Управление профессионального образования Томской области
Областное государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
«Томский промышленно-гуманитарный колледж»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению курсового проекта
для студентов очной формы обучения
по теме **Расчет насосной установки для транспортирования нефти по магистральному нефтепроводу**

ПМ 02: Сооружение и эксплуатация объектов транспорта, хранения, распределения газа, нефти, нефтепродуктов
Специальность: 21.02.03 Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ

Авторы: Медведева Светлана Сергеевна, преподаватель
Колотушкина Наталья Викторовна, преподаватель

Томск 2018

Рассмотрено на заседании ЦМК
Профессий и специальностей
технологического направления
Протокол № _____
«_____» _____ 20__г.
Председатель ЦМК
_____ С.С.Медведева

Одобрено и
рекомендовано к использованию
методическим Советом колледжа
«_____»_____20___г.
Зам. директора по УМР
_____Г.И. Руденская

Выполнение курсового проекта: методические указания

Составитель: Медведева С.С., преподаватель ОГБПОУ «ТПГК»,
Колотушкина Н.В., преподаватель ОГБПОУ «ТПГК»

Рецензент: Прищепа Инга Александровна, заведующая лабораторией, старший преподаватель кафедры СМиТ ТГАСУ

Методические указания по выполнению курсового проекта являются частью учебно-методического комплекса (УМК) по ПМ 02 «Сооружение и эксплуатация объектов транспорта, хранения, распределения газа, нефти, нефтепродуктов».

В указаниях изложена методика статического расчета гидравлического трубопровода круглого сечения. Расчет включает определение диаметра магистрального трубопровода и скоростей движения потока, определение потерь напора по длине и напора, создаваемого перекачивающей станцией, даны рекомендации по выбору труб и насосной установки для транспорта продукта по магистральному трубопроводу.

Методические рекомендации адресованы студентам очной формы обучения по специальности 21.02.03 «Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ».

634049, г. Томск
ул. Мичурина, 4
тел. (факс): (382-2) 75-45-14
e-mail: tgpgk@mail.tomline.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4

Раздел 1 Основные условные обозначения 5

Раздел 2 **Виды и основные характеристики магистральных насосов**

2.1 Основные рабочие характеристики насосов 5

2.2 Виды магистральных насосов 6

Раздел 3 **Регулирование режимов работы нефтеперекачивающих станций** 13

Раздел 4 **Технологический расчет трубопровода**

4.1 Общие сведения 15

4.2 Расчет диаметра нефтепровода 15

4.3 Гидравлический расчет нефтепровода 17

4.4 Подбор насоса и режима его эксплуатации 20

4.5 Расчет толщины стенки нефтепровода

Список литературы 21

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания разработаны для студентов, обучающихся по программам подготовки специалистов для нефтегазовой отрасли и могут быть использованы как при выполнении курсовых, так и дипломных проектов, связанных с расчетом и подбором насосов для перекачки нефти и нефтепродуктов по системе магистральных и технологических трубопроводов.

В данном методическом пособии в кратком виде приведены основные характеристики, по которым подбирается машина для перекачки жидкого продукта и способы их регулирования, правила выбора труб для трубопровода, представлен алгоритм расчета гидравлических характеристик трубопровода, включая расчет диаметра трубы и толщины ее стенки.

Расчет содержит большое число опытных коэффициентов, эмпирических и полуэмпирических формул, методика применения которых, а также их физический смысл хорошо осваиваются в процессе решения поставленной задачи.

Выполнение курсового проекта по профессиональному модулю «Сооружение и эксплуатация объектов транспорта, хранения, распределения газа, нефти, нефтепродуктов» способствует обобщению и закреплению теоретических знаний студентов, имеет целью развитие навыков самостоятельной творческой работы, пользования справочной литературой, выполнения расчетов. Объектом расчета является процесс транспортирования жидких углеводородов, предметом расчета – насосы и трубопроводы.

Объем курсовой работы: пояснительная записка объемом 20-30 стр., презентационный материал – 10-15 слайдов.

Рекомендации студентам – Прежде, чем приступить к выполнению курсового проекта, необходимо внимательно ознакомиться с сущностью стоящей перед Вами задачи, повторить основы теории гидравлических расчетов, вспомнить требования, предъявляемые к выбору магистральных насосов. Кроме того, следует строго придерживаться предлагаемой последовательности выполнения расчетов. Выполнение этих условий является залогом Вашей успешной работы над курсовым проектом и его защиты.

1 Основные условные обозначения

Условное обозначение величины	Физическая величина	Единицы измерения
Q	объемная пропускная способность трубопровода, подача насоса	$м^3/с$,
M	массовая пропускная способность трубопровода	кг/с
L	длина трубопровода	м
$P_н$, $P_к$	давление, соответственно, в начале и конце трубопровода	Па
H	напор	м
W	скорость течения жидкости	м/с
S	площадь поперечного сечения трубы	$м^2$
d	диаметр трубы	м
ρ	плотность жидкости	$кг/м^3$
ν	коэффициент кинематической вязкости	$м^2/с$
Re	число Рейнольдса	-
$H_{пот}$	потери напора	м
λ	коэффициент трения	-
ζ	коэффициент местных сопротивлений	-
$H_{тр}$	потери напора на трение	м
$H_{мс}$	потери напора на местные сопротивления	м
Δ	абсолютная шероховатость	м
e	относительная шероховатость	-
δ	толщина стенки трубы	м
N	мощность насоса	Квт
η	коэффициент полезного действия насоса	-
ΔZ	разность высотных отметок начала и конца трубопровода	м

2 Виды и основные характеристики магистральных насосов

2.1 Основные рабочие характеристики насосов

Насос – это машина, предназначенная для перемещения жидкости за счет внешней энергии.

Подача насоса - показывает какое количество (объем) жидкости насос подает в трубопровод за единицу времени.

Напор – высота, на которую насос поднимает 1 кг жидкости (прирост удельной энергии насоса).

Мощность – энергия, необходимая насосу для перекачки заданного количества жидкости на требуемое расстояние в единицу времени.

Коэффициент полезного действия – характеристика, которая показывает какую часть внешней энергии насос преобразует в энергию движения жидкости.

Насос – универсальная машина. После произведенных технологических расчетов, по требуемым подаче и напору, насос подбирается по каталогам.

2.2 Виды магистральных насосов

Магистральный насос – насос, предназначенный для перемещения жидкости по системе магистральных трубопроводов.

Магистральный трубопровод (нефтепровод) – МТ, МН – технологический комплекс, обеспечивающий транспортировку нефти (нефтепродуктов) от пунктов приема до пунктов сдачи потребителям или перевалки на другой вид транспорта.

Современная практика эксплуатации магистральных насосов предъявляет к ним следующие основные требования:

- экономичность работы насоса, определяемая в основном высоким значением к.п.д. и низкой стоимостью машин;
- простота конструкции, обеспечивающая удобство эксплуатации и надежность работы;
- малый темп снижения к.п.д. с ростом вязкости перекачиваемой жидкости;
- возможность прямой передачи мощности от двигателя к валу;
- хорошие условия всасывания с минимальными затратами средств на осуществление подпора;
- хорошая герметизация уплотнений при условии надежной их работы и простоты обслуживания.

.

В качестве магистральных насосов для перекачки маловязкой нефти (нефтепродуктов) используются центробежные насосы динамического типа НМ (насос магистральный). Типоразмеры насосов отличаются конструкционным исполнением: насосы с подачей до 1250 м^3/ч – секционные многоступенчатые, с подачей более 1250 м^3/ч - горизонтальные, спирального типа, одноступенчатые, с рабочим колесом двухстороннего входа.

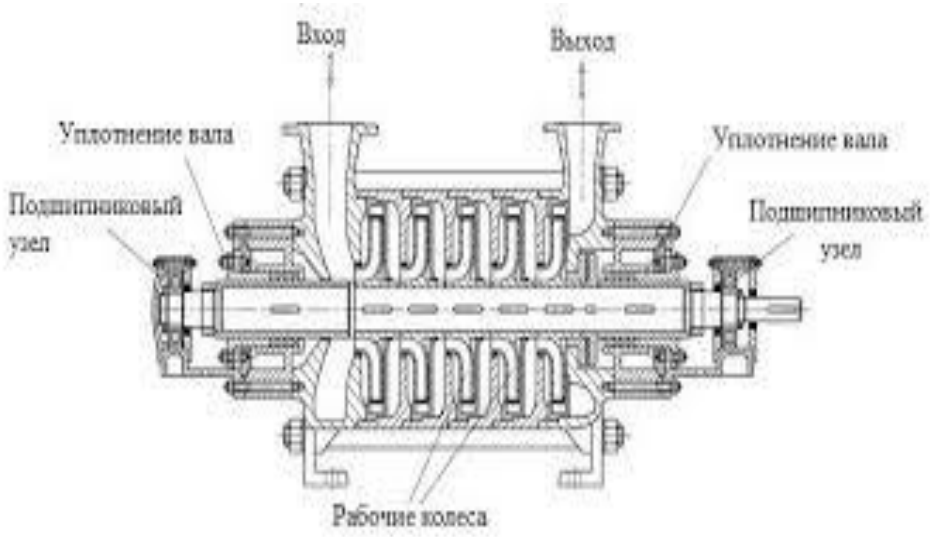

Рис 1 Насос секционный типа НМ

Технические характеристики секционных насосов типа НМ приведены в таблице 1

Таблица 1 - Технические характеристики секционных насосов типа НМ

Типоразмер насоса	**Подача, м^3/ч**	**Напор, м**	**Частота вращения, об/мин**	**Доп. кавитац. запас, м**	**Кпд, %**	**Мощность двигателя, КВт**
1	2	3	4	5	6	7
НМ 125-550	125	550	2980	4,0	72	315, 400
НМ 180-500	180	500	2980	4,0	74	400, 500
НМ 250-475	250	475	2980	4,5	77	500, 630
НМ 360-460	360	460	2980	4,5	80	630, 800
НМ 360-460*	360	412	2980	4,5	80	500
НМ 500-300	500	300	2980	4,5	80	630

НМ 500-300*	500	260	2980	4,5	80	500
НМ 500-800	500	800	2980	25	76,6	1600
НМ 710-280	710	280	2980	6,0	80	800,100
НМ 1250-400	1250	400	2980	35	78	1600

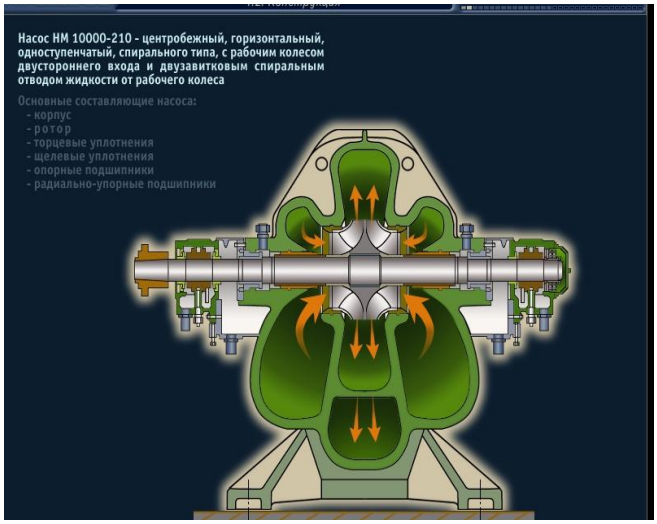

Рис 2 Магистральный насос типа НМ

Технические характеристики спирального насоса типа НМ приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Технические характеристики спиральных насосов типа НМ

Марка	Подача, м³/ч	Напор, м	Допускаемый кавитационный запас,м	Частота вращения, об/мин	Мощность насоса, кВт	КПД насоса, %
НМ 1250-260-2.1	1250	260	20	3000	928	82
НМ 1250-260а-2.1	1135	215	20	3000	697	82
НМ 1250-260б-2.1	1070	192	20	3000	587	82
НМ 1250/0,7-260-2.1	900	255	16	3000	707	79
НМ 1250/1,25-260-2.1	1565	270	31	3000	1269	78

Марка	Подача, м³/ч	Напор, м	Допускаемый кавитационный запас,м	Частота вращения, об/мин	Мощность насоса, кВт	КПД насоса, %
НМ 2500-230-2.1	2500	230	32	3000	1548	87
НМ 2500-230а-2.1	2300	195	32	3000	1207	87
НМ 2500-230б-2.1	2190	176	32	3000	1038	87
НМ 2500/0,5-230-2.1	1250	220	25	3000	805	80
НМ 2500/0,7-230-2.1	1800	225	27	3000	1143	83
НМ 2500/1,25-230-2.1	3150	225	46	3000	2024	82
НМ 3600-230-2.1	3600	230	38	3000	2204	88
НМ 3600-230а-2.1	3325	196	38	3000	1734	88
НМ 3600-230б-2.1	3230	185	38	3000	1590	88
НМ 3600/0,5-230-2.1	1800	230	33	3000	1197	81
НМ 3600/0,7-230-2.1	2500	230	35	3000	1603	84
НМ 3600/1,25-230-2.1	4500	220	45	3000	2793	83
НМ 5000-210-2.1	5000	210	42	3000	2763	89
НМ 5000-210а-2.1	4720	187	42	3000	2323	89
НМ 5000-260б-2.1	4500	170	42	3000	2013	89

Марка	Подача, м³/ч	Напор, м	Допускаемый кавитационный запас,м	Частота вращения, об/мин	Мощность насоса, кВт	КПД насоса, %
НМ 5000/0,5-210-2.1	2500	200	27	3000	1446	81
НМ 5000/0,7-210-2.1	3500	220	31	3000	2147	84
НМ 7000-210-2.1	7000	210	52	3000	3825	90
НМ 7000-210а-2.1	6630	188	52	3000	3244	90
НМ 7000-210б-2.1	6340	172	52	3000	2838	90
НМ 7000/0,5-210-2.1	3500	205	50	3000	2075	81
НМ 7000/0,7-210-2.1	5000	210	45	3000	2893	85
НМ 7000/1,25-210-2.1	8750	210	69	3000	5063	85
НМ 10000-210-2.1	10000	210	65	3000	5465	90
НМ 10000-210а-2.1	9600	194	65	3000	4846	90
НМ 10000-210б-2.1	9300	182	65	3000	4405	90
НМ 10000/0,5-210-2.1	5000	210	45	3000	3074	80
НМ 10000/0,7-210-2.1	7000	210	60	3000	3903	84
НМ	12500	210	97	3000	7149	86

Марка	Подача, м³/ч	Напор, м	Допускаемый кавитационный запас,м	Частота вращения, об/мин	Мощность насоса, кВт	КПД насоса, %
10000/1,25-210-2.1						
НМ 10000/0,5-380-2	4500	350	37	3000	4300	87
НМ 10000/0,7-380а-2	7500	305	39	3000	6100	89
НМ 10000/0,7-380-2	7500	380	39	3000	7600	89
НМ 10000-380-2	9600	305	40	3000	9550	90
НМ 10000/1.2-380-2	12000	380	45	3000	11900	90

Для перекачки вязкой нефти и нефтепродуктов используют насосы объемного типа – поршневые, плунжерные или винтовые. На практике предпочтение отдается винтовым конструкциям вследствие их большей надежности.

.

Рис 3 Винтовой насос

Технические характеристики винтовых насосов приведены в таблице 3.
Таблица 3 - Технические характеристики винтовых насосов

Марка насоса	Подача, $м^3$/час	Давление насоса, $кгс/см^2$	Частота вращения, об/мин	Мощность двигателя, кВт	Вакууметрическая высота всасывания, м
ЭВН5-12-1500	0.50	1500.00	1500	0.00	0.00
ЭВН5-16-1200	0.67	1200.00	1500	0.00	0.00
ЭВН5-16-1500	0.67	1500.00	1500	0.00	0.00
ЭВН5-25-1000	1.04	1000.00	1500	0.00	0.00
ЭВН5-25-1500	1.04	1500.00	1500	0.00	0.00
ЭВН5-63-1500	2.63	1500.00	1500	0.00	0.00
ЭВН5-100-1000	4.17	1000.00	1500	0.00	0.00
ЭВН5-100-1200	4.17	1200.00	1500	0.00	0.00
2ЭВН5-12-1000	0.50	1000.00	1000	0.00	0.00
2ЭВН5-50-1000	2.08	1000.00	1000	0.00	0.00
ЭВН5-25-1700	1.04	1700.00	1500	0.00	0.00
ВНО4-800	0.17	8.00	230	2.50	-0.00
ВНО7-1200	0.29	12.00	230	3.50	-0.00
ВНО10-800	0.42	8.00	230	2.80	-0.00
ВНО10-1200	0.42	12.00	230	4.00	-0.00
ВНО20-800	0.83	8.00	230	3.80	-0.00
ВНО25-	1.04	8.00	230	6.00	-0.00

800					
ВНО40-800	1.67	8.00	230	8.00	-0.00
ВНОМ20-1500	0.83	15.00	230	9.00	-0.00
ВНО2-1200	0.08	12.00	230	2.00	-0.00
ВНО4-1200	0.17	12.00	230	2.50	-0.00
ВНО20-1200	0.83	12.00	230	6.00	-0.00
ВНО25-1200	1.04	12.00	230	8.00	-0.00
ВНО40-1200	1.67	12.00	230	12.00	-0.00

3 Регулирование режимов работы нефтеперекачивающих станций

Существующие методы регулирование режимов работы нефтеперекачивающих станций подразделяются на методы плавного и ступенчатого регулирования. К теоретически возможным методам плавного регулирования относятся: дросселирование, перепуск, изменение числа оборотов ротора насоса.

Регулирование режима работы НПС **дросселированием** состоит в создании потоку жидкости искусственного сопротивления в виде сужения площади поперечного сечения трубопровода, что реализуется на практике установкой после насоса дроссельного устройства – заслонки. Метод прост по конструкционному исполнению, отличается быстрым откликом на внесенное возмущение, но неэкономичен при необходимости значительного изменения подачи.

Похожими достоинствами и недостатками характеризуется метод **перепуска** части рабочей среды с выхода насоса на его вход. Поэтому данные методы

плавного регулирования используются на практике лишь в узком диапазоне изменения рабочих характеристик насоса.

При необходимости значительного изменения рабочих характеристик насоса используются методы ступенчатого регулирования: замена ротора насоса, изменение числа работающих насосов, изменение схемы соединения насосов на НПС.

Роторы для магистральных насосов отличаются диаметром рабочего колеса. Чем меньше диаметр колеса, тем меньше подача насоса и наоборот. При этом значительное изменение подачи практически не меняет расхода энергии на процесс перекачки. В настоящее время некоторые типы насосов комплектуются рабочими колесами разных диаметров уже на заводе – изготовителе.

При работе **группы насосов**, нескольких машин, изменение рабочих характеристик зависит от схемы соединения насосов. При последовательном соединении, при практически неизменной подаче, значительно изменяется напор насосов. При параллельном соединении, при практически неизменном напоре, значительно изменяется подача насосов. К недостаткам метода можно отнести большую пусковую нагрузку при переключениях, которая снижает надежность и уменьшает срок работы насосов и трубопровода.

Все методы ступенчатого регулирования имеют общий недостаток – режим работы НПС и трубопровода изменяется ступенчато, что не всегда отвечает необходимой степени изменения режима работы, а значит, требует дополнительного регулирования с помощью методов плавного регулирования.

Все технологические недостатки отсутствуют у метода плавного регулирования с помощью ЧРП – частотно регулируемых приводов, которые изменяют число оборотов ротора насоса. Данный метод позволяет изменять рабочие характеристики в достаточно широком диапазоне, при этом сохраняется высокий коэффициент полезного действия, повышается долговечность насоса и трубопроводной системы. К недостаткам можно отнести сложность конструкции и обслуживания для насосов с высокими рабочими характеристиками.

4 Технологический расчет трубопровода

4.1 Общие сведения

В практике проектирования расчеты магистральных нефтепроводов называют также технологическими расчетами. В состав технологического расчета входит расчет диаметра МН, гидравлический расчет трубопровода, выбор насосного оборудования, расчет необходимого количества оборудования и режима его эксплуатации.

Исходными данными для технологического расчета в данном курсовом проекте являются следующие величины:

- годовая пропускная способность МН,
- длина проектируемого нефтепровода,
- разность высотных отметок начала и конца нефтепровода,
- плотность перекачиваемой нефти,
- кинематическая вязкость,
- остаточное давление в конце МН.

При расчете трубопровода принимается ряд допущений, основными из которых являются следующие: рабочая жидкость считается несжимаемой; температура жидкости, основные физические свойства жидкости (плотность, вязкость и др.) принимаются постоянными; рассматривается установившееся движение жидкости; коэффициенты гидравлических сопротивлений постоянны; разрыва потока жидкости не происходит.

4.2 Расчет диаметра нефтепровода

Расчет оптимального диаметра нефтепровода – задача, требующая учета технико-экономических и множества частных факторов. Основные параметры – это пропускная способность нефтепровода и скорость движения нефти.

В основе расчета лежит уравнение объемного расхода:

$$\mathbf{Q = WS}, \qquad (\mathbf{1})$$

и формула площади поперечного сечения:

$$\mathbf{S = \frac{\pi d^2}{4}}, \qquad (\mathbf{2})$$

Определяется расчетный диаметр нефтепровода выражением из следующей формулы:

$$\boldsymbol{d} = \sqrt{\frac{4*Q_c}{\pi*w_т}}, \text{ где} \qquad (3)$$

$w_Т$, м/с – теоретически допущенная скорость движения нефти по нефтепроводу, которая не должна превышать 3 м/с;

Q_c, $м^3/с$ – секундная пропускная способность нефтепровода, вычисляется исходя из годовой пропускной способности нефтепровода:

$$\mathbf{Q_c = \frac{Q_г}{350*24*3600*\rho}}$$

Расчетная величина диаметра нефтепровода округляется в большую сторону до ближайшего значения по сортаменту производителей труб.

Ориентировочные параметры МН в зависимости от пропускной способности приведены в таблице 4

Таблица 4

Пропускная способность, $Q_г$, млн т	Наружный диаметр, $D_н$, мм	Допустимое давление, $P_{доп}$, МПа
15,0-27,0	820	6,0
23,0-50,0	1020	5,9
41,0-80,0	1220	5,8

После выбора стандартной трубы необходимо уточнить реальную скорость движения нефти по трубопроводу, по формуле обратной той, по которой был вычислен приблизительный диаметр:

$$\mathbf{w} = \frac{\mathbf{4*Q_c}}{\boldsymbol{\pi}*\mathbf{d_{вн}^2}} \qquad (4)$$

4.3 Гидравлический расчет нефтепровода

Гидравлический расчет проводится на основании уравнения Бернулли для реальной жидкости:

$$\frac{\boldsymbol{P}_{\mathbf{н}}}{\boldsymbol{\rho g}} + \mathbf{Z}_{\boldsymbol{н}} + \frac{\mathbf{W}_{\boldsymbol{н}}^{\mathbf{2}}}{\mathbf{2g}} = \frac{\mathbf{P_к}}{\boldsymbol{\rho}\mathbf{g}} + \mathbf{Z}_{\boldsymbol{к}} + \frac{\mathbf{W_к^2}}{\mathbf{2g}} + \mathrm{H}_{\text{пот}} \qquad (5)$$

Так как скорость в начале участка нефтепровода и в конце одинакова, вследствие неизменности диаметра трубы, то скоростным напором $W^2/2g$ можно пренебречь. Следовательно, уравнение (5) для простого трубопровода - трубопровода равного диаметра - приобретает следующий вид:

$$\frac{\boldsymbol{P}_{\mathbf{н}}}{\boldsymbol{\rho}\mathbf{g}} + \mathbf{Z}_{\boldsymbol{н}} = \frac{\mathbf{P_к}}{\boldsymbol{\rho}\mathbf{g}} + \mathbf{Z}_{\boldsymbol{к}} + \mathrm{H}_{\text{пот}}, \qquad (6)$$

А потребный напор – напор, который необходимо развить станции, рассчитывается из следующей зависимости:

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{P_н}}{\boldsymbol{\rho}\mathbf{g}} = \frac{\mathbf{P_к}}{\boldsymbol{\rho}\mathbf{g}} + \Delta \boldsymbol{z} + \mathrm{H}_{\text{пот}} \qquad (7)$$

Потери напора $H_{пот}$ являются суммой потерь напора по длине трубопровода (потерь напора на трение) вследствие движения реальной жидкости, обладающей вязкостью, и потерь напора в местных сопротивлениях. Местные сопротивления – это участки локальных изменений геометрии потока. Таким образом, местные потери обусловлены изменением формы потока (вход в трубу), изменением

диаметра трубы (внезапное расширение трубопровода, внезапное сужение трубопровода, постепенное расширение трубопровода, краны, фильтры, распределители, угольники, клапана и т.д.). Потери напора в местных сопротивлениях определяются по формуле Вейсбаха:

$$\mathbf{H_{мс} = \Sigma\zeta \cdot W^2/2g} \qquad (8)$$

Особенностью длинных трубопроводов (магистральных) является примерно одинаковое соотношение потерь напора по длине и на преодоление местных сопротивлений – $H_{мс}$ = 1-2% от $H_{тр}$. Поэтому общие потери напора в длинных трубопроводах рассчитывают как:

$$\mathbf{H_{пот} = 1,02\ H_{тр}} \qquad (9)$$

При расчете коротких технологических трубопроводов необходимо рассчитывать потери напора в местных сопротивлениях с использованием коэффициента местных сопротивлений – ζ, который является справочной величиной. Средние значения коэффициентов местных сопротивлений приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Средние значения коэффициентов местных сопротивлений

№ пп	Местное сопротивление	ζ
1	Вход в трубу без закругления входных кромок	0,5
2	Вход в трубу при хорошо закругленных входных кромках	0,1
3	Выход из трубы в резервуар больших размеров	1
4	Резкий поворот трубы без переходного закругления при угле поворота примерно 90˚	1,25 – 1,5

5	Плавно закругленное колено	0,5
6	Задвижка при среднем открытии	2
7	Задвижка открытая	0,1
8	Кран	0,4 – 0,7
9	Вход в коробку с обратным клапаном	5 - 10
10	Фильтр для нефтепродуктов	1,7 – 2,2

Для нахождения потерь напора на преодоление сил трения $H_{тр}$ используется уравнение Вейсбаха-Дарси:

$$\mathbf{H}_{тр} = \boldsymbol{\lambda}\frac{\mathbf{L}}{\mathbf{d}} \cdot \frac{\mathbf{W^2}}{\mathbf{2g}}, \qquad (10)$$

Величина коэффициента трения λ зависит от режима течения жидкости и относительной шероховатости и для разных режимов определяется по различным зависимостям.

Таблица 6 - Способы определения коэффициента трения

Режим (зона)		Границы	Коэффициент гидравлического сопротивления λ
Ламинарный		$Re<Re_{кр}(Re_{кр}=2300)$	$\frac{64}{Re}$ (формула Стокса)
Турбулентный:			
1.	Зона гидравлически гладких труб	Rекр < Re<10 d/Δ	$\frac{0,3164}{Re^{0,25}}$ (формула Блазиуса)
2.	Зона смешанного трения или гидравлически шероховатых труб	10 d/Δ<Re<500 d/Δ	$0,11\left(\frac{68}{Re}+\frac{\Delta}{d}\right)^{0,25}$ (формула Альтшуля)
3.	Зона квадратичного сопротивления (вполне шероховатого трения)	Re>500 d/Δ	$0,11\left(\frac{\Delta}{d}\right)^{0,25}$ (формула Шифринсона)

Значения коэффициентов эквивалентной шероховатости Δ для труб из различных материалов приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Значения коэффициентов эквивалентной шероховатости Δ для труб из различных материалов

Группа	Материалы, вид и состояние трубы	$\Delta*10^{-2}$, мм
1. Давленые или тянутые трубы	Давленые или тянутые трубы (стеклянные, свинцовые, латунные, медные, цинковые, оловянные, алюминиевые, никелированные и пр.)	0,10
2. Стальные трубы	Бесшовные стальные трубы высшего качества изготовления	1,0
	Новые и чистые стальные трубы	6,0
	Стальные трубы, не подверженные коррозии	15,0
	Стальные трубы, подверженные коррозии	20,0
	Стальные трубы сильно заржавевшие	200
	Очищенные стальные трубы	17
3. Чугунные трубы	Новые черные чугунные трубы	25
	Обыкновенные водопроводные чугунные трубы, бывшие в употреблении	100
	Старые заржавленные чугунные трубы	150

4.4 Подбор насоса и режима его эксплуатации

Насос подбирают по каталогам по двум основным характеристикам – подаче и напору, после чего определяются с режимом его эксплуатации в соответствии с методами регулирования основных рабочих характеристик. Если для достижения необходимых рабочих характеристик не хватает методов регулирования с позиции перекачивающей станции, меняют характеристики трубопроводной системы: предусматривают лупинги или вставки, дополнительные перекачивающие станции.

4.5 Расчет толщины стенки нефтепровода

Методика расчета толщины стенки нефтепровода с поправочными коэффициентами приведена в СНиП 2.05.06 – 85* Магистральные трубопроводы, раздел 12.3.

Список литературы

1. Гусев А. А. Основы гидравлики: Учебник для СПО/ А. А. Гусев.2-е изд., испр. и доп. – М.:, Издательство Юрайт, 2016. – 285 с.- Серия: Профессиональное образование
2. Ухин Б. В., Гусев А. А. Гидравлика: Учебник для среднего профессионального образования. – М.:, 2008. – 432 с.
3. Колпаков Л. Г. Центробежные насосы магистральных нефтепроводов. – М.: Недра, 1985 – 184 с.
4. Транспорт и хранение нефти и газа в примерах и задачах: Учебное пособие./ Под общей ред. Ю. Д. Земенкова.- СПб.: Недра, 2014. - 544 с.
5. Трубопроводный транспорт нефти/С. М. Вайншток, В. В. Новоселов, А. Д. Прохоров и др.; Под ред. С. М. Вайнштока: учеб. Для вузов: в 2 т. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр, 2010. – Т.2 – 621 с.: ил.
6. Тугунов П. И., Новоселов В. Ф, Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов. Учебное пособие для ВУЗов. – Уфа: ООО «Дизайн – ПолиграфСервис», 2002. – 658 с.
7. СНиП 2.05.06.85* Магистральные трубопроводы

Интернет источники:

1. Каталоги насосного оборудования. Электронный сайт. URL: (http://xn--80aajzhcnfck0a.xn--p1ai/PublicDocuments/0629727.pdf (дата обращения 26.01.2018 г.)
2. Насосы магистральные. Электронный сайт. URL: http://www.hms.ru/pumps_catalog/?SECTION_ID=296&ELEMENT_ID=7 (дата обращения 26.01.2018 г.)