и бумажную или пластмассовую изоляцию. В качестве пластмасс используются полиэтилен, поливинилхлоридный пластикат, полистирол. Изоляция может быть комбинированной: воздушно-бумажной или воздушно-полиэтиленовой.

предназначены для питания приборов, аппаратов и других электротехнических устройств и используются в цепях контроля.

Контрольные кабели имеют токопроводящие жилы из меди, биметалла алюминий-медь, алюминия.

Кабели управления используются для целей дистанционного управления и имеют медные жилы. В качестве изоляции используются полиэтилен, поливинилхлоридный пластикат, фторопласт, резина.

Радиочастотные кабели предназначены для передачи высокочастотной энергии между антеннами и различными радиотехническими и электронными устройствами, а также для соединений внутри этих устройств.

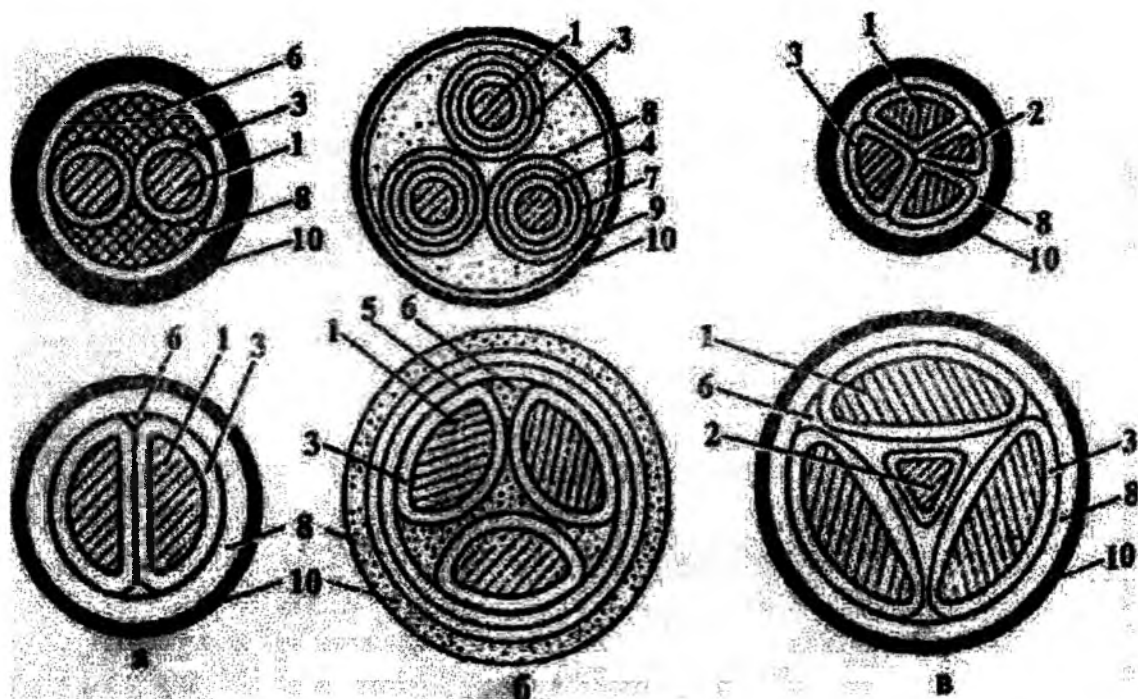


Рис. 11.1. Конструкция кабелей:

*а – двухжильные кабели с круглыми сегментными жилами;
б – трехжильные поясной изоляцией и отдельными оболочками;
в – четырехжильные с нулевой жилой круглой, секторной или треугольной формы:*

*1 – токопроводящая жила; 2 – нулевая жила; 3 – изоляция жилы;
4 – экран на жиле; 5 – поясная изоляция; 6 – заполнитель; 7 – экран на изоляции жилы; 8 – оболочка; 9 – бронепокров; 10 – наружный защитный покров.*

Кабели различают по следующим признакам: роду металла токопроводящих жил – кабели с алюминиевыми и медными жилами; роду материалов, которыми изолируют токопроводящие жилы – кабели с бумажной, пластмассовой и резиновой изоляцией; роду защиты изоляции жил кабелей от влияния внешней среды – кабели в металлической, пластмассовой и резиновой оболочке; способу защиты от механических повреждений – бронированные и небронированные; количеству жил – одно-, двух-, трех-, четырех- и пятижильные (рис.11.1).

Каждая конструкция кабелей имеет свои обозначения и марку. Марка кабеля составляется из начальных букв слов, описывающих конструкцию кабеля.

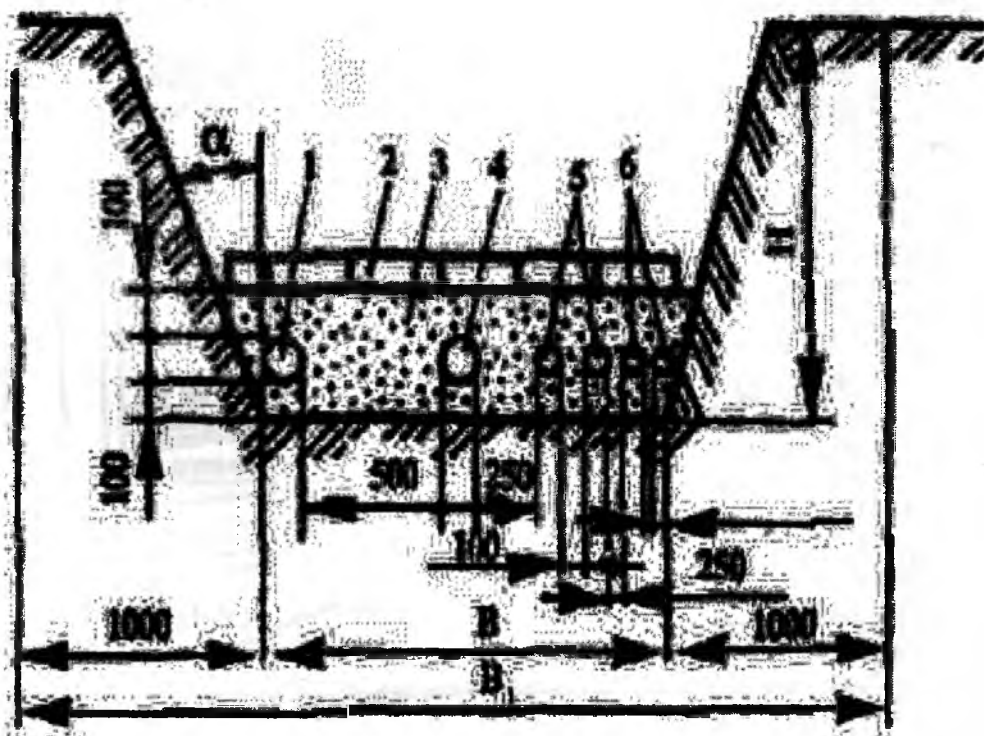


Рис. 11.2. Прокладка кабелей в траншее:

1 – кабель связи; 2 – кирпич для защиты от механических повреждений; 3 – мягкий грунт 4,5,6 – контрольные кабели

Наиболее дешевый способ канализации электроэнергии – размещение кабелей в траншее (рис.11.2). Такой способ не требует большого объема строительных работ и создает хорошие условия для охлаждения кабелей.

На территории насосных станций при наличии более 20 кабелей, идущих в одном направлении, применяют прокладку в туннелях. Такая прокладка обеспечивает надежную работу кабельных линий, но имеет самую высокую стоимость строительной части.

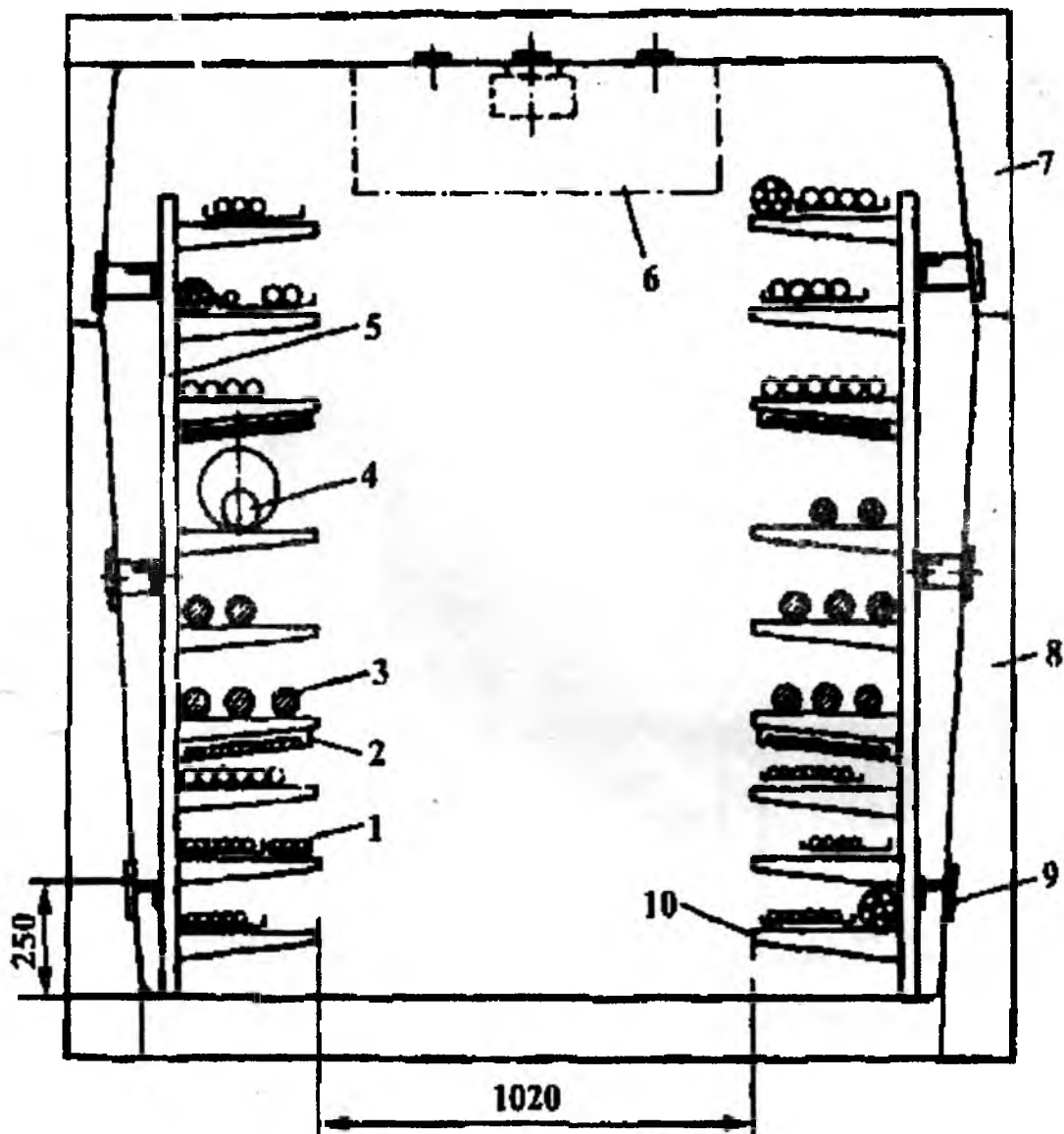


Рис. 11.3. Прокладка кабелей в туннеле из сборных лотковых элементов

Кабельные туннели (рис. 11.3) монтируют из верхних 7 и нижних 8 лотковых элементов различных размеров по высоте H и ширине B . Закладные детали 9 устанавливают в лотковых

элементах для крепления сборных кабельных конструкций 5 и размещения на их полках 10 контрольных 7, силовых 3 кабелей и соединительных муфт 4. Огнестойкие перегородки 2 предназначены для разделения групп кабелей. В специальной зоне 6 предусматривается устройство освещения.

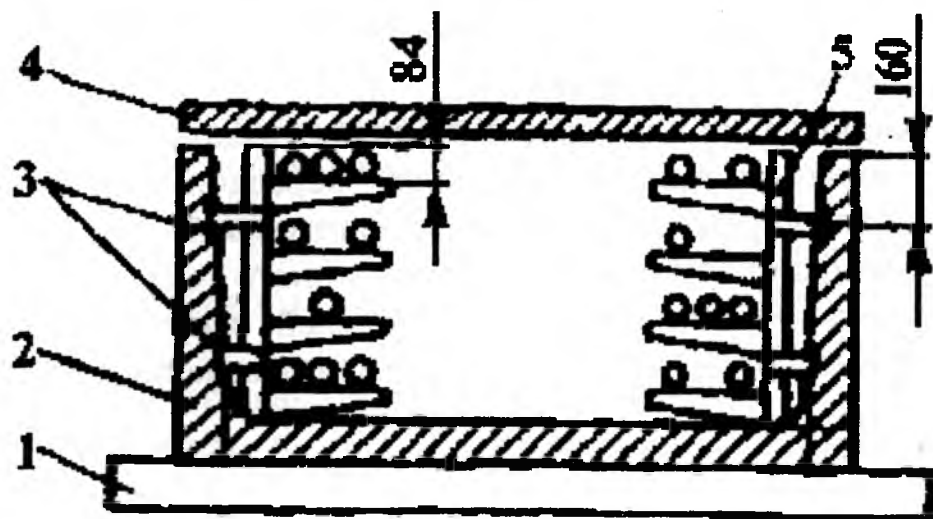


Рис. 11.4. Прокладка кабелей в каналах из сборных лотковых элементов:

1 – основание; 2 – лоток; 3 – закладные детали; 4 – перекрытие;
5 – кабельная конструкция

Кабели различают так же по:

- количеству жил (от 1 до 4, контрольных кабелей от 4 до 61);
- по сечению (от 0,5 до 800 мм²);
- по номинальному напряжению, на которое рассчитаны жилы.

Маркировка установочных проводов и шнуров складывается из букв и цифр. **Первая буква** – материал жилы: А – алюминий. При отсутствии этой буквы жила медная. **Вторая буква** – П – провод; ПП – провод плоский. **Третья и последующие буквы** – материал изоляции и защиты: Р – резиновая; В – поливинилхлоридная П – полиэтилен; О – изолированные жилы в оплетке из Х/б пряжи; Н – негорючая резиновая оболочка.

ка; Ф - фальцованная (металлическая) оболочка. Г - с гибкой жилой; Д - провод двухжильный; Т - с несущим тросом.

Цифровая часть, например: 3 х 2,5 , где 3 - количество жил; 2,5 - сечение каждой жилы в мм² .

Силовые кабели применяют для прокладки непосредственно в земле (траншее), в специальных сооружениях (каналы, туннели), а также внутри помещений для передачи энергии напряжением свыше 1000 В.

Для прокладки в помещениях, в передвижных ЭУ используется **контрольные кабели** для передачи низковольтных сигналов управления в цепях вторичной коммутации. Рассчитаны на напряжение до 660 В переменного тока и до 1000 В постоянного. Жилы контрольных кабелей изготавливают из меди сечением от 0,75 до 6 мм и алюминия сечением от 2,5 до 10 мм.

11.2. Обмоточные провода

Обмоточные провода - предназначены для изготовления обмоток электрических машин, аппаратов и различных приборов. По материалам, применяемым для изготовления токопроводящих жил, они делятся на: медные, алюминиевые и из сплавов сопротивления.

По видам изоляции обмоточных проводов можно классифицировать следующим образом: эмалевая, волокнистая, эмалево - волокнистая, бумажная, пластмассовая, плёночная, стекловолокнистая, стеклоэмалевая, сплошная стеклянная.

Достоинства обмоточных проводов с эмалевой изоляцией:

1. Обладают малыми толщинами изоляции.

2. Хорошими физико-механическими и электроизоляционными характеристиками.

3. Нагревостойкостью.

Маркировка с изоляцией на основе масляных и высокопрочных синтетических лаков: ТИ-105, 120, 130, 155, 180 и выше. Медные эмалированные провода с изоляцией на основе масляных лаков (марка ПЭЛ) выпускаются в диапазоне диаметров 0,02- 2,5 мм. Эти провода имеют достаточно высокие

электроизоляционные характеристики, которые сохраняются даже в условиях воздействия повышенных температур и влажности. Провода марки ПЭЛ применяются, для изготовления катушек электрических аппаратов, рамок приборов и т. п.

Провода с изоляцией на поливинилацеталевой основе отличаются механическими характеристиками, хорошими электроизоляционными свойствами, стойкостью к действию сред агрессивных, что позволяет с успехом использовать их для изготовления обмоток электрических машин и аппаратов без дополнительных покрытий.

Эмалированные провода с ТИ-120 выпускаются из марок ПЭВТЛ-1, ПЭВТЛ-2 диаметром 0,05-1,6 мм с изоляцией на основе полиуретанового лака. Особенностью этих проводов является возможность обслуживания их без предварительной зачистки эмали, что значительно облегчает пайку.

Применяются в приборостроении и радиотехнической промышленности.

Круглые провода выпускаются в диапазоне диаметров 0,50-2,5 мм, а прямоугольные – в диапазоне сечений от 1,6 до 11,2 мм². Помимо высокой нагревостойкости эти провода отличаются повышенными механическими характеристиками, стойкостью к токовым перегрузкам и хладонам, имеют достаточно хорошие электрические свойства. Эти провода используются в тех случаях, когда необходимо обеспечить надёжную работу электрооборудования с ТИ-180 и выше, особенно при тяжёлых условиях изготовления обмоток.

Обмоточные провода с полиимидной изоляцией имеют самую высокую нагревостойкость среди эмалированных проводов, достаточно хорошие электрические характеристики, которые практически не изменяются при их нагревании до температуры 230 °С.

Провода с волокнистой изоляцией на основе хлопчатобумажной пряжи, натурального шёлка, а также синтетических волокон изготавливаются, как правило, методом двухслойной обмотки токопроводящих жил.

Для волокнистой изоляции, которая имеет ТИ-105, характерны большая толщина изоляции и гигроскопичность, невысо-

кая электрическая прочность, что ограничивает их использование без дополнительных покрытий, которыми, как правило, являются эмаль - лаки на масляной поливинилаусталевой, полиэфирной и других основах.

Обмоточные провода с волокнистой и эмалево-волокнистой изоляций используются, как правило, для намотки электрических машин, аппаратов и приборов в тех случаях, когда при изготовлении обмоток провод испытывает повышенные механические нагрузки и нет жестких ограничений по толщине изоляции (ПБУ, ПСД, ПСДК, АПБ, АПБД, АПСД, ПЭЛБО, ПЭЛБД, ПЭЛШЮ).

Обмоточные провода с бумажной изоляцией относятся к ТИ-105 и выпускаются главным образом для изготовления обмоток масляных трансформаторов.

Обмоточные провода с пластмассовой изоляцией относятся к ТИ-105 и применяются в основном для изготовления обмоток наружных электродвигателей, которые работают в среде перекачиваемой жидкости при повышенных температурах и давлениях.

Обмоточные провода с пленочной изоляцией так же очень широко применяются для наружных проводов с пленочной изоляцией применяется для обмоток высоковольтных электрических машин. К их числу относятся прямоугольный провод марки ПШЛБО, изоляция которого состоит из 3 слоев лавсановой пленки и одного слоя хлопчатобумажной пряжи.

Обмоточные провода со стекловолокнистой изоляцией получили очень широкое распространение ввиду высокой надежности, повышенной нагревостойкости, стойкости к токовым перегрузкам. Они применяются в основном для обмоток электродвигателей для кранов: морских судов и сухих трансформаторов. Выпускаются они с медными и алюминиевыми жилами как круглого, так и прямоугольного сечения.

Основные требования, предъявляемые к обмоточным проводам с волокнистой изоляцией, состоят из того, чтобы у проводов с волокнистой изоляцией: не должно наблюдаться просветов между нитями обмотки, наложенной на провод, не должно быть разрывов нитей при навивании провода на сталь-

ной стержень диаметром, равным пятикратному диаметру (но не менее 3мм) провода с волокнистой изоляцией в два слоя (ПБД), или при навивании провода с однослойной изоляцией (ПБО) на стержень, равным десятикратному диаметру провода (но не менее 6мм).

Электроизоляционные свойства обмоточных проводов с волокнистой изоляцией относительно невысоки, т.к. все виды волокнистой изоляции гигроскопичны, т.е. поглощают влагу из воздуха. Обмотки, выполненные из проводов с волокнистой изоляцией, нуждаются в тщательной сушке и пропитке изоляционными лаками или в компаундировании. Наибольшей механической прочностью обладает обмотка из лавсановых волокон, повышенной нагревостойкостью отличается обмотка из стеклянной пряжи.

Такого вида обмоточные провода применяют для более тяжёлых условий работы в тяговых шатных электродвигателях и в других электрических машинах и аппаратах, где для эмалевой изоляции требуется защитное покрытие из волокнистых материалов. Так же в тех случаях, когда при изготовлении обмоток провод испытывает повышенные механические нагрузки, и нет жестких ограничений по толщине изоляции. Кроме медных и алюминиевых проводов с эмалевой, волокнистой и эмалево-волокнистой изоляцией, выпускаются также обмоточные провода из сплавов высокого сопротивления (манганин, константан и нихром).

11.3. Установочные провода

Установочные провода и шнуры применяются для неподвижных прокладок в силовых и осветительных установках. Они служат для распределения электрической энергии, а также для присоединения к сети электродвигателей, светильников и других потребителей тока. Токопроводящие жилы установочных проводов изготавливают из медной или алюминиевой проволоки. Жилы изолируют электроизоляционной резиной, полиэтиленом или полихлорвиниловым пластиком. Поверх изоляции накладывают защитный покров в виде оплетки из хлопча-

тобумажной или шелковой пряжи. У некоторых проводов защитный покров пропитывают противогнилостным составом. В отдельных конструкциях проводов наружную оплетку изготавливают из стальных оцинкованных проволок для защиты от легких механических воздействий (ПВ, АПВ, АПП, ПР, АПР, ПРГ).

Монтажные провода общего применения выпускаются обычно с медными лужеными жилами с волокнистой, пластмассовой и комбинированной изоляцией в капроновой оболочке или без неё и предназначены для работы при переменном напряжении до 1000В в диапазоне температур от -50 до +70 °С.

Нагревостойкие монтажные провода изготавливаются с применениями изоляции из сшитого полиэтилена, кремнийорганической резины, фторопластов, а также комбинаций стекловолокна с фторопластовой плёнкой, что позволяет их использовать в интервале температур от -60 до +250 °С. Высоковольтные монтажные провода (ПВМП-2) с полиэтиленовой изоляцией используются при напряжениях 2;2,5 и 4 кВ при температурах от -60 до +85 °С.

Наибольшей гибкостью обладают многопроволочные провода, жила которых состоит из большого числа тонких проволок. Монтажные провода выпускают с лужеными медными жилами. Это облегчает подпайку проводов к различным частям электрических аппаратов и устройств.

11.4. Силовые кабели

Силовые кабели предназначены для передачи и распределения электрической энергии при напряжении промышленной частоты и постоянном напряжении и являются наиболее ответственными изделиями кабельной отрасли.

Основную классификацию силовых кабелей составляет значение номинального напряжения, при котором кабель может работать длительное время.

1. Низкого напряжения:

а) с бумажной пропитанной изоляцией 1) с пластмассовой изоляцией

-двужильный
-одножильный

б) с пластмассовой изоляцией
двужильный
-трехжильный

в) с резиновой изоляцией
-трехжильный

2. Высокого напряжения:

2) с бумажной пропитанной изоляцией

3) маслonaполненные и газонаполненные
- низкого давления
- высокого давления
-четырёхжильный

Система маркировки: медные токопроводящие жилы не обозначаются специальной буквой, а алюминиевые жилы обозначаются буквой А, которая ставится в начале марки кабеля: П – полиэтилен, В – поливинилхлоридный пластикат, Р – резина, Пс – самозатухающий полиэтилен, Пв – вулканизированный полиэтилен.

Бумажная пропитанная изоляция не имеет буквенного обозначения. Третья буква марки кабеля обозначает тип защитной оболочки: А – алюминиевая, С – свинцовая, П – полиэтиленовая, В – поливинилхлоридная, Р – резиновая, НР – оболочка из резины, не поддерживающая горения. Последние буквы обозначают и защитное покрытие: Б – броня из двух стальных оцинкованных лент с антикоррозийным защитным покровом, Би – то же, но не с горючим защитным покровом, Р – отсутствие защитных покровов поверх брони или оболочки, К – броня из круглых стальных оцинкованных проволок с защитным покровом, П – броня из плоских стальных оцинкованных проволок с защитным покровом, Бб – броня из профилированной стальной ленты, Шв (Шп) – защитный покров из впрессованного шланга из поливинилхлоридного пластика (полиэтилена).

Силовые кабели низкого напряжения с бумажной пропитанной изоляцией, делятся на кабели с поясной изоляцией (до 10 кВ) и с жилами, покрытыми свинцом (20 и 35 кВ). Силовые кабели с поясной изоляцией выпускаются трехжильного типа с

секторными жилами из меди или алюминия в диапазоне сечений 6-240 мм².

Силовой электрический кабель общего применения с пропитанной бумажной изоляцией состоит из токоведущих жил (из меди или алюминия) круглой или сегментной формы жилой изоляции из бумаги. Бумажная изоляция пропитана маслоканифольным составом заполнителей из жгутов сульфатной бумаги, которая проложена между жилами; поясной изоляцией из бумаги герметизирующей оболочки из свинца или алюминия; двухслойного битумного состава, между слоями кабельной пряжи, пропитанной противогнилостным составом. Кабели покрыты броней из стальных лент, у некоторых марки кабелей из плоских или круглых стальных оцинкованных проволок, покрытых битумным составом; кабельного покрова из пропитанного джута (пряжи), покрытый сверху слоем мела.

Бумажная пропитанная изоляция имеет большую гигроскопичность, значит, при её использовании необходимо применять металлические оболочки (свинцовые или алюминиевые), которые защищают от механических повреждений и коррозии специальными покрытиями. Недостатком силовых кабелей с бумажной пропитанной изоляцией является ограничение при прокладке на местности с большим перепадом высот, так как в этом случае пропиточный состав постепенно стекает в нижнюю часть трассы, что приводит к повышению давления в кабеле и может вызвать повреждение оболочки. Одновременно верхний участок кабеля лишается значительной части пропиточного состава, что приводит к образованию пустот и, следовательно, к уменьшению электрической прочности кабеля. В местностях с большим перепадом высот применяется кабель марки ЦСБ, бумажная изоляция которого пропитывается нестекающими пропиточными составами на основе синтетического церезина, обладающими большой вязкостью при рабочей температуре кабеля, хорошей адгезией к жиле и достаточно высокими электроизоляционными свойствами, что позволяет использовать их в сетях с напряжением до 10 кВ.

По виду изоляции и оболочки различают следующие силовые кабели: с пропитанной бумажной изоляцией в металличе-

ской оболочке; с бумажной изоляцией пропитанной нестекающим составом, в металлической оболочке; с пластмассовой изоляцией в пластмассовой или металлической оболочке; с резиновой изоляцией в пластмассовой, резиновой или металлической оболочках.

Кабели с отдельно свинцованными жилами сечением 120-150 мм², сохраняют достаточную гибкость, содержат меньшее количество пропиточного состава и имеют лучшие условия для теплоотвода. Недостатком их являются большая масса и повышенный расход металла для оболочек. Кабели в свинцовом и алюминиевом исполнении бывают либо одножильные, либо трехжильные, которые изолированы бумажной пропитанной изоляцией жил, каждая из которых имеет свинцовую оболочку, что позволяет создать в кабеле радиальное электрическое поле (марки: ОСБ, ОСК, АОСБ, АОСБГ, АОСК).

Силовые кабели с резиновой изоляцией, которые предназначены в основном для неподвижной прокладки с малыми радиусами изгиба в сетях переменного напряжения 660 В или постоянного напряжения 1,3,6 и 10 кВ.

Данные кабели могут иметь медные или алюминиевые токопроводящие жилы как круглой, так и секторной формы, изолированные изоляционной резиной. Поверх изолированных жил или сердечника кабеля накладывается оболочка из свинца, поливинилхлоридного пластиката или шланговой резины, а также сверху для упрочнения изоляции покрывают стальными лентами, защищенными антикоррозийным покровом. Силовые кабели с пластмассовой изоляцией предназначены для неподвижной прокладки и могут эксплуатироваться в электрических сетях переменного напряжения 1-35 кВ.

Это наиболее перспективный тип кабелей, поскольку они достаточно просты в изготовлении, удобны при монтаже и эксплуатации. Они изготавливаются в одно- и многожильном исполнении с медными и алюминиевыми токоведущими жилами круглой или секторной формы в диапазоне сечений 1,5-240 мм². Для кабеля на напряжение 1-10 кВ может использоваться как поливинилхлоридная, так и полиэтиленовая изоляция. Кабели на напряжение 35 кВ имеют только полиэтиленовую изоляцию,

которая обеспечивает более высокие электроизоляционные характеристики.

В настоящее время силовые кабели с пластмассовой изоляцией все шире приходят на смену кабелям с пропитанной бумажной изоляцией.

На напряжение 110-220 кВ изготавливаются, как правило, кабели низкого давления. Эти кабели имеют только медные луженые жилы сечением 120-800 мм, поверх которых накладывается бумажная изоляция, пропитанная маловязким минеральным маслом. При большой толщине изоляции (для кабеля на напряжение 220 кВ) иногда делаются дополнительные каналы под оболочкой кабеля. Свинцовая оболочка всегда усиливается двумя медными лентами, наложенными с различными шагами, а алюминиевая покрывается более влагостойким покрытием в виде шланга из поливинилхлоридного пластика. Для придания кабелю с алюминиевой оболочкой большей гибкости иногда применяют гофрирование оболочки. Поверх оболочек кабелей низкого давления накладываются защитные покрытия, при которых определяется условиями прокладки кабеля.

Контрольные вопросы к главе 11:

1. Какие кабели называют силовыми? Применение силовых кабелей, их маркировка.
2. Какие провода называют обмоточными? Какие виды изоляции обмоточных проводов?
3. Какие провода называют установочными? Приведите примеры.
4. Какие конструктивные особенности у силовых кабелей? Какая разница между кабелем и проводом?
5. Какие виды изоляции силовых кабелей? Какая изоляция используется для силовых кабелей на напряжение 6 кВ и 10 кВ?

Глава 12. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

12.1. Оптимальные режимы работы насосной установки

Количество электроэнергии, потребляемой агрегатом за время t , при работе с постоянной подачей и неизменным давлением определяется по формуле:

$$W = N \cdot t, \quad (12.1)$$

где t – время работы, ч.

В реальных установках насосные агрегаты обычно работают с переменной подачей и соответственно с переменным давлением. Вследствие этого мощность, потребляемая агрегатом в течение некоторого времени, принимает различные значения. Поэтому использование формулы (12.1) ограничивается случаями, когда насосная установка работает в равномерном режиме.

Для определения общего количества электроэнергии в кВт.ч, потребляемой насосными станциями при работе в неравномерном режиме, используется выражение:

$$W = \frac{N_6 T (1+q)}{\eta_{эд} 4} \left[(1+H_{\Pi}^*) + q^2(1-H_{\Pi}^*) \right], \quad (12.2)$$

где N_6 – мощность, потребляемая насосом при максимальной подаче, кВт; $H_{\Pi}^* = H_{\Pi}/H_6$ – относительный статический напор, T – длительность расчетного периода, ч; $q = Q_m/Q_6$ – относительная минимальная подача для данной установки, Q_m , Q_6 – наименьшая и наибольшая для данной насосной установки подача за расчетный период.

Мощность N_6 вычисляется при подстановке соответствующих значений максимальной для данной установки подачи Q_6 и напора H_6 , соответствующего этой подаче.

Уравнение (12.2) позволяет вычислить потребление энергии насосной установкой за **расчетный период времени T** при условии, что ее агрегаты поддерживают минимально необходимый напор, т.е. установка работает без превышения напора. Погрешность вычислений составляет $\pm (10-15) \%$.

Если зависимость $H = f(Q)$ выразить уравнением характеристики насоса, а не трубопровода, аналогичным образом можно получить выражение для **определения потребления электроэнергии насосным агрегатом** при работе с превышением напора:

$$W = \frac{N_6 T}{\eta_{эд}} \frac{(1+q)}{4} \left[(1+H_\Phi^*) + q^2(1-H_\Phi^*) \right], \quad (12.3)$$

где $H_\Phi^* = H_\Phi / H_6$ – относительный фиктивный напор насоса при нулевой подаче. Необходимо отметить, что в качестве расчетного периода принимается продолжительный отрезок времени, например, год, т.е. $T = 8760$ ч.

Количество электроэнергии, вычисленное по (12.3), соответствует **оптимальному режиму работы насосной установки**, т.е. работе без превышения напоров, при максимальных значениях КПД и т.д. В действительности реальные режимы работы отличаются от оптимальных, поэтому реальное энергопотребление в большинстве случаев превышает количество электроэнергии, вычисленное по (12.3).

Обычно энергопотребление насосных установок планируется на основе средних статистических норм, величины которых больше научно обоснованных. **Основным экономическим показателем работы насосной станции является удельный расход электроэнергии. Удельный расход энергии на подачу и отведение 1 тыс. m^3 воды в среднем в разных странах составляет 500-550 кВт.ч/тыс. m^3**

12.2. Методика расчета норм энергопотребления насосов, насосных станций и каскадов насосных станций с учетом старения оборудования

В условиях все более растущего дефицита топливно-энергетических ресурсов возникает потребность в совершенствовании механизма экономии потребления электроэнергии на действующих насосных станциях. В качестве основного рычага управления указанного механизма **выступает нормативная величина энергопотребления** за определенный период, которая базируется на нормативном удельном показателе энергозатрат и объеме перекачки соответственно для каждого конкретного или типовых объектов.

С помощью индивидуальных норм энергозатрат, графика водоподачи и некоторых других дополнительных исходных данных определяется полная нормативная величина энергозатрат на заданный период эксплуатации насосной станции. **Сопоставление фактических и нормативных величин энергозатрат позволит получить объективную оценку технического качества эксплуатации.**

У мелиоративных насосных станций с длинными напорными трубопроводами, когда на один трубопровод работает несколько агрегатов, годовое потребление электроэнергии, даже при идентичных графиках водоподачи отличается от среднего.

В основные задачи нормирования расхода электроэнергии входят:

- осуществление режима экономии электроэнергии;
- рациональное распределение и эффективное использование электроэнергии на насосных станциях;
- оценка качества эксплуатации насосных станций и установок по энергетической составляющей;
- планирование потребления электроэнергии;
- разработка мероприятий, направленных на соблюдение режима экономии топливно-энергетических ресурсов.

Исходными данными для нормирования электроэнергии являются: состав оборудования, рабочие характеристики насосов, результаты топогеодезической съемки, технические

характеристики электродвигателей, трансформаторных подстанций и линий электропередачи, характеристика напорных трубопроводов, плановый график водоподачи, режимы эксплуатации, физико-химический состав перекачиваемой воды, сведения о сроках эксплуатации оборудования.

Норма энергопотребления конкретной насосной станции определяется по формуле:

$$H = 1,03 \frac{2,72 H_{\Gamma}}{\eta_H \cdot \eta_{\Sigma} \cdot \eta_{TP} \cdot \eta_{П} \cdot \eta_{Л}} \cdot \left[\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{тыс. м}^3} \right] \quad (12.4)$$

где H_{Γ} — геометрическая высота подъема воды насосной станции;

η_H — средневзвешенное значение КПД насосов;

η_{Σ} — средневзвешенное значение КПД электродвигателей;

η_{TP} — КПД трубопровода, учитывающий потери энергии на преодоление силы трения в напорном трубопроводе и на местные сопротивления;

$\eta_{П}$ — КПД подстанции, учитывающий потери энергии на трансформаторной подстанции;

$\eta_{Л}$ — КПД линии, учитывающий потери энергии в линии электропередачи.

Средневзвешенные значения η рассчитываются по следующим зависимостям:

$$\eta_H = \frac{\eta_{H1} \cdot Q_1 \cdot H_1 \cdot T_1 + \eta_{H2} \cdot Q_2 \cdot H_2 \cdot T_2 + \dots + \eta_{Hn} \cdot Q_n \cdot H_n \cdot T_n}{Q_1 \cdot H_1 \cdot T_1 + Q_2 \cdot H_2 \cdot T_2 + \dots + Q_n \cdot H_n \cdot T_n} \quad (12.5)$$

$$\eta_{\Sigma} = \frac{\eta_{\Sigma 1} \frac{Q_1 \cdot H_1 \cdot T_1}{\eta_{H1}} + \eta_{\Sigma 2} \frac{Q_2 \cdot H_2 \cdot T_2}{\eta_{H2}} + \dots + \eta_{\Sigma n} \frac{Q_n \cdot H_n \cdot T_n}{\eta_{Hn}}}{\frac{Q_1 \cdot H_1 \cdot T_1}{\eta_{H1}} + \frac{Q_2 \cdot H_2 \cdot T_2}{\eta_{H2}} + \dots + \frac{Q_n \cdot H_n \cdot T_n}{\eta_{Hn}}} \quad (12.6)$$

где $\eta_{H1}, \eta_{H2}, \dots, \eta_{Hn}$ — КПД насоса в соответствующем режиме в период T ;

$\eta_{\varepsilon 1}, \eta_{\varepsilon 2}, \dots, \eta_{\varepsilon n}$ – КПД электродвигателя;

$Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ – подача насосного агрегата за планируемый период;

$H_1, H_2, \dots, H_n$ – манометрический напор насоса;

$T_1, T_2, \dots, T_n$ – время работы насосных агрегатов в планируемом периоде;

n – количество агрегатов на насосной станции.

В формуле (12.6) η_{mp} – коэффициент полезного действия трубопровода, учитывающий потери энергии на преодоление силы трения в напорном трубопроводе и на местные сопротивления.

$$\eta_{mp} = \frac{H_z}{H_z + h_w} \quad (12.7)$$

где h_w – величина потерь энергии в напорном трубопроводе, которая состоит из потерь на трение и на местные сопротивления.

$$h_w = K \cdot h_w^I + h_w^{II}, M \quad (12.8)$$

Величину потерь энергии на трение можно определить, воспользовавшись известной зависимостью Дарси-Вейсбаха

В процессе эксплуатации будет изменяться относительная шероховатость внутренней поверхности трубопровода, а, следовательно, и коэффициент гидравлического трения.

И.Е. Идельчик наблюдал следующую последовательность изменения характеристик состояния внутренней поверхности трубопровода: равномерная коррозия, загрязнение, слабые слоистые отложения, неравномерные отложения, значительные отложения. В результате при длительной эксплуатации величина потерь напора на преодоление гидравлического трения по длине может возрасти в два и более раза. Это приводит к перерасходу электроэнергии на насосных станциях, особенно оборудованных длинными напорными трубопроводами.

К одним из основных факторов, влияющих на интенсивность процессов отложений, отнесен **физико-химический состав перекачиваемой воды**. По характеру агрессивности воды выделено пять групп.

Группа А. Слабоминерализованные некоррозионные воды с показателем стабильности от $-0,2$ до $+0,2$, воды с незначительным содержанием органических веществ и растворенного железа.

Группа В. Слабоминерализованные коррозионные воды с показателем стабильности до $-1,0$; воды, содержащие органические вещества и растворенное железо менее 3 мг/л.

Группа С. Весьма коррозионные воды с показателем стабильности от $-1,0$ до $2,5$, но с малым содержанием хлоридов и сульфатов (менее $100-150$ мг/л) воды с содержанием железа более 3 мг/л.

Группа Д. Коррозионные воды с отрицательным показателем стабильности, но с большим содержанием сульфатов и хлоридов (более $500-700$ мг/л); необработанные воды с большим содержанием органических веществ.

Группа Е. Воды, характеризующиеся значительной карбонатной и малой постоянной жесткостью с показателем стабильности более $0,8$; сильно минерализованные и коррозионные с остатком более 2000 мг/л

Изменение абсолютной шероховатости в зависимости от срока эксплуатации напорного трубопровода учитывается по зависимости:

$$\Delta = \Delta_0 + \alpha \cdot t \quad (12.9)$$

где Δ_0 — начальная шероховатость, мм;

t — количество лет эксплуатации;

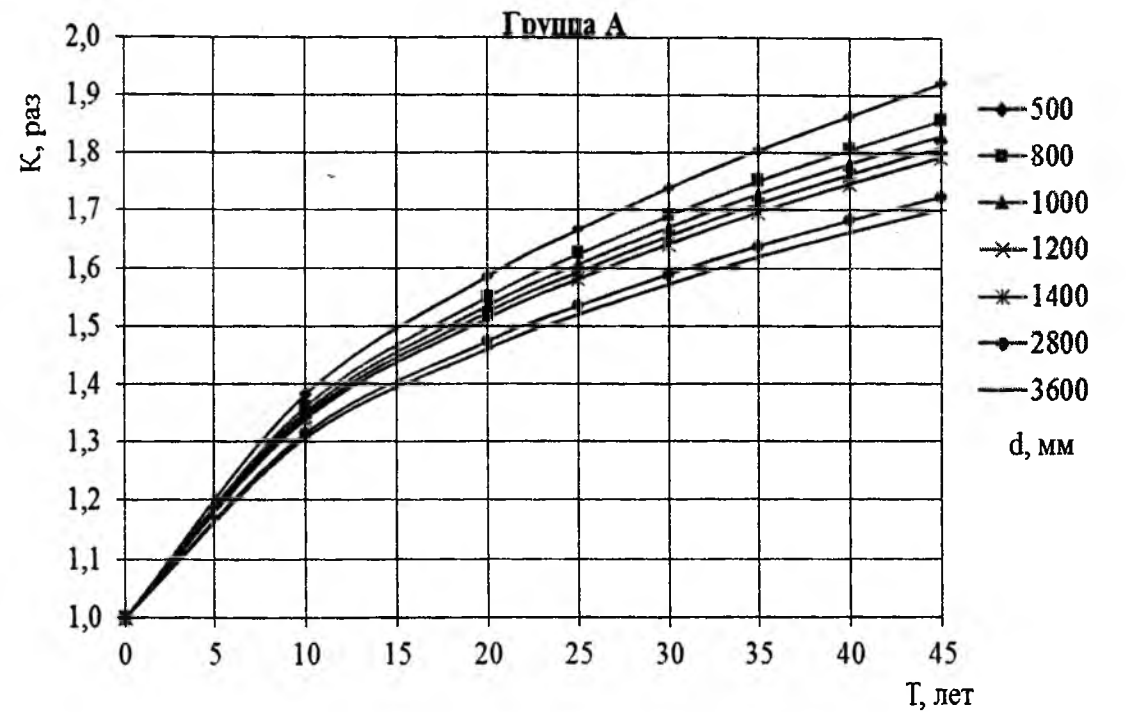
α — коэффициент увеличения абсолютной шероховатости, зависящий от физико-химических свойств перекачиваемой воды, равный для группы А — $0,025$, для группы В — $0,07$, для группы С — $0,20$, для группы Д — $0,51$, для группы Е — $1,0$ мм/год.

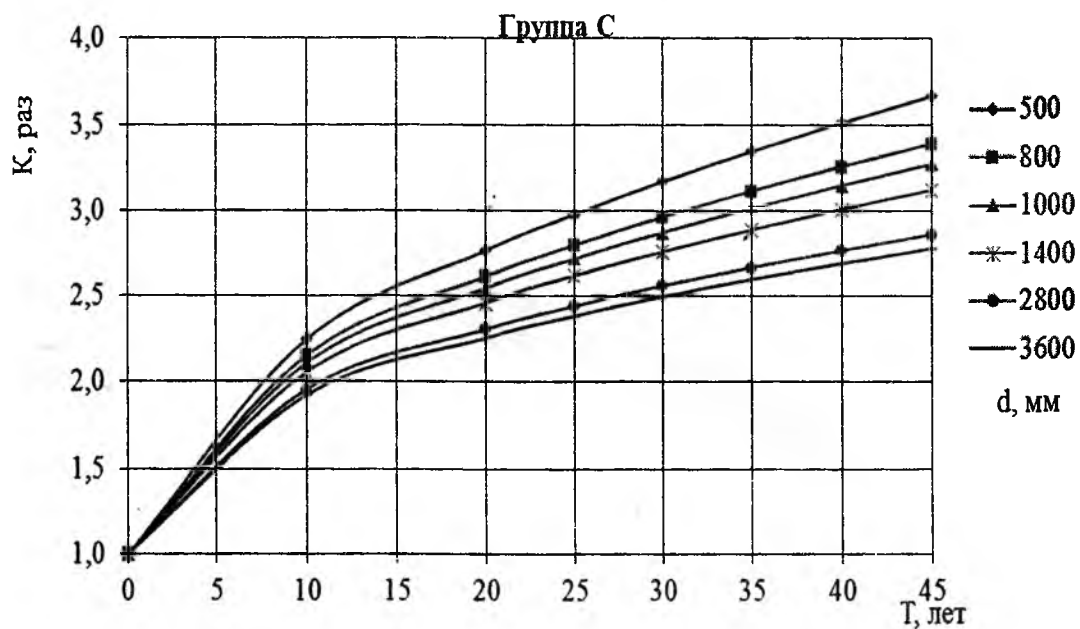
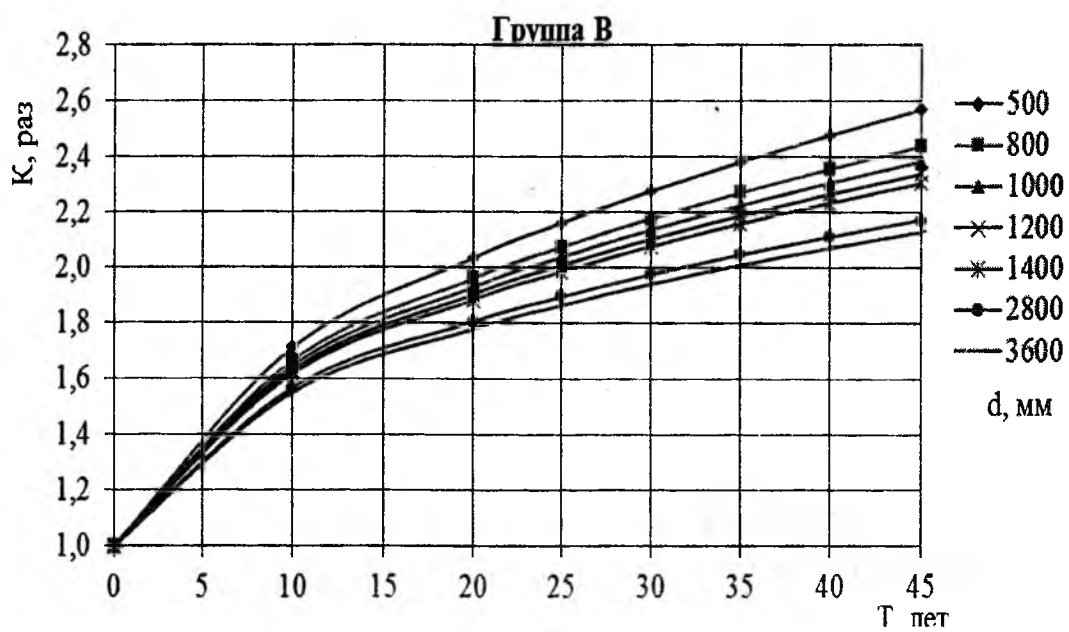
Коэффициент гидравлического трения определяется для зон квадратичного сопротивления по зависимости:

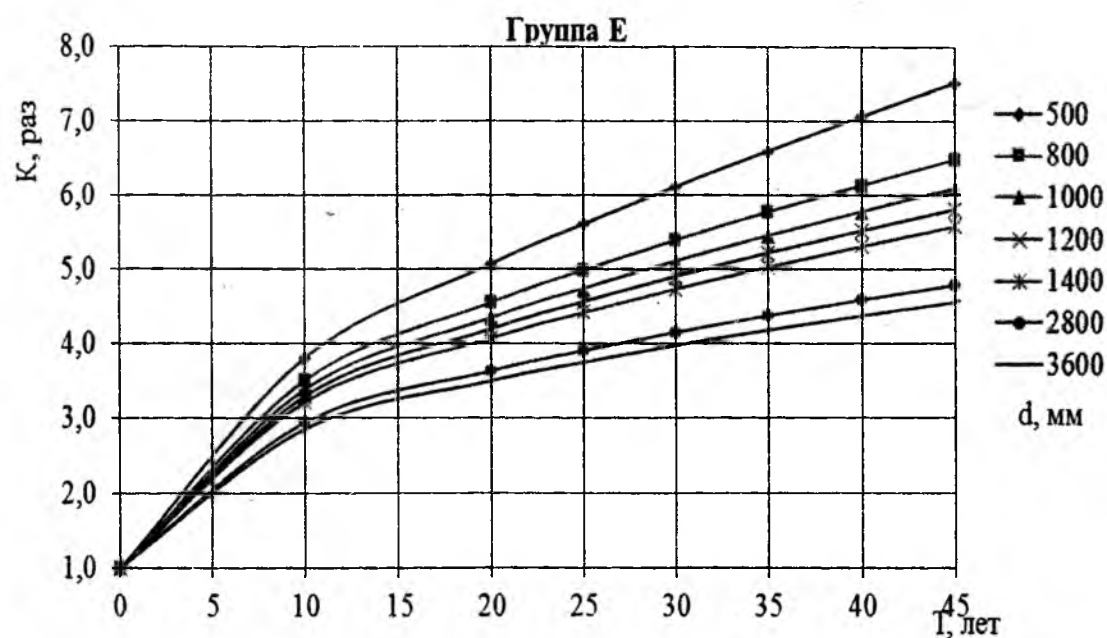
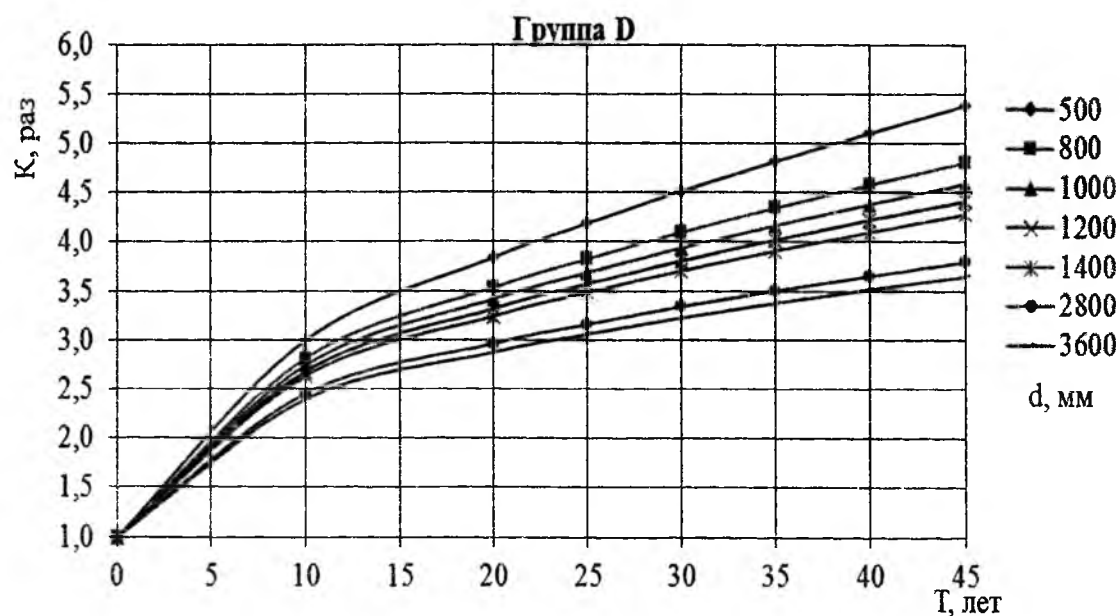
$$\lambda = \frac{1}{\left(2\lg \frac{3,7}{\Delta}\right)^2} \tag{12.10}$$

где Δ – относительная шероховатость.

12.3. Зависимости увеличения потерь энергии на гидравлическое трение при перекачке воды с различной агрессивностью







Контрольные вопросы к главе 12:

1. Сравните потребление электроэнергии, (потребляемой агрегатом за время t), при работе с постоянной подачей и неизменным давлением с работой в неравномерном режиме.
2. Какой основной экономический показатель работы насосной станции?

3. Какие задачи ставятся по нормированию расхода электроэнергии на насосных станциях?

4. Что приводит к перерасходу электроэнергии на насосных станциях, особенно оборудованных длинными напорными трубопроводами?

5. Как меняются нормы энергопотребления насосов, насосных станций и каскадов насосных станций с учетом старения оборудования?

Глава 13. СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА И СТОКА ЖИДКОСТИ НА НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ С БОЛЬШИМИ ДИАМЕТРАМИ ТРУБОПРОВОДОВ

13.1. Современное состояние измерения расхода и стока перекачиваемой воды на крупных каскадах насосных станций Узбекистана

Ирригационные насосные станции Узбекистана отличаются большими диаметрами напорных трубопроводов. Например, трубопроводы Каршинского, Джизакского, Аму-Бухарского каскадов насосных станций имеют внутренние диаметры 3600-4200 мм. В среднем по республике диаметры трубопроводов превышают 1400 мм.

Каршинский магистральный канал стоит в ряду крупнейших ирригационных сооружений Узбекистана, обеспечивающих водой земли Каршинской степи. Вода забирается из реки Амударья и поднимается при помощи каскада из семи уникальных по мощности насосных станций. Отличительной особенностью Каршинского каскада насосных станций является использование самых крупных осевых насосов. Подача каждого насоса составляет около $40 \text{ м}^3/\text{с}$. Это самая большая единичная величина подач насосов в странах СНГ. Семь крупнейших насосных станций Управления эксплуатации Каршинского магистрального канала оборудованы 38 напорными трубопроводами диаметром 3600 мм, остальные станции 25 напорными трубопроводами диаметрами от 1200 до 2000 мм.

Аму-Бухарский каскад насосных станций расположен в бассейне реки Амударья. Из 12 насосных станций 4 самые крупные станции являются основными каскадообразующими станциями Аму-Бухарского канала. На первом подъеме это насосные станции Хамза-1 и Хамза-2, а на втором подъеме станции Кую-Мазар и Кизилтепа. От насосной станции Хамза-2

вода поднимается по двум ниткам напорного трубопровода диаметром 4200 мм, длиной по 850 м. На насосной станции Кизилтепа вода подается от четырех насосных агрегатов в Хархурский гидроузел по двум ниткам напорного трубопровода диаметром 3200 мм и длиной по 800 м, а от шести агрегатов в Шафирканский гидроузел – по двум ниткам напорного трубопровода диаметром 3600 мм и длиной 1750 м.

В бассейне реки Сыр-Дарья самым крупным каскадом является Джизакский каскад, состоящий из трех насосных станций. Основной отличительной особенностью насосных станций Джизакского каскада является использование самых крупных центробежных насосных агрегатов, работающих параллельно на длинные пологие напорные трубопроводы. Диаметры этих трубопроводов 3600 и 4200 мм при длинах более 2 км. Такого сочетания диаметров и длин трубопроводов насосных станций нет нигде в мире.

Для таких больших диаметров трубопроводов до настоящего момента не разработаны **надежные способы и устройства для измерения расхода и стока перекачиваемой воды**. На сегодняшний день на насосных станциях не существует прямой электронный учет перекачиваемой воды. Расчет расхода ведется косвенными методами по паспортным характеристикам насосов, которые за годы их эксплуатации могут не соответствовать проектным параметрам, вследствие износа и старения насосов и электродвигателей, коррозии и эрозии трубопроводов и водопроводящих сооружений и т.д.

Важнейшим показателем энергоэффективности работы насосных станций являются удельные нормы расхода электроэнергии. Различные насосы и насосные станции при подаче определенного расхода воды (например 1000 м^3) потребляют разное количество электроэнергии. Это зависит от таких факторов как марка насоса и электродвигателя и срок их эксплуатации, геометрический напор, диаметр трубопровода и срок его эксплуатации, количество насосов, работающих параллельно или последовательно на одну нитку напорного трубопровода, состав перекачиваемой воды и других факторов.

Величина удельных норм измеряется в $[\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{тыс.м}^3]$, т.е. в потреблении киловатт-часов электроэнергии на одну тысячу кубометров перекаченной воды. Эта величина очень важна для выявления качества работы насосной станции. Она ежегодно утверждается для каждой насосной станции. Сопоставление фактических и нормативных величин энергозатрат дает объективную оценку технического качества эксплуатации, позволяет судить количественно об использованных резервах или об имеющихся технологических упущениях, т.е. является механизмом строгого контроля над энергопотреблением насосов и насосных станций и стимулирования экономии электроэнергии.

Однако, в то время как для определения числителя величины $[\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{тыс.м}^3]$ на каждой насосной станции установлены современные электронные счетчики потребления электроэнергии, для определения знаменателя этой величины до настоящего времени на насосных станциях нет прямых способов и устройств. Поэтому, на сегодняшний день, оценку качества эксплуатации насосов и насосных станций по сопоставлению фактической нормы с удельной нормой потребления электроэнергии нельзя считать объективной из-за недостоверности фактической нормы.

В мировой практике для измерения расхода воды в основном применяются два типа расходомеров: электромагнитные и ультразвуковые.

13.2. Электромагнитные расходомеры

Электромагнитные расходомеры основаны на измерении ЭДС, индуцируемой в потоке электропроводной жидкости, которая при своем движении пересекает магнитное поле. В соответствии с законом электромагнитной индукции ток, возникающий в жидкости перпендикулярен как направлению движения, так и направлению магнитного поля. Индуцируемая ЭДС пропорциональна скорости пересечения проводников магнитного поля, т.е. скорости движения жидкости. Посредством измерения индуцированной ЭДС можно измерять скорость как в открытых руслах, так и в трубопроводах.

Однако описанные расходомеры способны работать при диаметрах трубопроводов не более 100-300 мм. Таких трубопроводов на ирригационных насосных станциях Узбекистана практически нет. Также на насосных станциях при работе мощного, высоковольтного основного оборудования возникают значительные магнитные поля, а вокруг здания блуждающие токи, которые оказывают существенное негативное влияние на правильность показаний расходомеров, так как выходные показатели расходомеров крайне малы.

13.3. Ультразвуковые расходомеры

Принцип действия ультразвуковых расходомеров основан на **явлении смещения звукового колебания движущейся средой**. Когда колебания распространяются по направлению скорости потока, то они тем быстрее достигают заданной точки, чем больше скорость или расход потока. Существуют несколько методов измерений в ультразвуковых расходомерах:

- метод измерения разности в фазовых сдвигах двух ультразвуковых колебаний, направленных по потоку или против него;
- метод измерения разности частот повторения коротких импульсов или пакетов ультразвуковых колебаний, направляемых одновременно по потоку или против него;
- метод измерения разности прохождения коротких импульсов, направляемых одновременно по потоку или против него.

На ирригационных насосных станциях Узбекистана ранее несколько пилотных образцов ультразвуковых расходомеров. Опыт их эксплуатации показал, что ультразвуковые расходомеры имеют достаточную точность при измерении расходов чистых жидкостей без примесей, например, питьевой воды. При измерении расходов на ирригационных насосных станциях, перекачивающих воду с разной степенью мутности, звук, неравномерно отражаясь от каждой частицы примесей, значительно искажает показатель скорости, и соответственно, расхода воды.

13.4. Расходомер, основанный на определении разности гидродинамического и гидростатического напоров

Научно-производственным предприятием «Водоподъемник» обосновано использование способа определения расхода и учета подачи воды, основанного на измерении скорости движения жидкости в одной точке сечения трубопровода, в которой локальная скорость равна средней скорости в данном сечении. Способ определения скорости основан на дифференциальном преобразовании гидродинамического и гидростатического напоров. Произведение полученной при этом скорости на площадь живого сечения трубопровода равно объемному расходу потока. Такой способ измерения получил официальный статус по определению объемного расхода жидкости методом измерения скорости в одной точке сечения цилиндрической трубы.

Преимущество этого способа заключается в том, что посредством его можно измерять расход и сток воды на насосных станциях с любыми, в том числе и самыми большими диаметрами трубопроводов.

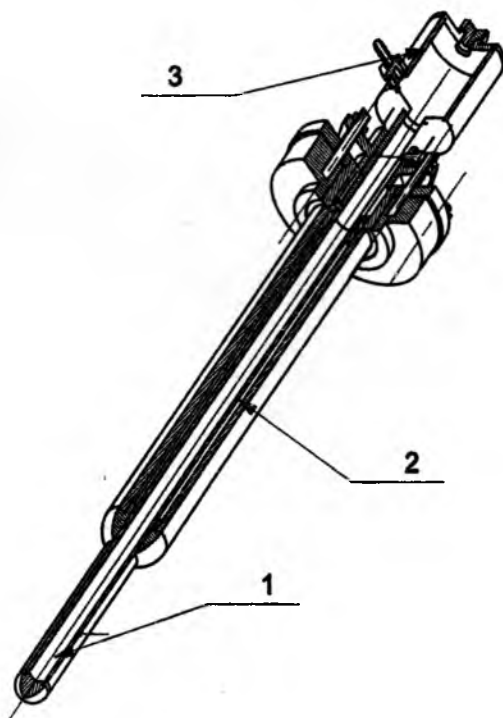


Рис. 13.1. Первичный преобразователь расходомера
1 – напорная трубка, 2 – корпус трубки, 3 – отстойник

В настоящее время НПП «Водоподъемник» освоило технологию автоматизации способа и создало опытные электронные устройства измерения расхода воды на насосных станциях с большими диаметрами трубопроводов. Для измерения скорости потока разработана конструкция первичного преобразователя – напорной трубки (рисунок 13.1), установленной в точке средней скорости, принятой равной 0,242 радиуса от внутренней стенки трубопровода. Конструкция первичного преобразователя выбрана в зависимости от диаметра трубопровода, значения местной скорости потока, диапазона измерений, избыточного давления и свойств измеряемой среды (плотности, агрессивности, наличия твердых тел и т.п.).

Конструкторская документация первичного преобразователя расходомера для насосных станций с большими диаметрами трубопроводов разработана в виде 3D-модели (рисунок 13.2). Это позволяет изготавливать гидромеханическую часть первичного преобразователя непосредственно на станках с числовым программным управлением.



Рис. 13.2. Трехмерная модель первичного преобразователя расходомерного устройства

Схема расходомера в сборе для насосных станций с большими диаметрами трубопроводов представлена на рисунке 13.3. Для преобразования разности давления в электрический сигнал используется малогабаритный измерительный преобразователь дифманометр с компенсацией магнитных потоков, имеющий токовый выходной сигнал. Выходные сигналы: токовый выход 4-20 мА, импульсный (вес импульса задается пользователем), RS232, USB, поддерживается протокол ModBUS RTU для подключения датчиков давления. Разработана печатная плата микроэлектронного стокомерного устройства, которая позволяет принимать и обрабатывать токовый сигнал на расстоянии до 1000 метров. Кроме того, возможна передача данных расхода и стока жидкости через GSM сим-карту.

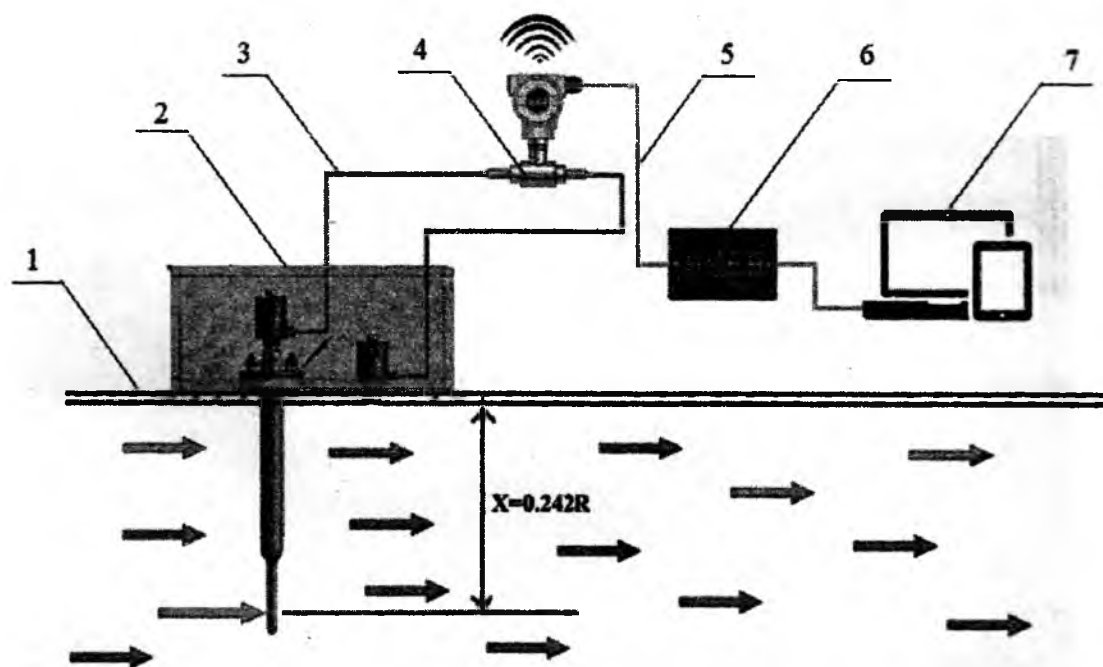


Рис. 13.3. Схема расходомера в сборе для насосных станций с большими диаметрами трубопроводов с использованием разработанной 3D-модели: 1 – трубопровод с большими диаметрами, 2 – первичный преобразователь расходомера, 3 – гидравлический сигнал, 4 – устройство дифференциального преобразования разности гидродинамических напоров в унифицированный токовый сигнал, 5 – электрический сигнал, 6 – микроэлектронное стокомерное устройство, 7 – компьютер.

Для преобразования выходного сигнала в компьютере в величину расхода и стока перекачиваемой жидкости разработана «Программа измерения расхода и расчета стока воды на насосных станциях». Интерфейс программы представлен на рисунке 13.4.

Определена погрешность измерения расхода в напорных трубопроводах большого диаметра.

Первичный преобразователь - трубка, установленная в точке средней скорости, принятой равной 0,242 радиуса от внутренней стенки трубопровода. Погрешность измерения составляет $+0,5$ мм. При доверительной вероятности 0,95 абсолютное среднее квадратичное отклонение результатов измерения составляет $G_c = 0,25$ мм.

Толщина стенки трубопровода равна измеряется индикаторным толщиномером с погрешностью $+2\%$, следовательно, абсолютное среднее квадратичное отклонение равно $G_c = 0,1$ мм

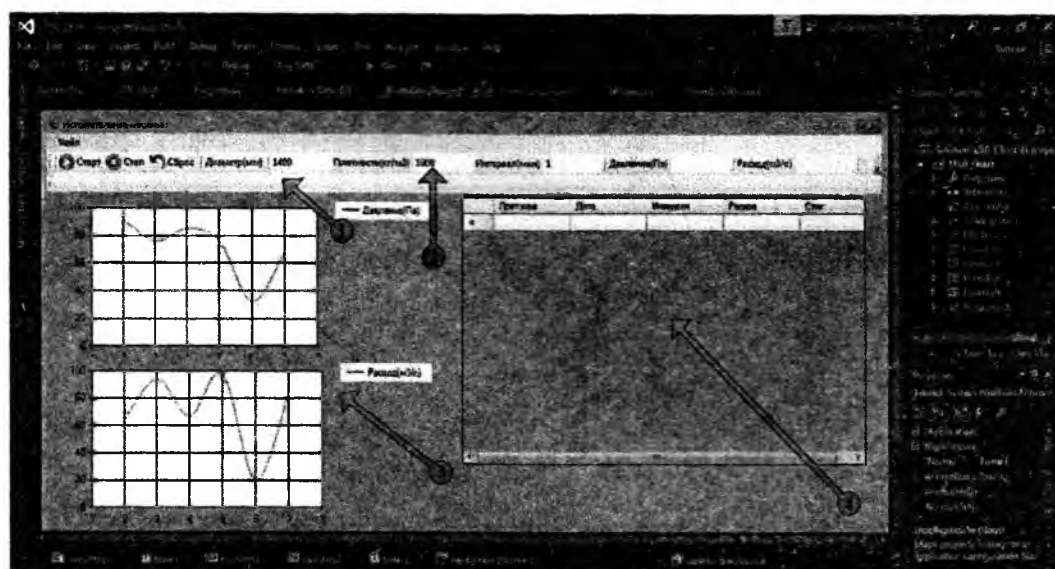


Рис. 13.4. Интерфейс программы преобразования выходного токового сигнала в величину расхода и стока перекачиваемой жидкости:

1 – ввод исходного диаметра трубопровода, 2 – ввод плотности жидкости, 3 – результаты измерения разности давления и расчета расхода жидкости, 4 – результаты расчета стока жидкости.

Среднее квадратичное отклонение определения площади измерительного сечения определяется по формуле:

$$\frac{\sigma_w}{w} = \frac{4}{D-2c} \cdot \sqrt{\frac{1}{4}\sigma_D^2 + \sigma_c^2} = 0.00046$$

Погрешность измерения локальной скорости зависит от погрешности градуировочного коэффициента напорной трубки и класса точности вторичной аппаратуры.

Градуировочный коэффициент напорной трубки с погрешностью $\sigma_{н.т.} = \pm 1 \%$. В качестве вторичной аппаратуры применяется малогабаритный измерительный преобразователь с компенсацией магнитных потоков дифманометр, класс точности - 1,0 и регистрирующий прибор, класс точности - 1,5. Таким образом, среднее квадратичное отклонение измерений скорости определяется по формуле:

$$\frac{\sigma_V}{V} = \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_{н.т.}^2 + \sigma_{д.м.}^2 + \sigma_{р.п.}^2}$$

Подставляя числовые значения, получим:

$$\frac{\sigma_V}{V} = \frac{1}{2} \sqrt{0,01^2 + 0,01^2 + 0,015^2} = 0,01$$

Для труб диаметром от 1400 мм, допуск на овальность составляет 10 мм. Устройство для установки первичного преобразователя дает возможность установить его с погрешностью не более ± 2 мм.

Таким образом, погрешность установки первичного преобразователя вычисляется по формуле:

$$2\sigma_y = \frac{1}{2} \sigma_{о.т.} + \sigma_{н.п.}$$

где σ_y - погрешность установки первичного преобразователя; $\sigma_{н.л.}$ - погрешность, возникающая при установке первичного преобразователя.

Окончательно, предел допускаемой погрешности измерения расхода с доверительной вероятностью 0,95 составил 2,2 %.

Таким образом, решается проблема создания высокопроизводительных приборов и эталонных средств, методов измерений и контроля для отраслей экономики содержащих крупные насосы и насосные станции с большими диаметрами трубопроводов. Прибор создается собственными силами без привлечения иностранных технологий и материалов. Для изготовления оборудования не требуется разработка новых видов материалов, что позволяет значительно повысить показатели экономической эффективности и импортозамещения в соответствующих отраслях экономики.

Контрольные вопросы к главе 13:

1. Какие особенности имеют Джизакский, Каршинский и Аму-Бухарский каскады насосных станций? В чем заключается уникальность этих каскадов?

2. Для чего на насосных станциях нужен прямой электронный учет перекачиваемой воды? Что является важнейшим показателем энергоэффективности работы насосных станций?

3. Охарактеризуйте принцип работы электромагнитного расходомера для измерения расхода воды на насосных станциях.

4. Охарактеризуйте принцип работы ультразвукового расходомера для измерения расхода воды на насосных станциях.

5. В чем преимущества автоматизированного способа и электронного устройства измерения расхода воды, основанного на дифференциальном преобразовании гидродинамического и гидростатического напоров в унифицированный токовый сигнал, для насосных станций с большими диаметрами трубопроводов?

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение №1

Таблица для определения коэффициента гидравлического трения

Режим движения		Число Рейнольдса	Определение λ
Ламинарный		$Re < 2300$	$\lambda = \frac{64}{Re}$ или $\lambda = \frac{75}{Re}$
Переходный		$2300 < Re < 4000$	Проектирование трубопроводов не рекомендуется
Турбулентный	1-я область	$4000 < Re < 10 \frac{d}{\Delta_z}$	$\lambda_r = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$ (ф-ла Блазиуса) $\lambda_r = \frac{1}{(1,81 \lg Re - 1,5)^2}$ (ф-ла Конакова)
	2-я область	$10 \frac{d}{\Delta_z} < Re < 560 \frac{d}{\Delta_z}$	$\lambda_r = 0,11 \left(\frac{\Delta_z}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$ (ф-ла Альтуля)
	3-я область	$Re > 560 \frac{d}{\Delta_z}$	$\lambda_r = 0,11 \left(\frac{\Delta_z}{d} \right)^{0,25}$ (ф-ла Альтуля) $\frac{1}{\sqrt{\lambda_r}} = -2 \lg \left(\frac{\Delta_z}{3,71d} \right)$ (ф-ла Никурадзе)

Приложение №2

Отношение $\frac{E_{ж}}{E_{тр}}$ для воды в зависимости от материала стенки трубы

Вид труб	$\frac{E_{ж}}{E_{тр}}$
Стальные	0,01
Чугунные	0,02
Асбестоцементные	0,11
Полиэтиленовые	1...1,45
Бетонные	0,10...0,14
Резиновые	333...1000

Приложение №3

Соотношения между единицами измерения

а) давления

Единицы	Н/м ²	кг.с/см ² (атм)	кг.с/м ²	Мм. вод.ст	М. вод.ст.	Мм. рт.ст.	бар
1 Н/м ²	1	10,2•10 ⁶	0,102	0,102	102•10 ⁻⁶	7,5•10 ⁻³	10 ⁻⁵
1 кг.с/см ² (атм)	9,81•10 ³	1	10 ⁴	10 ²	10	735,6	0,981
1 кг.с/м ²	9,81	10 ⁻⁴	1	1	10 ⁻³	73,5•10 ⁻³	
1 мм вод.ст.	9,81•10 ³	0,1	10 ³	1	10 ³		98,1•10 ⁻³
1 м вод.ст.	133,3	1,36•10 ⁻³	13,6	13,6	1	73,56	1,33•10 ⁻³
1 бар	10 ⁵	1,02	10,2•10 ³	10,2•10 ³	10,2	750	1

б) кинематической вязкости:

$$1 \text{ м}^2/\text{с} = 10^4 \text{ см}^2/\text{с} (\text{Ст}) = 10^6 \text{ мм}^2/\text{с} (\text{С} \cdot \text{Ст});$$

в) динамической вязкости:

$$1 \text{ Н.с/м}^2 = 0,102 \text{ кг.с/м}^2 = 10 \text{ дин.с/см}^2 (\text{П});$$

$$1 \text{ кг.с/м}^2 = 9,81 \text{ Н.с/м}^2 = 98,1 \text{ дин.с/см}^2 (\text{П});$$

$$1 \text{ дин.с/см}^2 (\text{П}) = 0,1 \text{ Н.с/м}^2 = 10,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг.с/м}^2.$$

Плотность, вязкость, коэффициенты объемного расширения и сжатия некоторых жидкостей

Наименование жидкости	Плотность ρ , кг/м ³	Динамический коэффициент вязкости μ , 10 ³ Н·с/м ²	Кинематический коэффициент вязкости 10 ⁶ , м ² /с	Коэффициент объемного расширения 10 ³ град ⁻¹	Коэффициент объемного сжатия 10 ³ м ² /МН
Вода	998,2	1,00	1,006	0,20	0,49
Этиловый спирт	790	1,20	1,52	1,10	0,78
Ртуть	13546	1,54	0,114	0,18	0,039
Глицерин	1260	1490	11800	0,49	0,25
Керосин	820	2,05	2,5	0,96	0,77
Воздух	1.2	0,0179	14,9	-	-
Метан	0,668	0,0111	16,6	-	-

Примечания: 1. Значения ρ и коэффициентов для воздуха и метана приведены при относительной влажности 0,5.

2. При выполнении технических расчетов можно принимать следующие значения плотности воды и ртути: $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{\text{рт}} = 13600 \text{ кг/м}^3$.

Соотношения Международной системы с внесистемными единицами

Единицы силы	
1 Н = 0,102 кг.с	1 кг.с = 9,81 Н
1 Н = 10 ⁵ дин	1 дин = 10 ⁻⁵ Н
1 Н = 1,02•10 ⁻⁴ тс	1 тс = 19810 Н
Единицы давления	
1 Па = 0,102 кг.с/м ²	1 кг.с/м ² = 9,81 Па
1 Па = 10 дин/см ²	1 дин/см ² = 0,1 Па
1 Па = 1,02•10 ⁻⁵ атм	1 атм = 1 кг•с/м ² = 9,81•10 ³ Па
1 Па = 1,02•10 ⁻⁴ тс/м ²	Па
1 Па = 10 ⁻⁵ бар	1 тс/м ² = 9,81•10 ³ Па
	1 бар = 10 ⁵ Па
Единицы работы, энергии, количества теплоты	
1 Дж = 0,102 кг.с•м	1 кг.с•м = 9,81 Дж
1 Дж = 10 ⁷ эрг	1 эрг = 10 ⁻⁷ Дж
1 Дж = 0,239 кал	1 кал = 4,19 Дж
1 Дж = 2,78•10 ⁻⁴ Вт•ч	1 Вт•ч = 3,6•10 ³ Дж
1 Дж = 3,78•10 ⁻⁷ эрг/с	1 л.с•ч = 2,65•10 ⁶ Дж
Единицы мощности	
1 Вт = 0,102 кг.с•м/с	1 кг.с•м/с = 9,81 Вт
1 Вт = 0,36•10 ⁻³ л.с	1 л.с = 736 Вт
1 Вт = 0,862 ккал/ч	1 ккал/ч = 1,16 Вт
1 Вт = 10 ⁷ эрг/с	1 эрг/с = 10 ⁻⁷ Вт
Единицы вязкости	
1 Па.с = 10 П	1 П = 0,1•Па.с
1 Па.с = 0,102 кг.с•с/м ²	1 кг•с•с/м ² = 9,81 Па.с
1 м ² /с = 10 ⁻⁴ Ст	1 Ст = 10 ⁻⁴ м ² /с

Определение коэффициента трения использованием различных формул

Формула	Применимость	Область трения
$\lambda = \frac{64}{Re}$	$Re < 2320$	Ламинарное течение
$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{68}{Re} \right)^{0,25}$	$2320 < Re < 20 \cdot \frac{d}{e}$	Гидравлически гладкие трубы
$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{68}{Re} + \frac{e}{d} \right)^{0,25}$	$20 \cdot \frac{d}{e} < Re < 500 \cdot \frac{d}{e}$	Гидравлически шероховатые трубы
$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{e}{d} \right)^{0,25}$	$Re > 500 \cdot \frac{d}{e}$	Автомодельная (квадратичная) область

Примечание: d – диаметр трубопровода, м;
e – абсолютная шероховатость материала труб, м.

Постоянные времени системы «электрическая сеть – синхронный двигатель – насос – трубопровод» [75]

Таблица П-7-1

Элемент системы	Гидромеханический агрегат		Турбомеханический агрегат		Генератор		Регулятор возбуждения		Двигатель нагрузки								
	РЕГУЛЬНИКОВОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ		КП ОАТРОЕЛ ПРОВОД ТУРБИНА		СТАТОР РОТОР ВОЗБУДИТЕЛЬ		ГИДРО ТУРБО		ИЗМЕРИТЕЛЬН. ПРЕОБРАЗОВ. СИЛОВОЙ		Электр. параметры		Мех. пар. вода				
											Элемент						
											Мех. пар-ры						
Постоянные времени в сек.	2-40	1-2	3-10	20-200	0,2-7	0,2-3	0,08	2-12	0,2-2	3-16	6-18	0,01	0,05	0,1	0,02	0,5-5	0,2-6

Постоянные времена протекания переходных процессов [75, 63]

Таблица П-7-2

Вид переходного процесса	Волновой	Электро- и гидромеханический
Время протекания, сек	$10^{-3} - 10^{-8}$	$10^{-1} - 10^{-2}$
		(1-8)10 ⁻¹ и десятки сек. и минуты

ГЛОССАРИЙ

Агрегат насосный – комплект механических устройств, включая насос, привод вместе с элементами трансмиссии, опорной плитой и различного вспомогательного оборудования.

Агрессивное действие воды на бетон – способность воды разрушать бетон, воздействуя на него растворенными солями и газами или выщелачивая его составные части. Различают агрессивность следующих видов: 1) углекислотную; 2) выщелачивающую; 3) общекислотную; 4) сульфатную; 5) магниальную. Первые три вида агрессивности в той или иной степени зависят от карбонатного равновесия воды, и сущность их заключается в растворении карбоната кальция в бетоне, соприкасающемся с водой.

Атмосферное давление – это абсолютное давление, создаваемое атмосферой. Величину атмосферного давления определяют с помощью барометров, поэтому второе название ему – барометрическое.

Баланс грунтовых вод – количественное выражение кругооборота грунтовой воды определенного района. Приходная часть Б. г. в. составляется за счет питания атмосферными осадками (а также конденсации водяных паров) и поглощения вод рек, озер и т. д., расходная часть – за счет подземного стока и испарения с поверхности грунтовых вод.

Безнапорное движение – это движение жидкости, при котором поток имеет свободную поверхность, а давление атмосферное.

Биение вала – суммарное радиальное отклонение, определяемое приспособлением для измерения положения вала относительно гнезда подшипника при поворачивании вручную вала в горизонтальном положении в своих подшипниках.

Быстроходность – частота вращения, которая характеризует насос в терминах его числа оборотов, скорости истечения потока на лопаточном пространстве рабочего колеса крыльчат-

ки, то есть совокупного потока для однопоточного лопастного колеса, половины потока для двухпоточного лопастного колеса, в точке наилучшей эффективности и напоре в ступени с максимальным диаметром этого колеса.

Вакуумметр – прибор для измерения давления ниже атмосферного. Наибольшее распространение на практике получили механические пружинные вакуумметры. В силу специфики своего устройства, механические вакуумметры показывают не абсолютное давление, а разрежение (вакуум), т.е. величину, на которую абсолютное давление меньше чем атмосферное.

Вакуумметрическое давление, или вакуум, – недостаток давления до атмосферного (дефицит давления), т. е. разность между атмосферным или барометрическим и абсолютным давлением.

Вакуумный насос – аппарат, способный понижать давление в некотором резервуаре.

Вертикальный насос – аппарат, ось рабочего колеса у которого установлена вертикально.

Вихревой насос – характеризуется работой вихревого колеса, представляющего собой плоский диск с короткими радиальными прямолинейными лопастями, расположенными на периферии колеса. В корпусе имеется кольцевая полость, в которую и входят лопасти колеса. Внутренний уплотняющий выступ, плотно примыкая к наружным торцам и боковым поверхностям лопастей, разделяет всасывающий и напорный патрубки, соединенные с кольцевой полостью. При вращении колеса жидкость увлекается лопастями и, одновременно, под воздействием центробежной силы, закручивается. Таким образом, в кольцевой полости работающего насоса образуется своеобразное парное кольцевое вихревое движение, почему насос и называется вихревым. Особенность работы вихревого колеса заключается в том, что одна и та же частица жидкости, двигаясь по винтовой траектории, на участке от входа в кольцевую полость до выхода из неё многократно попадает в межлопастное пространство колеса, где каждый раз получает дополнительное приращение энергии, а, следовательно, и напора. Благодаря этому вихревой насос в состоянии развить напор в 2-4

раза больший, чем центробежный насос при одном и том же диаметре колеса и тех же оборотах.

Вода – химическое соединение водорода и кислорода. По В.И. Вернадскому H_2O со значением n , равным 1 – 6. Современные достижения в области химии показывают, что химическую природу В. нельзя считать окончательно выясненной. Например, установлено, что не все молекулы В. одинаковы: наряду с обычными, имеющими вес 18, присутствуют молекулы весом 19, 20, 21 и даже 22. Это обусловлено тем, что некоторые молекулы В. состоят не из обычных атомов кислорода и водорода, имеющих атомный вес 16 и 1, а из атомов более тяжелых, весом 17 и 18, как теперь принято обозначать, O^{17} и O^{18} . В природных условиях В. не встречается в химически чистом виде. В результате постоянного соприкосновения с различными веществами В. представляет собой раствор часто весьма сложного состава.

Водный баланс – соотношение между приходом и расходом воды в пределах конкретного района. Составными частями В. б. являются атмосферные осадки, поверхностные воды, испарение и сток воды (поверхностный и подземный).

Водообеспеченность – степень удовлетворения фактической потребности в воде хозяйства предприятия, орошаемой площади, отрасли народного хозяйства.

Водосборная площадь – 1. Площадь, с которой в водоток или в водоем стекают поверхностные воды. 2. Площадь, с которой притекают подземные воды к скважине, колодцу и другой выработке при откачке из них воды.

Водосборный бассейн – площадь, с которой поверхностные и подземные воды стекают в данную реку, озеро, море.

Возвратные воды – воды, стекающие с территории оросительных систем. Они состоят из сбросных вод, т. е. вод поверхностного стока, и дренажных, т. е. вод подземного стока. К сбросным водам относятся: 1) сбросные воды с поливных участков, в частности с рисовых полей; 2) воды из оросительной сети, сбрасываемые через сбросные каналы в случае необходимости срочного прекращения или уменьшения подачи воды. К дренажным водам относятся: 1) воды, профильтровавшие-

еся из каналов и с полипных участков, выклинившиеся на поверхность земли в пониженных элементах рельефа; 2) воды, сбрасываемые дренажной сетью.

Водная система — взаимосвязанные гидрологические компоненты дренажного бассейна, такие как ручьи, реки, озера, каналы и подземные воды, которые составляют единое целое.

Водный режим — изменения во времени уровней, расходов и объемов воды в водных объектах и почвогрунтах.

Водное хозяйство — отрасль экономики, связанная с использованием, охраной и воспроизводством водных объектов.

Водность реки — количество воды, проносимой рекой за какой-либо отрезок времени (декада, месяц, сезон, год, ряд лет) по сравнению со средним многолетним значением за этот период (нормой).

Водные объекты — любое сосредоточение поверхностных и подземных вод, включая реки, ручьи, родники, озера, болота, ледники и снежники.

Водозабор — комплекс сооружений и устройств для забора воды из водных объектов.

Водозаборное сооружение — комплекс сооружений и устройств для забора воды из водных объектов.

Водозаборные сооружения (водозаборы) — гидротехнические сооружения для забора воды из источника питания (реки, озера, водохранилища и др.) в оросительную, гидроэнергетическую или иную систему.

Водообеспеченность орошаемых земель — показатель уровня удовлетворения оптимальных потребностей в воде сельскохозяйственного производства на землях искусственного орошения при выполнении необходимых водных и агротехнических мероприятий.

Водопроводная насосная станция — сооружение водопровода, оборудованное насосно-силовой установкой для подъема и подачи воды в водоводы и водопроводную сеть.

Водовод — сооружение для пропуска воды от водоприемника к месту ее потребления.

Водоудержание — мероприятия, осуществляемые на водосборах с целью уменьшения поверхностного стока, увеличения

просачивания воды в почву и снижения склоновой эрозии почв. В проектах землеустройства осуществляется с помощью комплекса агротехнических, лесомелиоративных, гидротехнических, организационно-территориальных мероприятий.

Водоохранная зона – территория, примыкающая к акваториям рек, озер, водохранилищ и других водных объектов, на которой устанавливается специальный режим хозяйственной или иной деятельности с целью предотвращения загрязнения, засорения, заиления и истощения водных объектов, а также сохранения среды обитания объектов животного и растительного мира.

Водопользование – установленный порядок пользования водными объектами, которые входят в состав водного фонда.

Водопровод – комплекс сооружений, включающий водозабор, водопроводные насосные станции, станции очистки воды или водоподготовки, водопроводную сеть и резервуары для обеспечения водой определенного качества потребителей.

Водораздел – линия на земной поверхности между двумя смежными бассейнами водотоков.

Водосборная площадь – площадь поверхности земли, снабжающая сточными водами один водоприемник (например, овраг).

Водохранилище – водоем с практически стоячей водой, обычно значительного размера для хранения или регулирования запасов воды.

Выходная мощность насоса – полезная механическая энергия, передаваемая жидкости во время прохождения через насос.

Высота самовсасывания – высота самозаполнения всасывающего трубопровода самовсасывающим насосом (агрегатом).

Высота всасывания – расстояние по вертикали от уровня жидкости в расходном резервуаре до всасывающего патрубка насоса.

Входное давление насоса – давление, действующее на входе насоса.

Водопользование – использование водных ресурсов в порядке, установленном законодательством, для удовлетворения

собственных нужд и (или) коммерческих интересов физических и юридических лиц.

Водоструйный насос – насос в виде трубы с боковым отверстием, по которой с большой скоростью движется вода. В соответствии с законом Бернулли около отверстия давление жидкости уменьшается, и через отверстие начинает засасываться газ или жидкость.

Вязкость – свойство жидкости оказывать сопротивление относительному движению (сдвигу) частиц жидкости. Характеристиками вязкости являются: динамический коэффициент вязкости и кинематический коэффициент вязкости.

Геометрический напор – это высота подъема жидкости, т.е. расстояние по вертикали от уровня жидкости в расходном резервуаре до уровня в приемном резервуаре.

Гидротехнические сооружения – сооружения, служащие для использования водных ресурсов или для борьбы с разрушающим действием водной стихии.

Гидравлический насос – устройство для подъема энергетического уровня жидкостей с низкого до высокого, например, путём воздействия силы на рабочую жидкость насоса или путём передачи механической работы на рабочую жидкость насоса.

Гидравлика – наука об условиях и законах равновесия и движения жидкостей и способах применения этих законов к решению практических задач. Знание законов движения жидкостей необходимо для развития водных путей сообщения, гидроэнергетики, осушения и орошения земель, водоснабжения, канализации, гидромеханизации и т. п.

Гидравлический радиус – отношение площади живого сечения потока к смоченному периметру. Г. р. – линейная величина, показывающая, какая часть площади живого сечения приходится на единицу длины смоченного периметра.

Гидравлический удар – явление резкого изменения давления в напорном трубопроводе при внезапном изменении скорости движения жидкости, связанным с быстрым закрытием или открытием задвижек, кранов, клапанов и т. п., быстрым остановом или пуском гидродвигателя или насоса, а также с практи-

ческой несжимаемостью жидкости. При уменьшении или увеличении скорости движения жидкости давление перед запорным устройством соответственно резко увеличивается (**положительный гидравлический удар**) или уменьшается (**отрицательный гидравлический удар**). Это изменение давления распространяется по всей длине трубопровода с большой скоростью, называемой скоростью распространения ударной волны.

Гидродинамика – наука о движении жидкостей под действием внешних сил и о механическом взаимодействии между жидкостью и соприкасающимися с ней телами при их относительном движении. Г. является частью гидромеханики.

Гидродинамический напор – сумма пьезометрического и скоростного напоров.

Гидромеханика – раздел механики, занимающийся изучением законов движения и равновесия жидкости и ее взаимодействия с омываемыми твердыми телами. Г. подразделяется на гидродинамику, изучающую движение жидкостей, и гидростатику, исследующую условия равновесия жидкостей. Решением практических задач движения жидкостей по трубам, каналам, в открытых руслах и т. п. занимается гидравлика.

Гидростатический напор – запас потенциальной энергии, выражаемый суммой двух величин: отметки точки относительно принятой плоскости сравнения и приведенной высоты давления. Г. н. определяют по подъему воды в пьезометрической трубке, т. е. с учетом атмосферного (или другого) давления на водную поверхность.

Гидростатическое давление – давление столба жидкости над условным уровнем, слагающееся из давления на свободной поверхности жидкости и избыточного давления (произведения глубины погружения рассматриваемой точки на объемный вес жидкости). Измеряется в единицах высоты столба жидкости или в атмосферах.

Геометрическая высота всасывания – высота расположения центра входного отверстия насоса относительно свободной поверхности жидкости в открытом расходном резервуаре, из которого производится всасывание жидкости насосом.

Гидростатика – отдел гидромеханики, изучающий равновесие жидкостей, а также твердых тел, вполне или частично погруженных в жидкость.

Гидротехника – отрасль науки и техники, охватывающая вопросы использования, охраны водных ресурсов и борьбы с вредным воздействием вод при помощи инженерных сооружений.

Гидроэлектростанция – электростанция, преобразующая механическую энергию воды в электрическую энергию.

Гидроэнергетика – раздел энергетики, связанный с использованием механической энергии водных ресурсов для получения электрической энергии.

Гидротехнические сооружения – предназначены для использования водных ресурсов, а также для борьбы с разрушающим действием водной стихии. Различают гидротехнические сооружения: водоподпорные (плотины, дамбы и т. п.), водопроводящие (каналы, трубопроводы, тоннели и др.)

Горизонтальный насос – аппарат, ось рабочего колеса у которого установлена горизонтально. Название насосов "горизонтальные" является условным (по горизонтальному разъему корпуса). По конструкции насосы выпускаются двух видов: одноступенчатые с колесом двухстороннего входа и многоступенчатые.

Давление – сила на единицу площади, приложенная в наблюдаемой точке.

Допустимые значения – предельные значения и/или диапазоны условий для насоса как смонтированного объекта в зависимости от его материала и конструкции.

Динамическая вязкость – отношение сдвигового напряжения к сдвиговой скорости, действующей в жидкости, подвергнутой боковому смещению.

Допустимый диапазон эксплуатации – диапазон подач или напоров, указанных в условиях эксплуатации насоса, при ограничениях, касающихся кавитации, нагрева, вибрации, шума, отклонения вала и других подобных явлений

Динамическая вязкость жидкости – сила сопротивления перемещению слоя жидкости площадью 1 см^2 - на 1 см со скоростью 1 см/с .

Дренажные воды – воды, собираемые дренажными сооружениями.

Дренажный колодец – колодец для понижения уровня грунтовых вод.

Дренажные насосы – предназначены для откачки воды из затапливаемых подвалов, бассейнов и других мест, нуждающихся в быстром осушении.

Диагональный насос – в таких насосах поток жидкости, проходящий через рабочее колесо, направлен не радиально, как у центробежных насосов, и не параллельно оси, как у осевых, а наклонно, по диагонали прямоугольника, составленного из радиального и осевого направлений. Наклонное направление потока создает основную конструктивную особенность диагональных насосов – наклонное к оси насоса расположение лопастей рабочего колеса. Это обстоятельство позволяет использовать при создании напора совместное действие подъемной и центробежной сил, и по своим рабочим параметрам диагональные насосы занимают промежуточное положение между центробежными и осевыми.

Допускаемый кавитационный запас – кавитационный запас, обеспечивающий работу насоса без изменения основных технических показателей, связанных с возникновением в насосе явления кавитации.

Допускаемая вакуумметрическая высота всасывания – вакуумметрическая высота всасывания, при которой обеспечивается работа насоса без изменения основных технических показателей, связанных с возникновением в насосе явления кавитации.

Жесткость вала – сравнительная способность валов противостоять изгибающим нагрузкам.

Живое сечение потока – поверхность в пределах потока жидкости, перпендикулярная в каждой своей точке к вектору соответствующей местной скорости в этой точке. При плавно изменяющемся движении жидкости живое сечение представля-

ет плоскость, перпендикулярную к направлению движения. Живое сечение потока характеризуется площадью живого сечения, смоченным периметром, гидравлическим радиусом и гидравлическим диаметром. Смоченный периметр – длина линии, по которой живое сечение потока соприкасается с ограничивающими его стенками. Гидравлический радиус – размерная величина, равная отношению площади живого сечения к смоченному периметру.

Жидкость – непрерывная среда, обладающая свойством текучести, т. е. способная неограниченно изменять свою форму под действием сколь угодно малых сил, но в отличие от газа мало изменяющая свою плотность при изменении давления.

Земли орошаемые – площади, имеющие постоянную оросительную сеть (каналы, трубопроводы, лотки), связанную с источниками орошения, водные ресурсы которых обеспечивают их полив. К ним относятся также участки, нуждающиеся в мелиоративном улучшении, ремонте или реконструкции оросительной сети.

Земли, осушенные с двусторонним регулированием водного режима – площади, имеющие гидротехнические сооружения для поддержания на определенном уровне воды с целью увлажнения почвы или орошения сельскохозяйственных культур различными способами.

Земли регулярного орошения – участки, для полива которых при определенном составе сельскохозяйственных культур и насаждений вода может доставляться в необходимых количествах и в оптимальные сроки, а также площади, испытывающие в отдельные годы недостаток в воде для полива по установленным нормам и нуждающиеся в осуществлении работ по повышению их водообеспеченности.

Земли условно-орошаемые – участки, на которых сельскохозяйственные культуры не обеспечиваются водой для полива по установленным нормам в течение одного вегетационного периода или могут поливаться в достаточной степени, но только в отдельные периоды. Эти земли расположены главным образом на маловодных системах с незарегулированным сто-

ком и нуждаются в проведении работы по повышению водообеспеченности.

Земли регулярного орошения – участки, для полива которых при определенном составе сельскохозяйственных культур и насаждений вода может доставляться в необходимых количествах и в оптимальные сроки, а также площади, испытывающие в отдельные годы недостаток в воде для полива по установленным нормам и нуждающиеся в осуществлении работ по повышению их водообеспеченности.

Задвижка – трубопроводная арматура, запирающий элемент которой перемещается возвратно-поступательно перпендикулярно направлению потока жидкости. Задвижки используются для полного перекрытия трубопровода. Реже задвижки используются для регулирования подачи (расхода) жидкости за счет частичного перекрытия трубопровода.

Избыточное давление – это разница между абсолютным и атмосферным (барометрическим) давлением при условии, что абсолютное давление больше атмосферного. Величину избыточного давления измеряют при помощи манометров.

Идеальная подача насоса – это сумма подачи насоса и объемных потерь в насосе, т. е. утечек через зазоры.

Ирригационные системы – взаимосвязанная сеть ирригационных каналов, трубопроводов, гидротехнических сооружений, насосных станций, скважин, водохранилищ, прудов и водоемов со связанными с ними дорогами, зданиями, линиями электрических передач и другой инфраструктурой, включая все полосы отчуждения земель, выделенные для обеспечения содержания, эксплуатации и ремонта ирригационных систем.

Кавитация – образование и схлопывание пузырьков пара в потоке жидкости. Кавитация возникает в том случае, когда абсолютное давление в потоке жидкости снижается до давления ее насыщенного пара. Кавитация – крайне нежелательное явление при эксплуатации насосов, поскольку оно сопровождается вибрацией элементов насоса и трубопровода, разрушением рабочих органов насоса.

Кавитационный запас – превышение полного напора жидкости во всасывающем патрубке насоса над давлением $p_{н.п}$ насыщенных паров этой жидкости.

Кавитационный режим насоса – режим работы насоса в условиях кавитации, вызывающей изменение основных технических показателей.

Кинематическая вязкость – отношение динамической вязкости к плотности перекачиваемой жидкости.

Критическое число оборотов – частота вращения, при которой естественная боковая частота вибрации вращающихся частей соответствует частоте вращения.

Кривая рабочих характеристик насоса $H(Q)$ – соотношение полного напора насоса и подачи в рабочих/расчетных условиях скорости вращения и номинальном состоянии жидкости.

Критическая скорость – скорость, при которой ламинарное течение жидкости переходит в турбулентное. К. с. прямо пропорциональна коэффициенту кинематической вязкости и числу Рейнольдса и обратно пропорциональна гидравлическому радиусу.

К.п.д. насоса – отношение полезной мощности насоса к мощности насосного агрегата называется к. п. д. насосного агрегата.

Коэффициент местного сопротивления – используется для определения потерь напора на местных гидравлических сопротивлениях (задвижки, отводы, фильтры, клапаны и т.д.). Он зависит в общем случае от типа сопротивления, диаметра трубопровода, режима течения. Численные значения коэффициента местного сопротивления приводятся в справочной литературе.

Коэффициент трения – трения используется для определения потерь напора на гидравлическом трении. Он зависит в общем случае от режима течения, шероховатости трубопровода и диаметра трубопровода.

Критерий Рейнольдса характеризует режим течения жидкости и определяется по формуле:

$$Re = \frac{W \cdot d \cdot \rho}{\mu}$$

где W – скорость течения жидкости [м/с]; d – диаметр трубопровода [м]; ρ – плотность жидкости [кг/м³]; μ – коэффициент динамической вязкости жидкости [Па·с].

По численному значению критерия Рейнольдса можно судить о режиме (характере) течения жидкости:

- $Re < 2320$ - жидкость течет в ламинарном режиме. Ламинарному режиму течения свойственно движение частиц жидкости по траекториям, параллельным общему направлению потока.

- $2320 < Re < 10000$ - жидкость течет в переходном (слабо развитом турбулентном) режиме. Этому режиму свойственно появление вихрей. Вихрь – это движение группы частиц по вращательной траектории. За счет вихрей поток жидкости перемешивается в поперечном направлении. Чем ближе значение критерия Рейнольдса к 10000, тем больше вихрей.

- $Re > 10000$ - жидкость течет в турбулентном режиме. Турбулентный режим сопровождается возникновением большого количества вихрей, перемешивающих жидкость.

Ламинарное течение – течение жидкости (или газа) в виде отдельных, очень тонких слоев (или параллельных струй), не перемешивающихся друг с другом. Л. т. происходит только до определенной (критической) скорости. При скоростях, превышающих критическую, Л. т. переходит в турбулентное течение.

Массовая подача – масса жидкости, истекающей из выходной зоны насоса в единицу времени.

Максимальная подача – наибольшая подача, которая ожидается при эксплуатационных условиях.

Минимальная подача – наименьшая подача, которая ожидается при эксплуатационных условиях.

Максимальное входное давление – наивысшее давление на входе, которому подвергается насос при эксплуатации.

Максимальное давление на выходе – сумма максимального входного давления плюс максимальное дифференциальное

давление, полученное от установленного ротора насоса при эксплуатации в проектных условиях и расчетной плотности.

Максимальная допустимая постоянная частота вращения (перемещения) — наибольшая частота, рекомендованная предприятием-изготовителем для непрерывной эксплуатации.

Максимальная осевая нагрузка — наибольшее значение остаточной осевой силы на роторе насоса, действующей при эксплуатации насоса при любых условиях в пределах допустимого рабочего диапазона.

Минимальная устойчивая подача — наименьшая подача жидкости, при которой насос может эксплуатироваться без неблагоприятного воздействия на такие его характеристики как, прогнозируемая долговечность, шум и вибрация.

Максимальный напор — наивысший полный напор, развиваемый насосом при любой подаче.

Мелиорация сельскохозяйственных земель, почв — система организационно-хозяйственных, агрономических и технических мероприятий для коренного улучшения неблагоприятных природных условий мелиорируемых земель путем регулирования их водного (и связанных с ним воздушного, пищевого и теплового) режима и обеспечения повышения плодородия почвы. К мелиорации относятся осушение и орошение почвы (ирригация), регулирование рек и поверхностного стока вод, укрепление сыпучих песков и оврагов, а также коренное улучшение химических свойств почвы (известкование кислых почв, гипсование засоленных почв и др.).

Мелиоративные мероприятия — проектирование, строительство, эксплуатация и реконструкция мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений, обводнение пастбищ, создание систем защитных лесных насаждений, проведение технических работ, работ по улучшению химических и физических свойств почв, научное и производственно-техническое обеспечение указанных работ.

Мелиоративные системы — комплексы взаимосвязанных гидротехнических и других сооружений и устройств (каналы, коллекторы, трубопроводы, водохранилища, плотины, дамбы, насосные станции, водозаборы, другие сооружения и устрой-

ства на мелиорированных землях), обеспечивающие создание оптимальных водных, воздушных, тепловых и питательных режимов почв на мелиорированных землях.

Манометр – прибор для измерения давления выше атмосферного. Наибольшее распространение на практике получили механические пружинные манометры. В силу специфики своего устройства, механический манометр, показывает не абсолютное давление, а избыточное давление, т.е. величину, на которую абсолютное давление больше чем атмосферное.

Мощность насосного агрегата – мощность, потребляемая насосным агрегатом или насосом, в конструкцию которого входят узлы двигателя.

Максимальное допустимое входное давление – наивысшая величина давления на входе, при котором насос или его узлы способны функционировать на основе используемых материалов.

Напор – давление воды, выражаемое высотой водяного столба над рассматриваемым уровнем или – энергия единицы массы жидкости, делённая на ускорение силы тяжести.

Напорное движение – представляет движение жидкости в закрытом русле, при котором поток не имеет свободной поверхности, а давление отличается от атмосферного.

Насосы – машины для создания напорного потока жидкой среды. Этот поток создается в результате силового воздействия на жидкость в рабочей камере насоса. По характеру силового воздействия, а следовательно, и по виду рабочей камеры различают насосы **динамические** и **объемные**. В динамическом насосе силовое воздействие на жидкость осуществляется в проточной камере, постоянно сообщающейся с входом и выходом насоса. В объемном насосе силовое воздействие на жидкость происходит в рабочей камере, периодически изменяющей свой объем и попеременно сообщающейся с входом и выходом насоса. Различают:

- насосы для жидкостей;
- компрессоры, вентиляторы, воздуходувки, вакуум-насосы и другие устройства для нагнетания или отсасывания газов и паров.

Насосная станция – комплекс гидротехнических сооружений и оборудования для подъема воды насосами.

Напор насоса – разность удельных энергий при выходе из насоса и на входе в него, выраженная высотой столба перекачиваемой жидкости.

Насосная установка – конструкция из трубопроводов, опорных частей, фундаментов, блоков управления, приводов и т.д., в которую вмонтирован насос или насосный агрегат для того, чтобы сделать его пригодным для использования соответствующих целях.

Неустановившееся движение жидкости – это движение, при котором параметры жидкости (давление, скорость, а иногда и плотность) в каждой точке потока зависят не только от координат, но и от времени.

Неньютоновскими, или аномальными, жидкостями – называют жидкости, которые не подчиняются основному закону внутреннего трения Ньютона. К ним относятся: литой бетон, глинистые, цементные, известковые и коллоидные растворы, нефтепродукты и смазочные масла при температуре, близкой к температуре застывания, краски, клей, смолы, целлюлоза, бумажная масса, растворы каучука, желатин, крахмал, различные белки, жиры и другие продукты пищевой промышленности, а также огнеупоры, шлаки, расплавленные силикаты и т. п.

Ньютоновские жидкости – жидкости, в которых напряжения трения определяются эмпирической формулой Ньютона, определяющей закон вязкого трения: напряжения трения пропорциональны градиенту скорости в относительном движении.

Номинальная подача – подача в гарантированной точке с учетом любых необходимых пределов рабочего режима.

Нормальная подача – подача, при которой ожидается нормальный режим эксплуатации.

Номинальное давление на выходе – давление на выходе насоса в гарантийной точке с номинальной подачей, номинальной частотой вращения, номинальным входным давлением и плотностью.

Номинальная потребляемая мощность насоса – мощность, необходимая насосу при расчётном режиме.

Номинальная частота вращения (перемещения) – количество оборотов в единицу времени, производимых насосом для того, чтобы соответствовать расчётным условиям работы.

Номинальный режим насоса – режим работы насоса, обеспечивающий заданные технические показатели.

Оптимальная подача – подача в точке наилучшего коэффициента полезного действия.

Оптимальный напор – полный напор, развиваемый насосом при подаче, соответствующей наилучшей эффективности.

Осевой насос – насос, отличительной особенностью которых является конструкция и функционирование рабочего колеса. Оно состоит из втулки, на которой укреплено несколько лопастей, представляющих собой удобооптекаемое изогнутое крыло с закрученной передней, набегающей на поток, кромкой. При перемещении профиля лопасти, вызываемого вращением рабочего колеса, в жидкости, за счет изменения скорости её течения вдоль нижней и верхней поверхности профиля, давление над профилем должно повыситься, а под профилем – понизиться. Благодаря этому создается напор насоса. Рабочее колесо насоса вращается в трубчатой камере, в результате чего основная масса потока в пределах колеса движется в осевом направлении, что и определило название насоса.

Объемная подача насоса – объем жидкости, подаваемой насосом в единицу времени. Применяются также понятия **массовая подача** (кг/с) и **весовая подача** (кг/с). Подача насоса зависит от геометрических размеров насоса и скорости движения его рабочих органов, а также от гидравлического сопротивления трубопровода, связанного с насосом.

Оптимальный режим насоса – режим работы насоса при наибольшем значении η .

Обратный клапан – элемент трубопровода, допускающий прохождение жидкости только в одном направлении.

Подача – объем жидкости, проходящий через насос.

Подача на входе – подача во входном сечении насоса на входной стороне установки.

Подача на выходе – подача в выходном сечении насоса на выходной стороне установки.

Полный напор — напор, наблюдаемый в точке x , соответствующий сумме высоты, гидростатического напора и скоростного напора жидкости в точке x .

Полный напор установки — разница между полным напором на выходной стороне установки и полным напором на входной стороне установки.

Полный напор насоса — разница между полным напором на выходной стороне насоса и полным напором на входной стороне насоса.

Потеря гидравлического напора — перепад напора жидкости между двумя точками.

Потребляемая мощность насоса — мощность, передаваемая насосу его приводным механизмом.

Потребляемая мощность привода — мощность, потребляемая приводом насоса.

Потери механической мощности насоса — мощность, поглощаемая трением в подшипниках и уплотнениях вала при данных условиях эксплуатации насоса

Предельная частота вращения — частота вращения, при которой независимые устройства, осуществляющие аварийный сброс оборотов, срабатывают для останова первичного приводного механизма.

Плотность — масса в единице объема при указанной температуре.

Погружной насос — насосный агрегат, предназначенный для эксплуатации в состоянии полного погружения в перекачиваемую жидкость.

Предельное давление насоса — наибольшее давление на выходе из насоса, на которое рассчитана его конструкция.

Полезная мощность насоса — мощность, сообщаемая насосом подаваемой жидкости.

Подпор — высота расположения свободной поверхности жидкости в открытом резервуаре, из которого производится всасывание, отсчитанная от центра входного отверстия насоса. Для улучшения условий всасывания основного насоса искусственный подпор может быть создан вспомогательным насосом, установленным во всасывающем трубопроводе насосной

установки, или повышенным давлением воздуха в расходном резервуаре, из которого производится всасывание жидкости.

Равномерное движение – это установившееся движение жидкости, при котором скорости частиц в соответствующих точках живых сечений, а также средние скорости не изменяются вдоль потока. При неравномерном движении скорость частиц в соответствующих точках живых сечений и средние скорости изменяются вдоль потока.

Расход – количество жидкости, протекающей через живое сечение потока в единицу времени. Расход может измеряться в единицах объема, веса или массы. Соответственно различают расходы: объемный, весовой и массовый.

Рабочий объем объемного насоса – разность наибольшего и наименьшего значений объема рабочей камеры за один оборот вала или за двойной ход рабочего органа насоса (вытеснителя).

Резервные насосы – насосы, дополнительные к тем, которые необходимы для обеспечения рабочего цикла, установленные для немедленной подмены основных насосов в случае их аварии.

Сжимаемость – свойство жидкости изменять свой объем под действием давления. Обычные жидкости практически несжимаемы.

Средняя скорость на входе – подача на входном патрубке насоса, поделённая на входную площадь поперечного сечения насоса.

Средняя скорость на выходе – подача на выходном патрубке насоса, поделённая на выходную площадь поперечного сечения насоса.

Скоростной напор – высота столба жидкости, соответствующая кинетической энергии жидкости, наблюдаемой в точке, определенной подстрочным индексом.

Статический напор – доля полного напора в наблюдаемой точке установки, которая является независимой от скорости истечения жидкости.

Трубопровод – устройство или сооружение из плотно соединенных труб, предназначенное для транспортировки жид-

ких, газообразных или сыпучих веществ. В зависимости от транспортируемой среды используются термины: водопровод, газопровод, паропровод, нефтепровод, воздухопровод, маслопровод, молокопровод, пивопровод и т.д.

Турбулентный режим – движения жидкости – слоистость нарушается, движение жидкости сопровождается перемешиванием и пульсациями скорости и давления. Критерием для определения режима движения является безразмерное число Рейнольдса.

Удельная энергия – энергия единицы массы жидкости.

Установившееся движение жидкости – когда характеристики (скорость, давление и др.) движения во всех точках рассматриваемого пространства не изменяются с течением времени. Движение жидкости, при котором скорость и давление жидкости изменяются во времени, называется **неустановившимся**.

Центробежный насос – насос, в котором лопасти приводят во вращение перекачиваемый газ или жидкость, а центробежные силы инерции отбрасывают перекачиваемое вещество к краям камеры и в выходной патрубок.

Характеристика эффективности насоса – взаимосвязь между эффективностью насоса и подачей при данных эксплуатационных условиях, касающихся частоты вращения и жидкости.

Частота вращения (перемещения) – количество оборотов или перемещений, произведенных валом, соединительной муфтой вала или ротором насоса в единицу времени.

Эффективность насоса – доля полученной выходной мощности при данных эксплуатационных условиях, в потребляемой мощности насоса.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Аллаев К.Р. Энергетика мира и Узбекистана. –Т.: «Молия», 2007, 388с.
2. Аллаев К.Р. Электроэнергетика Узбекистана и мира. –Т.: «Fan va texnologiya», 2009, 464 с.
3. Аллаев К.Р., Хохлов В.А., Сытдыков Р.А. Переходные процессы насосных станций. Под ред. проф. М.М. Мухаммадиева. Т.:, «Fan va tehnologiya», 2012, 180с.
4. Аллаев К.Р., Хохлов В.А., Титова Ж.О. Повышение энергоэффективности насосных станций с длинными трубопроводами // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент, 2013 – № 1-2 – С. 10-15.
5. Аллаев Қ.Р., Хохлов В.А., Сытдыков Р.А., Титова Ж.О. Электроэнергетические системы с крупными насосными станциями. Т.:, «IQTISOD MOLIYA», 2015, 174с.
6. Аллаев К.Р., Титова Ж.О. Программный комплекс выявления и расчета гидравлического удара в трубопроводах насосных станций // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент, 2014 – № 1-2 – С. 74-78
7. Аллаев К.Р., Хохлов А.В., Хохлов В.А. Теоретические основы исследования электро- и гидромеханических переходных процессов в электрических системах, содержащих насосные станции // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. 2007-№2, С. 10-16.
8. Аршеневский Н.Н., Поспелов Б.Б. Переходные процессы крупных насосных станция. -М.: Энергия, 1980, 112с.
9. Баринов В.А., А.З. Гамм и др. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике. /Под ред. Руденко Ю.Н. и Семенова В.А. –М.: Изд-во МЭИ, 2000, 648 с.
10. Бурман А.П., Розанов Ю.К., Шакарян Ю.Г. Перспективы применения в ЕЭС России гибких (управляемых) систем

электропередачи переменного тока // Электротехника. – Москва, 2004. – № 8 – С. 30–36.

11. Белаш И.Г. Причины аварии гидроагрегата №2 на Саяно-Шушенской ГЭС // Гидротехническое строительство. – Москва, 2010, № 3 С. 25–31.

12. Беспалов В.Я., Котеленец Н.Ф. Электрические машины. Учеб. пособие для вузов. – Издательский центр «Академия», 2006. 320 с.

13. Васильев В.Н., Газиев Э.Г. и др. Саяно-Шушенская ГЭС – наша гордость и наша боль. // Гидротехническое строительство. – Москва, 2010, № 3 С. 22–25.

14. Васильев Ю.С., Виссарионов В.И., Кубышкин Л.И. Решение гидроэнергетических задач на ЭВМ. (Элементы САПР И АСНИ). -М.: Энергоатомиздат. 1987, 157 с.

15. Веников В.А., Суханов О.А. Кибернетические модели электрических систем. -М.: Энергоатомиздат, 1982. 328 с.

16. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы: Учебник для вузов.– Спб.: Питер, 2008. –320 с.

17. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов. – Спб.: Питер, 2008. – 350 с.

18. Виссарионов В.И. Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. –М.: Издательство ВИЭ, 2004, 448 с.

19. Виссарионов В.И., Трусов И.С. Математические модели переходных процессов в насосной станции при самозапуске электродвигателя после кратковременного перерыва питания // Энергетика. – Минск, 1986, №11, –С.115–119.

20. Вишневский К.П., Али М.С. Математическое моделирование процессов в напорных системах при автоматическом регулировании работы насосной станции // Мелиорация и водное хозяйство. – Москва, 1992, № 2. – С. 12–15.

21. Гайилов Т.Ш. Оптимизация краткосрочных режимов энергосистем, содержащих станции с ограниченными запасами

энергоресурсов // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент, 2013 – № 3-4 С.151-157.

22. Гайилов Т.Ш. Алгоритм учета изменения напора ГЭС при оптимизации краткосрочных режимов гидротепловых энергосистем. // Электрика. – Москва, 2010, №4, - С.18-22.

23. Гидромеханические переходные процессы в гидро-энергетических установках/ Под ред. Г.И. Кривченко – М.: Энергия, 1975, 367 с.

24. Гинзбург Я.Н. Система оптимального управления насосными станциями подкачки при водоснабжении крупных городов / Автоматизация и управление процессами очистки и транспорта воды. – Москва, 1988, С. 34-40.

25. Гловацкий О.Я., Эргашев Р.Р., Норов Б.Х. Анализ отказов элементов систем машинного водоподъема/ Материалы международной конференции ТИИМ. –Ташкент, 2008. С. 25–27.

26. Гловацкий О.Я., Исаков Х.Х., Талипов Ш.Г. Управление надежностью насосных станций по оценке технического состояния // Труды САНИИРИ. Т.2 Современные проблемы управления водными ресурсами. – Ташкент, 2003. – С. 19-24.

27. Гловацкий О.Я., Носиров Ф.Ж., Рустамов Ш.Р, Жураев С.Р. Основные пути снижения потребления энергетических ресурсов в водном секторе// Проблемы энерго- и ресурсосбережения. –Ташкент, 2013 – № 3-4 стр.45-50.

28. Горев А.А. Переходные процессы синхронной машины. – М.-Л.: ГЭИ, 1950. 551 с.

29. Гуляев В.Г. Исследование на динамическую устойчивость высоконапорных насосных агрегатов при параметрических возмущениях колебаний. / Наукові праці ДонТНУ. Випуск 18(172), сер. Гірничо-електромеханічна. – Донецьк, 2009. – С. 40-52.

30. Довганюк И.Я., Каржев А.В., Лазарев Г.Б. и др. Опыт и перспективы применения электроприводов с регулируемой частотой на ТЭС и на насосных станциях централизованного теплоснабжения // Электрические станции. – Москва, 2004, №8, С. 62–67.

31. Жуковский Н.Е. О гидравлическом ударе в водоподводящих трубах, – М.: Гостехиздат, 1949, 103с.

32. Захидов Р.А. Энергетика и устойчивое развитие общества // Вестник ТашГТУ. –Ташкент, 2005 – Спецвыпуск с. 23-30.

33. Камалов Т.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных станций систем машинного орошения. Т.: Фан, 2014, 354с.

34. Костин В.Н., Овчинников В.В., Чесноков И.П., Мисриханов М.Ш. Натурные испытания электрического торможения насосных агрегатов при потере электроснабжения. /Тр. ИГЭУ. Вып. 4. Повышение эффективности работы энергосистем. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – С.147-151.

35. Кривченко Г. И., Аршеневский Н.Н., Квятковская Е.В., Клабуков В.М. Гидромеханические переходные процессы в гидроэнергетических установках. – М.: Энергия, 1975. – 367 с.

36. Кривченко Г.И. Расчеты на микрокалькуляторах переходных процессов в гидроэлектростанциях. – М.: Энергоатомиздат, 1989. 136 с.

37. Кузнецов В.Л., Кузнецов И.В., Очилов Р.А. Ремонт крупных осевых и центробежных насосов. Справочник. -М.: Энергоатомиздат. 1996, 242 с.

38. Лезнов Б.С. Экономия электроэнергии в насосных установках. –М.: Энергоиздат, 1991, 144 с.

39. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздухоудувных установках. –М.: Энергоатомиздат, 2006, 460 с.

40. Лутидзе Ш.И., Джафаров Э.А. Энергетическое оборудование нового поколения на основе силовой электроники и сверхпроводников // Энергетика. Известия РАН. – Москва, 2005, №3, С. 105–134.

41. Мамедов А.И., Алиев Э.Я. Упрощенный численный метод расчета переходных процессов в магистральном нефтепроводе при пуске насосного агрегата на режим. – Баку:/ Изв. НАН. Проблемы энергетики. 2007, №2. –С.52-60.

42. Мирцхулава Ц. Е. Подходы к оценке меры старения длительно эксплуатируемых плотин // Гидротехническое строительство. – Москва, 2008, № 6, С. 10-15.

43. Мостков М.А., Башкиров А.А. Расчеты гидравлического удара. М.: Госэнергоиздат, 1952. – 200 с.

44. Мошнин Л.Ф., Тимофеева Е.Т. Указание по защите водоводов от гидравлического удара. – М.: Госстройиздат, 1961, 227 с.

45. Мухаммадиев М.М., Носиров Ф.Ж., Уришев Б.У. Повышение эффективности работы водоприемных устройств насосных станций // Гидротехническое строительство. – Москва, 2010, №1, С. 11–13.

46. Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У. и др. Энергоэффективные технологии при эксплуатации насосных станций. – Т.: ТашГТУ, 2012, 102 с.

47. Мухаммадиев М.М. Методика расчета новой конструкции подвода воды к гидравлическому насосу // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. –Ташкент, 2014 – № 1-2, С. 89-94

48. Насосы и насосные станции. /Под ред. Чебаевского В.Ф. – М.: Агропромиздат, 1989, 416 с.

49. Овчинников В.В., Чесноков И.П., Мисриханов М.Ш. Электрическое торможение мощных насосных агрегатов при аварийном останове. /Тр. ИГЭУ. Вып. 4. Повышение эффективности работы энергосистем. – М.: Энергоатомиздат, 2001, С. 151–163.

50. Патент UZ № 2373 «Насосная станция». Хохлов А.В., Рахимов Ш.Х., Бакиев А.Р., Халматов В.А., Хожиев Ш.С., Хохлов В.А. / Бюл. «Расмий Ахбаротнома» 1995. – № 1.

51. Патент UZ № 4380 Способ изменения производительности насосной станции. Хохлов А.В., Хохлов В.А. / Бюл. «Расмий Ахбаротнома» 1997. – №2.

52. Патент № 4778 Водоподъемная установка для вертикальных скважин. Хохлов А.В., Саидов К., Любовченко В.Б., Хохлов В.А. / Бюл. «Расмий Ахбаротнома» 1997. – №4.

53. Патент UZ № IDP 04305. Струйный насос. Хохлов А.В., Хохлов В.А., Хошимов Х.Х., Суванов А.С. / Бюл. «Расмий Ахбаротнома» 2000. – №2.

54. Патент UZ № IDP 04411. Струйный насос. Хохлов А.В., Хохлов В.А., Любовченко В.Б., Маджидов У.Х. / Бюл. «Расмий Ахбаротнома» 2000. – № 4.

55. Патент UZ № FAP 00180. Система насосов. Хохлов А.В., Хохлов В.А., Хохлов А.А. / Бюл. «Расмий Ахбаротнома» 2004. – №1.

56. Патент UZ IAP 03670 Система удаления фильтрационных и дренажных вод из помещения насосной или гидроэлектрической станции. Хохлов А.В., Хохлов В.А., Хохлов А.А. / Бюл. «Расмий Ахбаротнома» –2008. – №5.

57. Патент № FAP 00592. Маматкулов Б.Х., Имамназаров О.И., Титова Ж.О., Хохлов А.В., Хохлов В.А., Хохлов А.А. Система для удаления фильтрационных, дренажных и ливневых вод из помещения и прилегающей территории насосной или гидроэлектрической станции / Бюл. «Расмий Ахбаротнома» – 2010. – № 12.

58. Патент Республики Узбекистан № FAP 01119 от 15.07.2016г. Хохлов А.В., Хохлов В.А., Аллаев К.Р., Титова Ж.О., Устройство пропорционального управления насосом.

59. Прандтль Л. Гидроаэродинамика. /Пер.с нем. – Ижевск.: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2000, 576 с.

60. Рахимов Ш. Х. Управление системами машинного водоподъема. – Т.: Фан, 1986, 186 с. .

61. Рахимов Ш.Х., Гловацкий О.Я. Новые критерии надежности и безопасности гидротехнических узлов и насосных станций. / Сб. док. рег. семин. «Мониторинг безопасности крупных ГТС». –Ташкент, 2004. С. 20–25.

62. Руднев С.С. Методика расчета переходных процессов насосных агрегатов 52В-17 с двигателями МС-325-10/16 в Верхне - Ингулецкой насосной станции. – Киев, Укргипроводхоз, 1984, 14 с.

63. Свидетельство Республики Узбекистан № DGU 03124 от 05.05.2015г. Аллаев К.Р., Хохлов В.А., Титова Ж.О. Программа для расчета напора и скорости жидкости при гидравлическом ударе в напорных трубопроводах насосных станций.

64. Свидетельство Республики Узбекистан № DGU 03644 от 05.04.2016г. Хохлов В.А., Хохлов А.В., Титова Ж.О. Про-

грамма измерения расхода и расчета стока воды на насосных станциях.

65. Титова Ж.О. Протекание гидравлического удара на насосных станциях, оборудованных перепуском // «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». – Ташкент, 2013. – № 1-2 С. 158-163.

66. Титова Ж.О., Аллаев К.Р., Хохлов В.А. Методы и устройства защиты от гидравлического удара основного энергетического оборудования и трубопроводов насосных станций / Сб. трудов международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы в современной науке и пути их решения». – Москва: 2016. – С. 82-83.

67. Титова Ж.О. Алгоритмы и методы регулирования неустановившихся режимов работы насосных станций / Сб. трудов международной научно-практической конференции «Vědecký pokrok na přelomu tysyachalety» («Научный прогресс на рубеже тысячелетий»). – Прага: 2016. – С. 31-34.

68. Титова Ж.О. Алгоритмы и методы регулирования режимов работы насосных станций. Диссертация докт. техн. наук (на правах рукописи) – 2016. 196с.

69. Трубопроводный транспорт нефти. /Под ред. С.М. Вайншток. В 2-х томах. -М.: ООО Недра-бизнесцентр, 2002, Т-1, 407 с., 2004, Т-2, 621 с.

70. Ушаков Е.И. Разделение движений при исследовании переходных процессов и устойчивости ЭЭС. – М. //Изв. АН РФ, Энергетика, 2000, №6. –С.74-86.

71. Фокс Д.А. Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах. М.: 2011. 287 с.

72. Хамраев Н.Р. Когда расцветает земля.–Т.: Sharq, 2010. – 144 с.

73. Хашимов А.А. Внедрение энергосберегающих автоматизированных асинхронных электроприводов на промышленных установках металлургического производства // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. –Ташкент, 2012, № 1-2, С. 31-35.

74. Хашимов А.А., Абидов К.Г. Самозапуск насосных установок. –Т.:, ТашГТУ, 2002, 112 с.

75. Хашимов А.А., Абидов К.Г. Энергоэффективные способы самозапуска электроприводов насосных станций. –Т.: «Fan va texnologiya», 2012, 176с.
76. Хохлов А.В., Хохлов В.А., Титова Ж.О. Режимы работы насосных станций Джизакского каскада.– Т.: «Fan va texnologiya», 2014, 164с.
77. Хохлов А.В., Хохлов В.А., Титова Ж.О. Режимы работы насосных станций Каршинского каскада.– Т.: «Навруз», 2015, 271с.
78. Хохлов В.А. Энергосберегающие режимы работы насосов и насосных станций с длинными трубопроводами. дисс. докт. техн. наук. На правах рукописи – Т., 2009, 251 с.
79. Хохлов В.А., Титова Ж.О. Минимизация потерь энергии насосных станций. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент, 2014. – № 4. – С. 87-90.
80. Хохлов В.А., Хохлов А.В., Титова Ж.О. Неустановившиеся режимы работы насосных станций с длинными трубопроводами – Т.: «Fan va texnologiya», 2012, 160с.
81. Хохлов В.А., Титова Ж.О. Разработка электронных средств измерения расхода и стока жидкости на насосных станциях промышленных предприятий // Журнал «АСТА ТТРУ» – Ташкент, 2017. – № 7. – С. 25-28.
82. Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. – М.: Недра, 1975, 296 с.
83. Численные методы. Под ред. Калиткина Н.Н. – М.: Наука, 1978, 512 с.
84. Шамайрамов М.А. Совершенствование эксплуатационной надежности крупных насосных станций системы машинного водоподъема. -Т.: САНИИРИ. /Сб. науч.тр. (Мелиорация и водное хозяйство). 1997, -С.1–7.
85. Шамазов А.М., Александров В.Н., Гольянов А.И. и др. Проектирование и эксплуатация насосных и компрессорных станций – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003, 404 с.
86. Шарипов К.А., Вахидов А.Х., Бердиев У.Т., Юсупов А.Р. Актуальные проблемы экономии электроэнергии в сельском хозяйстве / В сб. Кишлок хужалиги энергетикаси муаммолари. –Ташкент, 2001. ТИИИМСХ. С. 64–66.

87. Шиманский С.Б. Электроприводы SIPOS — «интеллектуальное» управление арматурой. // ТПА. – Москва, – 2009. – №5 (44). – С.121-122.

88. Электрические системы. Электрические сети. Под ред. Веникова В.А., Строева В.А. М.: Высшая школа, 1998 – 511 с.

89. Электрические системы и сети / Под ред. Г.И. Денисенко. Киев, 1986. – 584 с.

90. Averill M.Law, W. David Kelton. Simulation modeling and Analysis. Osborne 2004. 846 p.

91. IRRIGATION & DRAINAGE SYSTEMS The International Journal, Dordrecht, Netherlands. 2010 – № 5.– P. 42-57.

92. J. Paul Guyer Introduction to Pumping Stations for Water Supply Systems, 2012.

93. Khokhlov V.A., Khokhlov A.V., Titova J.O. Means of preventing hydraulic shocks at pumping stations // EUROPEAN APPLIED SCIENCES. Stuttgart, Germany № 10, 2014 P. 79-82

94. Khokhlov V.A., Khokhlov A.V., Titova J.O. Energy saving methods of regulation of the pumping stations operating modes// EUROPEAN APPLIED SCIENCES. Stuttgart, Germany № 12, 2015 P. 50-51.

95. Khokhlov V.A., Titova J.O. Innovation activity in the field of energy saving in the pumping stations/ В сб. «From Innovative Ideas to Innovative Economy» (TIIF – 2015), Т., 2015, С. 169-174.

96. Larsen, T. Water Hammer in Pumped Sewer Mains. Aalborg: Department of Civil Engineering, Aalborg, Denmark, 2012, 52p.

97. Pirmatov N.B. Elektr masinalari va ularni ishlab chiqarish texnologiyasi. O'quv qollanma. –Т.: «IQTISOD-MOLIYA», 2010. 104 b.

Нормативно-правовые и методологические документы

98. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. Справочник, 2-е издание, перераб. и доп. – М.: Недра, 1982, 224 с.

99. Каталоги Республиканских ярмарок инновационных идей, технологий и проектов. Т.: 2009-2015.

100. Крупные насосные станции Республики Узбекистан. Краткий обзор технического состояния – Т.: Госводхознадзор, 2005, 72 с.

101. Справочник конструктора гидротурбин. /Под ред. Н.Н.Ковалева.– Л.: Машиностроение, 1971, 304 с.

102. Справочник по гидравлическим расчетам. /Под редакцией П.Г. Киселева. –М.: Энергия, 1974, 312 с.

103. Технический отчет Главного управления насосных станций, энергетики и связи МСиВХ РУз Т.: 2006, 40 с.

104. Технический отчет Управления эксплуатации насосных станций «Мирзачуль». Бустон:, 2013, 251 с.

105. Технический отчет Управления эксплуатации Каршинского магистрального канала. Талимарджан: 2014, 261 с.

106. Электротехнический справочник. / Под редакцией Герасимова В.Г. и др. М.: Энергоатомиздат, 1988 – в трех томах.

107. Pump Handbook. 3-rd edition. Edited by I. J. Karassik, J.P. Messina, P.Cooper, C.C. Heald. McGRAW-HILL. 2001. 1789 p.

108. University. (DCE Lecture Notes; No. 29) Pejovic S., Boldy A.P. Guidelines to hydraulic transient analysis of pumping systems. P and B Press. Belgrade – Coventry. 2012, 226 p.

Дополнительная литература

109. Аллаев К.Р., Хохлов В.А., Сытдыков Р.А., Титова Ж.О. Электромеханические и гидромеханические процессы в гидроэнергетических установках. Уч.пос. Под ред. проф. М.М. Мухаммадиева. Т.: «Fan va tehnologiya», 2013, 264с.

110. AC SU 1229441 Устройство управления насосом /В.Н. Машков, Б.Д. Асатуров, Р.А. Усманов, А.В. Хохлов и А.М. Яхьябаев/ Бюл. № 17, 1986.

111. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. /Учебник для вузов: изд. 3-е, перераб. – М.: Высшая школа, 1978, 415 с.

112. Волков А.С., Марченко А.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов: Уч.пос. – М.: Издательство РИОР, 2006, 111 с.

113. Гидрогазодинамика. Корнеев С.Д. Курс лек. –М. МГИУ. 2011. 45 с.

114. Мамаджанов М. Повышение эффективности эксплуатации центробежных и осевых насосов насосных станций оросительных систем. Автореферат дисс. докт. техн. наук. – Т., 2006, 38 с.

115. Пирматов Н.Б., Мустафакулова Г.Н., Махмадиев Ғ.М. «Электр машиналари» курсидан «Трансформаторларни лойиҳалаш». Услубий қўлланма. Т.: ТошДТУ, 2013. –95 б.

116. Проектирование насосных станций и испытание насосных установок: Уч.пос./ Чебаевский В.Ф., Вишневский К.П., Накладов Н.Н. – М.: Колос, 2000, 376 с.

117. Попов Д.Н., Панайотти С.С., Рябинин М.В. Гидромеханика: Учебник для вузов /Под ред. Д.Н. Попова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002, 384 с.

118. Раинкина Л.Н. Гидромеханические расчеты трубопроводных систем с насосной подачи жидкости. Уч.пос. -М.: РУНГ им. Губкина., 2004, 76 с.

119. Хохлов В.А. Энергосберегающие режимы работы насосов и насосных станций с длинными трубопроводами. Автореферат дисс. докт. техн. наук. – Т.:, 2009. – 36 с.

120. Щербин С.А., Семёнов И.А., Щербина Н.А. Основы гидравлики. – Уч.пос. – Ангарск: Издательство Ангарской государственной технической академии, 2009. – 94 с.

121. Fattor, C.A.; Lopardo, M.C.; Casado, J.M.; Lopardo, R.A. Cavitation by macroturbulent pressure fluctuations in hydraulic jump stilling basins, 29th IAHR Congress. Beijing, 2001.

122. INTERNATIONAL WATER POWER AND DAM CONSTRUCTION. IPC Electrical–Electronic Press, England, London, 2015. – № 1. P. 13- 20.

123. <https://www.bentley.com/> Providing architects, engineers, constructors, and owner-operators with comprehensive architecture and engineering solutions (Эл. ресурс).

124. http://www/cawaterinfo.net/library/eng/water_resource_management_in_Uzbekistan, (Эл. ресурс).

125. <http://www.gavalves.co.uk/contact/> PUMP SYSTEM CONTROL AND WATER HAMMER / SURGE PROTECTION, (Эл. ресурс).

126. <http://khd2.narod.ru/soft/sip.htm> Программа SiP.exe (Эл. ресурс).

127. <http://politerm.com.ru/articles/waterhammer> (Эл. ресурс).

128. <http://www.sipos.de/> SIPOS Aktorik, (Эл. ресурс).

129. <http://truboprovod.ru/cad/soft/hst.shtml> Программа «Гидросистема» (Эл. ресурс).

130. <http://www.valmatic.com> Val-Matic Valve & Manufacturing Corp./Surge control in Pumping stations//Pumps and Systems, (Эл. ресурс).

131. Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development. Chapter 8 Energy Saving and Safe Operating Modes of the Large Irrigative Pumping Stations / Vladimir Khokhlov, Aleksandr Khokhlov, Janna Titova / Projected Release Date: January, 2018| |Pages: 535. ISBN13: 9781522538677|ISBN10: 1522538674|EISBN13: 9781522538684 |DOI: 10.4018/978-1-5225-3867-7. Copyright: © IGI Global, USA.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НАСОСАХ И НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ	
1.1. Гидравлические машины.....	5
1.2. Насосные станции.....	7
1.3. Оборудование, применяемое на насосных станциях....	9
1.4. Надежность подачи или откачки воды на насосных станциях.....	10
Глава 2. ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И РЕЖИМЫ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК	
2.1. Центробежные насосы.....	14
2.2. Осевые насосы.....	15
2.3. Трубопроводы.....	17
2.4. Режимы работы насосов и насосных установок.....	20
2.5. Анализ режима работы насосных установок.....	22
Глава 3. РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ	
3.1. Регулирование режима работы насоса.....	25
3.2. Дроссельное регулирование центробежного насоса....	28
3.3. Регулирование насоса изменением частоты вращения.	29
3.4. Регулирование режима работы насоса с помощью перепускного устройства.....	32
Глава 4. ОСОБЫЕ ЯВЛЕНИЯ НА НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ	
4.1. Высота всасывания насосов.....	38
4.2. Кавитация в насосах.....	40
4.3. Кавитационная эрозия насосов.....	41
4.4. Прочие особые явления на насосных станциях.....	44
Глава 5. ВЗАИМОСВЯЗЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ НА НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ	
5.1. Последствия аварийных гидромеханических переходных процессов при незапланированных погашениях электроэнергии.....	46

5.2. Метод разделения быстрых и медленных процессов.....	51
5.3. Уравнения электромеханических и гидромеханических переходных процессов насосных станций.....	51
Глава 6. СПОСОБЫ И УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА ОСНОВНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ	
6.1. Аварийные электромеханические и гидромеханические переходные процессы на насосных станциях.....	57
6.2. Перепускные устройства как средство защиты от гидравлического удара.....	59
6.3. Пропорциональное устройство управления дисковым затвором насоса для защиты насосных станций от гидравлического удара.....	66
Глава 7. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ	
7.1. Привод насосов.....	73
7.2. Номинальные данные электрических машин.....	75
7.3. Надежность электрических машин.....	77
7.4. Основные причины выхода из строя электрических машин.....	79
Глава 8. СИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ КАК РЕГУЛЯТОРЫ НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	
8.1. Синхронная машина как источник активной и реактивной мощности.....	83
8.2. Регулируемые и нерегулируемые компенсирующие устройства.....	85
Глава 9. ТРАНСФОРМАТОРЫ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ	
9.1. Принцип действия силового трансформатора.....	90
9.2. Виды охлаждения трансформаторов.....	96
Глава 10. НАГРЕВ И ОХЛАЖДЕНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН	
10.1. Процессы нагревания и охлаждения трансформато-	

ров и электрических машин.....	100
10.2. Кривые нагрева и охлаждения.....	102
Глава 11. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ	
11.1. Основные типы кабелей, применяемых на насосных станциях.....	105
11.2. Обмоточные провода.....	110
11.3. Установочные провода.....	113
11.4. Силовые кабели.....	114
Глава 12. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ	
12.1. Оптимальные режимы работы насосной установки...	119
12.2. Методика расчета норм энергопотребления насосов, насосных станций и каскадов насосных станций с учетом старения оборудования.....	121
12.3. Зависимости увеличения потерь энергии на гидрав- лическое трение при перекачке воды с различной агрес- сивностью.....	125
Глава 13. СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА И СТОКА ЖИДКОСТИ НА НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ С БОЛЬШИМИ ДИАМЕТРАМИ ТРУБОПРОВОДОВ	
13.1. Современное состояние измерения расхода и стока перекачиваемой воды на крупных каскадах насосных станций Узбекистана.....	129
13.2. Электромагнитные расходомеры.....	131
13.3. Ультразвуковые расходомеры.....	132
13.4. Расходомер, основанный на определении разности гидродинамического и гидростатического напоров.....	133
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	139
ГЛОССАРИЙ.....	145
ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	165

**Аллаев Кахрамон Рахимович,
Хохлов Владимир Александрович,
Титова Жанна Олеговна**

РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Ташкент – «Fan va texnologiya» – 2018

Редактор:	Ш.Кушербаева
Тех. редактор:	Ф.Тешабоев
Художник:	Д.Азизов
Корректор:	Н.Хасанова
Компьютерная вёрстка:	Ш.Миркосимова

**E-mail: tipografiyacent@mail.ru Тел: 245-57-63, 245-61-61.
Изд.лиц. АИ№149, 14.08.09. Разрешено в печать: 25.12.2017.
Формат 60x84 ¹/₈. Гарнитура «Times New Roman».
Офсетная печать. Усл. печ.л. 11,0. Изд. печ.л. 11,25.
Тираж 100. Заказ №250.**

**Отпечатано в типографии
«Fan va texnologiyalar Markazining bosmaxonasi».
100066, г. Ташкент, ул. Алмазар, 171.**