

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Тюменский государственный нефтегазовый университет»

ЭКСПЛУАТАЦИЯ НАСОСНО-СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА

*Учебное пособие
для студентов, бакалавров и магистров, обучающихся по специальности
«Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов
и газонефтехранилищ» направления подготовки
дипломированных специалистов «Нефтегазовое дело»*

Под общей редакцией
доктора технических наук,
профессора Ю. Д. Земенкова

Тюмень
ТюмГНГУ
2010

УДК 621.65(075.8)
ББК 31.57я73
Э 41

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Н. А. Малюшин
доктор технических наук, профессор Р. В. Агиней

Авторы: Ю. Д. Земенков, Ю. В. Богатенков, А. Н. Гульков., М. Ю. Земенкова,
И. В. Тырылгин, С. М. Дудин, К. С. Воронин, В. А. Петряков

Эксплуатация насосно-силового оборудования на объектах трубопроводного транспорта [Текст] : учебное пособие / под общей ред. Ю. Д. Земенкова. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2010. – 456 с.
ISBN 978-5-9961-0260-0

В учебном пособии изложена история развития насосостроения, рассмотрены принципы действия и конструкции различных типов насосов, применяемых в нефтяной отрасли. Рассмотрены вопросы проектирования и эксплуатации насосных станций в соответствии с основными схемами трубопроводного транспорта нефти, изложены конструкции и особенности технического обслуживания основного и вспомогательного оборудования и систем. Представлены решения типовых задач проектирования и эксплуатации насосных станций нефтепроводов при различных методах, режимах, схемах перекачки. Рассмотрены особенности проектирования насосных станций нефтебаз и промыслов.

Пособие предназначено для студентов, бакалавров и магистров, обучающихся по специальности «Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ» направления подготовки дипломированных специалистов «Нефтегазовое дело», а также для широкого круга специалистов и слушателей курсов повышения квалификации нефтегазового профиля.

УДК 621.65(075.8)
ББК 31.57я73

ISBN 978-5-9961-0260-0

© Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский государственный нефтегазовый университет», 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	
ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАСОСОСТРОЕНИЯ И СЕТИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ В РОССИИ	9

Глава 1 ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАСОСОВ И НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

1.1. Классификация насосов	15
1.2. Основные технические показатели и характеристики насоса	23
1.3. Классификация насосных станций	25

Глава 2 ДИНАМИЧЕСКИЕ НАСОСЫ

2.1. Лопастные насосы	27
2.1.1. Конструкции центробежных насосов	30
2.1.2. Баланс энергии в лопастном насосе	30
2.1.3. Основное уравнение лопастных насосов	34
2.1.4. Движение жидкости в рабочем колесе центробежного насоса	35
2.1.5. Характеристика центробежного насоса	41
2.1.6. Выбор угла установки лопатки на выходе	46
2.2. Осевые насосы	48
2.2.1. Методы теории подобия в лопастных насосах	49
2.2.2. Пересчет характеристик лопастных насосов на другую частоту вращения	52
2.2.3. Коэффициент быстроходности	55
2.2.4. Расширение области применения центробежных насосов обточкой рабочих колес	58
2.2.5. Насосная установка и ее характеристика	60
2.2.6. Работа насоса на сеть	62
2.2.7. Неустойчивая работа насосной установки (помпаж)	64
2.2.8. Регулирование режима работы насоса	66
2.2.9. Последовательная и параллельная работа насосов на сеть	69
2.2.10. Работа насоса на разветвленный трубопровод	72
2.3. Кавитация	75
2.3.1. Сущность кавитационных явлений	75
2.3.2. Определение критического кавитационного запаса	79
2.4. Конструкция центробежных насосов	83
2.4.1. Конструктивные разновидности рабочего колеса, подвода и отвода ...	83
2.4.2. Уплотнения рабочего колеса и вала. Осевая сила на роторе насоса	88
2.5. Основы расчета лопастных насосов	91
2.6. Насосно-силовые агрегаты для перекачки нефтепродуктов	94
2.6.1. Насосы типа НМ	95
2.6.2. Насосы типа НК	101
2.6.3. Насосы типа НПВ	101

2.6.4. Насосы типа НВ	107
2.6.5. Насосы типа НД	108
2.6.6. Насосы типа НА	112
2.6.7. Вихревые насосы (насосные агрегаты)	112
2.6.8. Насос марки НМП	115
2.6.9. Насос марки Зульцер	117

ГЛАВА 3 ОБЪЕМНЫЕ НАСОСЫ

3.1. Шестеренные насосы	118
3.1.1. Конструктивная схема насосов с внешним зацеплением шестерен	118
3.1.2. Конструктивная схема насосов с внутренним зацеплением	119
3.1.3. Разгрузка конструктивных элементов шестеренных насосов от негативных нагрузок	124
3.1.4. Повышение всасывающей способности шестеренных насосов	126
3.2. Винтовые насосы	129
3.2.1. Герметичные винтовые насосы	130
3.2.1.1. Трехвинтовые насосы с циклоидным зацеплением	130
3.2.1.2. Пятивинтовые насосы с эвольвентно-циклоидным зацеплением	132
3.2.1.3. Одновинтовые насосы	133
3.2.2. Негерметичные винтовые насосы	135
3.2.3. Разгрузка винтов насосов от воздействия негативных сил	136
3.2.4. Конструкции винтовых насосов	137

Глава 4 НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ НЕФТЯНЫХ ПРОМЫСЛОВ

4.1. Классификация насосных станций нефтяных промыслов	141
4.2. Дожимные насосные станции	143
4.3. Насосные станции центральных пунктов сбора нефти	153

Глава 5 НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩИЕ СТАНЦИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ

5.1. Классификация нефтеперекачивающих станций магистральных нефтепроводов	155
5.2. Характеристика основных объектов НПС	156
5.3. Технологические схемы нефтеперекачивающих станций	157
5.3.1. Технологические схемы головных нефтеперекачивающих станций	158
5.3.2. Технологические схемы промежуточных нефтеперекачивающих станций	161
5.3.3. Схемы перекачки на магистральных нефтепроводах	162
5.4. Генеральный план нефтеперекачивающих станций	166
5.5. Основное технологическое оборудование головных нефтеперекачивающих станций	169
5.5.1. Узел предохранительных устройств	169
5.5.2. Узлы учета количества перекачиваемой нефти	171

5.5.3. Узел регулирования давления	178
5.5.4. Резервуарный парк ГНПС	180
5.5.5. Узел фильтров-грязеуловителей (ПНПС)	182
5.5.6. Система сглаживания волн давления ПНПС	183
5.5.6.1. Формирование волн давления нефтеперекачивающими станциями нефтепроводов	183
5.5.6.2. Формирование волн давления при остановке насосно-силовых аг- регатов	185
5.5.6.3. Образование волн давления при остановке насосных станций	186
5.5.6.4. Методы снижения волн давления	187
5.5.6.5. Система сглаживания волн давления АРКРОН	189
5.5.6.6. Узел подключения НПС	192
5.6. Основная насосная станция	194
5.6.1. Особенности подбора насосов и приводящих двигателей для на- сосных станций нефтепроводов	194
5.6.2. Размещение насосов и двигателей в помещении станции	195
5.6.3. Вспомогательное оборудование насосной станции	197
5.6.3.1. Система смазки насосно-силового агрегата	197
5.6.3.2. Система сбора и отвода утечек	203
5.6.3.3. Система разгрузки и охлаждения торцевых уплотнений	204
5.6.4. Сооружение насосного цеха	209
5.7. Подпорная насосная станция ГНПС	214
5.8. Система контроля и защиты НСА	215
5.9. Автоматизация технологических процессов нефтеперекачивающих станций магистральных нефтепроводов	217
5.9.1. Общие понятия об автоматизированных системах управления технологическими процессами	217
5.9.2. Функции автоматизированной системы управления технологи- ческими процессами нефтеперекачивающей станции магистрального нефтепро- вода	218
5.9.3. Разработка алгоритмов управления технологическими режимами работы НПС	220

Глава 6

НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ НЕФТЕБАЗ

6.1. Классификация насосных станций нефтебаз	222
6.2. Основное оборудование насосных станций нефтебаз	225
6.3. Подбор насосно-силового оборудования нефтебаз	228
6.4. Особенности подбора насосов для плавучих насосных станций	230
6.5. Особенности подбора насосов в условиях, ограничивающих произво- дительность перекачки	233

Глава 7

РЕЗЕРВУАРНЫЕ ПАРКИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

7.1. Общая характеристика резервуарных парков	238
7.2. Вертикальные цилиндрические резервуары	239

7.2.1. Классификация резервуаров	239
7.2.2. Основания и фундаменты под резервуары	243
7.2.3. Оборудование стальных резервуаров	245
7.3. Потери нефти и нефтепродуктов при хранении и методы их сокращения	247
7.3.1. Источники потерь от испарения	247
7.3.2. Методы сокращения потерь	250
7.3.3. Нормирование естественной убыли нефтепродуктов при приёме, хранении, отпуске и транспортировании	253
7.3.4. Расчёт «естественной убыли»	255
7.4. Эксплуатация резервуаров	256
7.4.1. Критерии эксплуатационной надёжности	256
7.4.2. Обслуживание резервуаров	257
7.4.3. Обслуживание технологических трубопроводов резервуарных парков	259
7.5. Обследование металлических резервуаров	260
7.6. Ремонт резервуаров	261
7.6.1. Дегазация резервуаров	261
7.6.2. Дефекты и повреждения и их причины	262
7.6.3. Устранение дефектов резервуара без применения сварочных работ	263
7.6.4. Ремонт оснований и фундаментов	264
7.6.5. Контроль качества ремонтных работ	265

Глава 8 ТРУБОПРОВОДНАЯ АРМАТУРА СТАНЦИИ

8.1. Классификация трубопроводной арматуры	268
8.2. Основные параметры и технические характеристики трубопроводной арматуры	270
8.3. Маркировка трубопроводной арматуры	274
8.4. Устройство и принцип действия задвижки	277
8.5. Особенности исполнения задвижек для перекачки нефти нефтепродуктов	280
8.6. Дыхательная и предохранительная арматура	288

Глава 9 ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НПС МН

9.1. Надёжность работы оборудования насосных станций	295
9.2. Система технического обслуживания оборудования НПС МН	302
9.2.1. Основные понятия и определения	302
9.2.2. Стратегии технического обслуживания и ремонта оборудования НПС	305
9.2.3. Нормы и порядок планирования обслуживания и ремонта оборудования НПС МН	309
9.2.4. Организация и планирование работ при стратегии обслуживания по техническому состоянию	310
9.3. Обслуживание и ремонт магистральных, подпорных и вспомогательных насосов	312

9.3.1. Контроль работоспособности насосных агрегатов	314
9.3.2. Оценка работоспособности насосов по виброакустическим параметрам и температуре	315
9.3.3. Оценка работоспособности насосов по параметрическим критериям	321
9.3.4. Нормативы технического обслуживания и ремонта насосов	324
9.4. Техническое обслуживание и ремонт вспомогательных систем НПС	327
9.4.1. Контроль работоспособности оборудования систем смазки и охлаждения	327
9.4.2. Контроль работоспособности компрессоров	330
9.4.3. Техническое обслуживание и ремонт вентиляционных систем, электронагревательных установок	333
9.4.4. Техническое обслуживание и ремонт технологических трубопроводов и устройств	335
9.4.5. Нормативы технического обслуживания и ремонта	337
9.4.6. Установки пожаротушения	338
9.4.7. Емкости вспомогательных систем	339

Глава 10
ТИПОВЫЕ ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ
НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

10.1. Проектирование и эксплуатация головных и промежуточных нефтеперекачивающих станций	341
10.1.1. Подбор основного оборудования НПС магистральных нефтепроводов	341
10.1.2. Регулирование режимов работы НПС нефтепроводов	355
10.1.3. Подбор основного оборудования технологических узлов НПС	361
10.1.3.1. Узел учета ГНПС	361
10.1.3.2. Разработка узла предохранительных устройств	363
10.1.3.3. Разработка узла регулирования давления	364
10.1.3.4. Разработка системы сглаживания волн давления	365
10.1.3.5. Разработка резервуарного парка ГНПС	367
10.1.4. Методика и пример расчета ГНПС	368
10.1.4.1. Определение исходных расчётных данных	368
10.1.4.2. Подбор основного оборудования ГНПС	370
10.1.4.3. Проверка правильности выбора насосов по всасывающей способности	374
10.1.4.4. Проверка расчетного числа насосов на условия прочности корпуса насоса и трубопровода	377
10.1.4.5. Проект РП ГНПС	381
10.1.4.6. Прочностный расчет резервуара	383
10.2. Технологический расчет нефтепровода	388
10.2.1. Теоретические основы	388
10.2.1.1. Уравнение баланса напоров	388
10.2.1.2. Гидравлический уклон	394
10.2.1.3. Трубопроводы с переменной толщиной стенки	396

10.2.2. Определение числа НПС и их расстановка по трассе графоаналитическим методом (методом Шухова)	397
10.2.3. Расчет сложных трубопроводов	401
10.2.4. Методика и пример решения технологического расчета магистрального нефтепровода	405
10.2.5. Методика и пример расчета режима работы нефтепровода при отключении НС	421
10.2.6. Методика и пример расчета режима работы нефтепровода при периодических сбросах и подкачках	425
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	428
ПРИЛОЖЕНИЯ	430

Введение.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАСОСОСТРОЕНИЯ И СЕТИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ В РОССИИ

Водопроводные системы зданий и сооружений обеспечивают водой человека уже тысячи лет. Несколько тысячелетий назад, в древнем Египте, появились первые насосы - водоподъемные колеса. Сегодня человечество вряд ли может представить себе жизнь без насосов. К вращающимся деталям двигателя автомобиля или самолета масло нагнетается насосом. При изготовлении электронной лампы из нее выкачивают воздух, иначе лампа не будет работать. Насосы накачивают, выкачивают и перекачивают воздух, воду, нефть, молоко, бензин и даже цемент. Пульверизатор, велосипедный насос, пылесос, вентилятор... - список велик.



Чтобы создать плазму, надо из магнитной лопушки откачать воздух. Для этого применяются вакуумные насосы. Для перемещения жидкого металла на металлургических заводах применяются электромагнитные насосы. Аэродинамическая труба, в которой продуваются самолеты, - огромный пропеллерный насос. Насосы устанавливаются в автомобилях, самолетах, подводных лодках. Топливо в камеру сгорания ракетной техники также подается насосами. Все это говорит о большом значении специальной отрасли машиностроения - насосостроения.

Ассортимент насосов широк: артезианские, буровые, вакуумные, гидравлические, диафрагменные, дозировочные, землеройные, крыльчатые, лопастные, нефтяные, паровые, роторные, струйные, центробежные, шестеренные, эжекторные. Когда же появился первый насос?

В древней Греции были известны винтовые водоподъемные механизмы. В них для перемещения воды использовался архимедов винт. Первый поршневой насос появился, по-видимому, за несколько веков до нашей эры. Изобретение его также связано с созданием водоподъемных средств. В книге Герона Александрийского "Пневматика" (около I века до нашей эры) описан двухцилиндровый поршневой пожарный насос, изобретенный древнегреческим механиком Ктезибием. С тех пор поршневые насосы претерпели множество изменений, но их принцип остался неизменным.

Простейшие деревянные насосы с проходным поршнем для подъема воды из колодезев, вероятно, применялись ещё раньше. До начала 18 в. поршневые насосы по сравнению с водоподъемными машинами использовались редко. В дальнейшем в связи с ростом потребностей в воде и необходимостью увеличения высоты её подачи, особенно после появления паровой машины, насосы постепенно стали вытеснять водоподъемные машины. Требования к ним и условия их применения становились всё более разнообразными, поэтому наряду с поршневыми стали создавать вращательные насосы, а также различные устройства для напорной подачи жидкостей.