



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Самарский государственный технический университет»

Кафедра химической технологии и промышленной экологии

Гидравлическое сопротивление сети

Методические указания к лабораторной работе



Самара 2013

Составитель: В.В. ФИЛИППОВ

УДК 66.02

Гидравлическое сопротивление сети. Метод. указ. к лабораторной работе по курсу «Процессы и аппараты химической технологии»./Самар. гос. тех. ун-т; Сост. В.В. Филиппов. Самара, 2013. 16 с.

Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения следующих **направлений бакалавриата**:

- 151000 Технологические машины и оборудование (профиль «Оборудование нефтегазопереработки», по курсу – Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии);
- 240100 Химическая технология (по курсу – Процессы и аппараты химической технологии);
- 240700 Биотехнология (по курсу – Процессы и аппараты биотехнологии);
- 260100 Продукты питания из растительного сырья (по курсу – Процессы и аппараты пищевых производств);
- 241000 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии (по курсу – Процессы и аппараты химической технологии);
- **и специалитета**: 240300 Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий (по курсу – Процессы и аппараты химической технологии).

© В.В. Филиппов, составление, 2014

© Самарский государственный
технический университет, 2014

Печатается по решению методического совета
нефтетехнологического факультета

Теоретическое введение

Современное химическое, нефтехимическое или нефтеперерабатывающее предприятие опутано сетью трубопроводов (рис. 1).



Рис. 1. Заводские трубопроводы

Трубопроводы связывают между собой отдельные аппараты, образуя технологические агрегаты и установки. С помощью трубопроводов установки объединяются в цеха. И трубопроводы объединяют отдельные цеха в предприятие. Но на этом их функция не заканчивается. По трубопроводам на предприятие подаётся сырьё и отводится готовая продукция. Кроме того, по трубам транспортируются водяной пар, горячая вода, полупродукты и многое-многое другое.

Трубопровод – это сооружение из труб, деталей и арматуры, предназначенное для транспорта газообразных и жидких сред.

К деталям трубопровода относятся:

- *отводы* для изменения направления потоков транспортируемого продукта;
- *переходы* для изменения диаметра трубопровода;
- *тройники, тройниковые соединения, крестовины и седловины* для устройства ответвлений;
- *заглушки* для закрытия свободных концов трубопроводов.

Трубопроводная арматура – это устройства, предназначенные для управления потоками путём отключения, распределения, регулирования, смешения или сброса (дренажа).

По характеру выполняемых функций арматура подразделяется на запорную, регулирующую и предохранительную.

Совокупность трубопроводов и аппаратов, которые они связывают, называется гидравлической сетью.

Стоимость трубопроводов составляет 25-30% от стоимости всего установленного на заводе оборудования. При монтаже установок на долю трубопроводных сетей приходится около 30% всех трудозатрат, а по времени – 50% от продолжительности строительства всего завода. От качества проектирования и сооружения трубопроводных сетей зависят экономичность, надёжность и безопасная эксплуатация технологических установок.

Из курса технической гидравлики известно, что при движении потока по трубопроводу происходит потеря его энергии. С точки зрения физики и, в частности всеобщего закона сохранения энергии, термин «потеря энергии» не совсем корректен. Но с инженерной точки зрения мы можем говорить именно о потере (для нас) энергии потока, которая перешла в тепловую и как бы рассеялась. Происходит **диссипация** энергии¹.

Эти потери складывается из двух величин:

¹ Есть хорошая русская пословица, показывающая бессмысленность какого-либо занятия: толочь воду в ступе. Энергия к жидкости подводится, но ничего при этом не производится. Энергия обесценилась.

1. потери энергии по всей длине трубопровода;
2. потери энергии в так называемых **местных сопротивлениях**.

Первое слагаемое потерь энергии вызвано наличием **сил вязкости (внутреннего трения)** перекачиваемой жидкости. На преодоление этих сил необходимо затрачивать энергию.

Второе слагаемое обусловлено тем, что жидкости в гидравлической сети приходится менять как **направление** своего движения, так и **скорость** этого движения.

Местными сопротивлениями называются такие участки (элементы) трубопровода, в которых скорость потока жидкости меняет своё направление или величину.

К местным сопротивлениям относятся повороты потока, внезапное расширение или внезапное сужение (вход потока из трубы в аппарат или выход из аппарата в трубу), все виды арматуры, установленной на трубопроводе, и т.д.

Численно потерю энергии движущейся жидкости можно выражать как в виде потери напора $h_{ном}$ (метры столба перекачиваемой жидкости), так и в виде потери давления $\Delta P_{ном}$ (Па). Напомним, что между давлением жидкости P и высотой её столба h существует известная из школьного курса физики связь

$$P = \rho gh \quad (1)$$

где ρ – плотность перекачиваемой жидкости, кг/м^3 , g – ускорение свободного падения, $g = 9.8 \text{ м/с}^2$.

Перемещение жидкости по трубопроводу обеспечивает насос.

Насос – это гидравлическая машина, которая преобразует механическую энергию двигателя и передаёт её жидкости путём повышения её давления.

Основными параметрами любого насоса являются производительность (подача), напор и мощность.

Подача (производительность) насоса Q – объём жидкости, подаваемый насосом в нагнетательный трубопровод в единицу времени. В системе СИ измеряется в $\text{м}^3/\text{с}$.

Напор насоса H – характеризует удельную кинетическую энергию, которую передаёт насос единице веса перекачиваемой жидкости. Напор можно также представить как высоту, на которую насос способен поднять (закачать) жидкость. Напор насоса, как и любой другой напор, измеряется в метрах столба перекачиваемой жидкости.

Получается такая цепочка получения и передачи энергии: электродвигатель получил энергию от электросети → преобразовал её в механическую энергию → передал эту механическую энергию насосу → насос передал энергию жидкости, повысив её давление². Жидкость, получив энергию, побежала по сети и начала эту энергию расходовать. Энергия стóбит денег. Поэтому возникает очень важная задача: сколько нужно дать жидкости энергии, чтобы, с одной стороны, этой энергии хватило для достижения конечной цели (последнего аппарата гидравлической сети), а, с другой стороны, чтобы вся полученная энергия была израсходована, так как в конце пути она жидкости уже не нужна. Инженер-проектировщик должен для заданного объёмного расхода жидкости рассчитать потерю энергии как на линейном участке трубопровода, так и в местных сопротивлениях. Величина этих потерь будет определяться в первую очередь скоростью жидкости, которая зависит от диаметра трубопровода. Поэтому главной является задача выбора **оптимального** диаметра трубы.

Под оптимальным значением понимается такая величина, которая обеспечивает минимальное сочетание **капитальных** и **эксплуатационных** затрат.

Капитальные затраты – это затраты на приобретение трубопровода и насоса, на прокладку трассы. **Эксплуатационные затраты** – это оплата электроэнергии, которую будет потреблять электродвигатель насоса, передавая её часть перекачиваемой жидкости.

² На каждом участке передачи и преобразования энергии часть её теряется. Это неизбежная плата, которую можно уменьшить путём совершенствования механизмов, но нельзя избежать совсем. Напомним, что степень совершенства механизма определяется его коэффициентом полезного действия.

Для вычисления потерь давления пользуются эмпирическими формулами, полученными обобщением большого числа опытных данных

$$\Delta P_{mp} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2 \rho}{2}, \quad (2)$$

$$\Delta P_{m.c.} = \xi \frac{w^2 \rho}{2}, \quad (3)$$

где ΔP_{mp} – потеря давления на трение, Па; λ – коэффициент трения; l – длина трубопровода, м; d – внутренний диаметр трубопровода, м; w – средняя скорость движения потока, м/с; $\Delta P_{m.c.}$ – потеря давления в данном местном сопротивлении, Па; ρ – плотность жидкости, кг/м³; ξ – коэффициент данного местного сопротивления.

Формулу (2) часто называют формулой Дарси – Вейсбаха.

Гидравлическое сопротивление всей сети вычисляют по формуле (3а), которая получается при суммировании уравнений (2) и (3)

$$\Delta P_{nom} = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi_{m.c.} \right) \frac{w^2 \rho}{2}. \quad (3a)$$

Из формул (2), (3) и (3а) следует, что потеря энергии на трение и на местные сопротивления пропорциональна скоростному давлению $\frac{w^2 \rho}{2}$, которое является мерой кинетической энергии потока, отнесённой к единице объёма жидкости.

Значение средней скорости потока жидкости в трубопроводе связано с сечением, а значит и с диаметром трубы, известным соотношением, которое называется уравнением расхода

$$V = S w = \frac{\pi d^2}{4} w, \quad (4)$$

где S – площадь сечения потока (живое сечение потока), м^2 .

В старой литературе с целью уменьшения числа выполняемых арифметических действий дробь $\frac{\pi}{4}$ заменяли значением 0.785, и тогда

уравнение (4) записывалось в таком виде: $V = 0.785d^2w$.

Если известны значения объёмного расхода V и диаметра трубопровода d , то из уравнения расхода (4) можно найти значение средней скорости потока w

$$w = \frac{4V}{\pi d^2}. \quad (5)$$

По этой формуле мы будем вычислять скорость воды в трубе по измеренным значениям расхода V .

Величина коэффициента трения λ зависит от двух параметров:

1. от режима движения жидкости в трубе, т.е. от численного значения критерия Рейнольдса³ Re ;
2. от состояния стенки трубы, т.е. от её шероховатости⁴.

Величина критерия Рейнольдса находится по уравнению

$$Re \equiv \frac{wd\rho}{\mu} = \frac{wd}{\nu}, \quad (6)$$

где μ – динамический коэффициент вязкости перекачиваемой жидкости, $\text{Па}\cdot\text{с}$, ν – кинематический коэффициент вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$.

Состояние стенки трубы можно охарактеризовать средней величиной выступов и неровностей e . Но эта величина не даёт ответа

³ Осборн Рейнольдс, (Reynolds, Osborne) (1842–1912), английский инженер и физик. Работы Рейнольдса посвящены механике, гидродинамике, теплоте, электричеству, магнетизму. В 1883 Рейнольдс установил, что ламинарное течение переходит в турбулентное, когда введенная им безразмерная величина (число Рейнольдса) превышает критическое значение. Число Рейнольдса широко используется при решении задач гидро- и аэродинамики в случае малых и средних дозвуковых скоростей. Рейнольдс определил механический эквивалент теплоты. Сконструировал ряд турбин и центробежных насосов.

⁴ Одно дело бежать по дорожке стадиона, другое – по пашне. Так и движущаяся жидкость: она меньше теряет энергии в новой гладкой трубе, чем в старой ржавой.

на вопрос о том, гладкая труба или нет. Например, выступы высотой $e=0.2$ мм для трубы диаметром 16 мм – это много, а для трубы диаметром 1200 мм – это мало. Поэтому для характеристики состояния поверхности трубы вводится относительная шероховатость ε

$$\varepsilon \equiv \frac{e}{d}. \quad (7)$$

Трубы, для которых значением шероховатости можно пренебречь, называются гидравлически гладкими. В нашей работе сеть смонтирована из металлопластовых труб, которые практически лишены шероховатости и считаются гладкими.

Если режим движения жидкости в трубе ламинарный, то коэффициент трения рассчитывается по формуле Стокса

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (8)$$

Для турбулентного режима движения, когда значение критерия Рейнольдса лежит в диапазоне $100000 > Re > 4000$, коэффициент трения находится по формуле Блазиуса

$$\lambda = \frac{0.316}{Re^{0.25}}. \quad (9)$$

Формула (9) справедлива для гладких труб. Для шероховатых труб коэффициент трения проще всего найти по графику [1, с. 22].

Значение коэффициентов местных сопротивлений ξ_i , используемых в формуле (3), находятся по таблице [1, с. 520]. Для местных сопротивлений, которые установлены на лабораторном стенде, коэффициенты местных сопротивлений приведены в таблице 3.

Описание лабораторной установки и цели выполнения работы

Схема лабораторной установки показана на рис. 2.

Перекачиваемая насосом жидкость (вода) залита в напорный бак 1. На всасывающей линии установлен шаровой кран 3, отсекающий подачу воды в центробежный насос 4. На нагнетательной линии

установлен регулировочный вентиль 5, с помощью которого можно управлять расходом воды. Давление воды на входе в насос, т.е. на всасывающей линии, измеряется датчиками давления (мановакуметр) 2.

Для измерения давления на выходе из насоса используется датчик давления (манометр) 15. Этот прибор подключён к трёхходовому коллектору 14 таким образом, что, кроме давления на выходе из насоса, он может показывать давление после регулировочного вентиля 5 и на выходе воды из сети (в точке возврата воды в напорный бак 1).

Для измерения расхода воды установлен вихревой электромагнитный преобразователь счётчика жидкости 6, сигнал от которого подаётся на контроллер, установленный в шкафу управления насосом 11.

Для имитации потерь давления на входе в какой-либо аппарат и выходе из него на линии вставлена труба большого диаметра 7. Величину потери давления на выходе из неё измеряет датчик дифференциального давления 8.

Изменение направления потока осуществляется с помощью отводов (колен) 90° , которых всего в сети установлено 5 штук. К одному из них (№9 на схеме) подключён датчик дифференциального давления 10.

Датчик дифференциального давления 13 измеряет потерю давления на прямолинейном участке 12 (участок АВ длиной 5 м).

На нашей установке используются датчики давления, изготовленные в Чехии. **В европейских странах давление принято измерять в барах. 1 бар = 100000 (10^5) Па. В расчётах давление и все другие величины должны иметь размерность системы СИ.**

Информация от всех измерительных приборов (датчиков давления 2 и 15, датчиков дифференциального давления 8, 10 и 13, измерителя расхода 6) поступает на контроллер, установленный в шкафу управления насосом 11. С целью упрощения рисунка 2 электрические и коммуникационные линии на нём не показаны.

Пройдя по сети, вода возвращается в напорный бак 1. Наша гидравлическая сеть получается замкнутой.

Для обслуживания установки и проведения ремонтных работ предусмотрен слив (дренаж) воды из бака 1 в канализацию. Для этого на дренажной линии установлен кран 16, который в рабочем состоянии всегда закрыт.

Параметры лабораторной установки:

- диаметр трубы 20×2 мм;
- общая длина трубопровода 15.3 м;
- число колен (поворотов на 90^0) 5 шт.
- число оборотов электродвигателя при частоте тока 50 Гц 2830 об/мин.
- производительность насоса (максимальная) $5 \text{ м}^3/\text{час}$;
- напор насоса (максимальный) 66 м.

Цели лабораторной работы:

1. Экспериментальное определение зависимости сопротивления сети от объёмного расхода потока $H_c = f(V)$.
2. Экспериментальное определение коэффициента трения λ для участка трубы АВ.
3. Экспериментальное определение коэффициентов местных сопротивлений ζ_i для нормального вентиля, входа в трубу и поворота на 90^0 .
4. Сравнение экспериментальных значений коэффициента трения λ с полученными расчётным путём.
5. Сравнение экспериментальных значений коэффициентов местных сопротивлений ζ_i со справочными величинами.

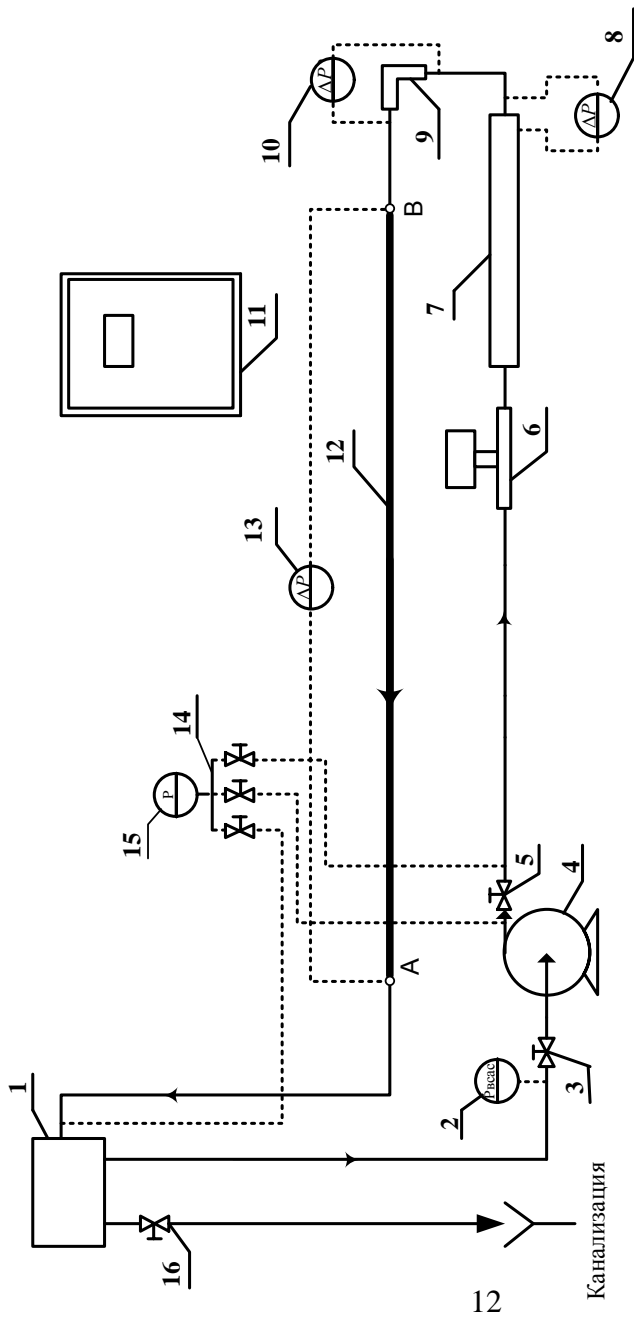


Рис. 2. Принципиальная схема лабораторной установки.


1 – напорный бак, 2 – датчик давления на приёмном кране, 3 – шаровый кран на приёмном насосе, 4 – центробежный насос; 5 – регулировочный вентиль на линии нагнетания; 6 – измеритель расхода воды; 7 – труба большого диаметра, имитирует вход в аппарат и выход из него; 8 – датчик потери давления на выходе из аппарата; 9 – отвод 90°; 10 – датчик потери давления на отводе; 11 – шкаф управления насосом; 12 – прямолинейный участок АВ длиной 5 м; 13 – датчик потери давления на прямолинейном участке АВ; 14 – коллектор с тремя кранами; 15 – датчик давления; 16 – шаровый кран слива воды в канализацию.

Описание работы шкафа управления насосной станцией

Основными элементами шкафа управления насосной станцией являются частотный преобразователь фирмы Mitsubishi и контроллер. Назначение частотного преобразователя – уменьшать частоту переменного тока, подаваемого на электродвигатель центробежного насоса. Стандартная частота в электросети 50 Гц. Этой частоте соответствует число оборотов электродвигателя, которое указывается на его корпусе. Наш электродвигатель работает с числом оборотов 2830 об/мин. При уменьшении частоты переменного тока соответственно уменьшается число оборотов двигателя⁵ и, как следствие, число оборотов рабочего колеса центробежного насоса. А при изменении числа оборотов рабочего колеса изменяются производительность насоса Q , создаваемый им напор H и потребляемая мощность N . Эти зависимости описываются законами пропорциональности.

На лицевой панели шкафа 11 находится панель управления и наблюдения за состоянием установки, которая представляет собой двухстрочный жидкокристаллический индикатор (ЖКИ) и клавиатуру. С помощью клавиатуры можно вызывать различные информационные окна. Каждое окно имеет индивидуальный номер.


Переход от окна к окну осуществляется с помощью специального **окна навигации**, в котором указывается номер требуемого окна.

Для вызова окна навигации необходимо нажать клавишу «9». Контроллер переходит в **режим редактирования**. Теперь необходимо нажать клавишу со стрелкой , при этом активируется курсор. Далее с помощью клавиш < > следует подвести курсор под нужное знакоместо и набрать номер требуемого окна. Нам для работы потребуется два окна:

- окно 20, если необходимо перейти в режим управления двигателем;

⁵ Изменять только частоту переменного электрического тока, подаваемого на электродвигатель, недостаточно. Необходимо изменять и напряжение тока. В противном случае двигатель перегорит. Поэтому частотный преобразователь изменяет как частоту, так и напряжение электрического тока. Более подробно этот вопрос изучается в курсе электротехники и электроники.

- окно 06, если необходимо снять данные по расходу жидкости;

После набора номера окна необходимо его активировать. Для этого опять нажимаем клавишу . Окно активировано. Если же требуется выйти из редактирования без сохранения изменений, то надо нажать клавишу «Esc».

После вызова окна 20 на дисплее появится приглашение «ЧРП=XXX», после чего следует ввести значение желаемой частоты электрического тока в **процентах**. Стандартной частоте 50 Гц соответствует 100%, 40 Гц – 80%, 30 Гц – 60%. 20 Гц – 40%. 10 Гц – 20%. Чем больше значение частоты подаваемого на электродвигатель тока, тем больше число оборотов рабочего колеса насоса.

Если вызвано окно 06, то появится значение расхода жидкости в кубических метрах в час ($\text{м}^3/\text{час}$).

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Перед началом эксперимента необходимо подготовить таблицу, в которую будут записываться измеряемые параметры (см. таблицу 1 на с. 13). Столбец 11 будут заполняться после проведения эксперимента по разности давления на выходе из насоса (столбец 4) и давления после вентиля (столбец 5).

2. Открыть кран 3. Напорный бак 1 теперь соединён с насосом 4. Вентиль 5 на линии нагнетания должен быть закрыт – этого требуют правила эксплуатации центробежных насосов.

3. Подать напряжение на шкаф управления насосом, для чего повернуть по часовой стрелке красный выключатель с левой стороны шкафа. На дисплее появится служебная информация. Одновременно на установке включатся все приборы.

4. Для пуска центробежного насоса необходимо вызвать окно навигации 9, перейти в режим редактирования, вызвать окно 20 и установить первое значение подаваемой на электродвигатель насоса частоты 10 Гц (устанавливается величина 20%!). Насос начал работать.

5. Полностью открыть вентиль 5 на линии нагнетания. Началась циркуляция воды по замкнутому контуру. Чтобы узнать её объёмный расход, необходимо снова вызвать окно навигации 9,

перейти в режим редактирования, вызвать окно 06 и записать в столбец 7 таблицы 1 значение расхода воды.

6. Снять показания датчиков давления 2 на входе в насос и 15 на линии нагнетания, для чего открыть первый кран на коллекторе 14.

7. Переключая второй и третий краны коллектора 14, измерить давления воды после регулировочного вентиля 5 и на выходе из сети.

8. Записать показания датчиков дифференциального давления 8, 10, и 13, которые измеряют потери давления на выходе из аппарата 7, отводе 90° и прямолинейном участке АВ. Всего должно быть записано 8 значений.

9. Повторить эксперимент несколько раз ($5 \div 7$), увеличивая каждый раз расход воды.

10. Результаты эксперимента свести в таблицу 1.

11. Отключить подачу воды, полностью закрыв вентиль 5 на линии нагнетания. Установить в окне 20 значение частоты тока 0%. Двигатель остановится. Эксперимент закончен.

Обработка экспериментальных данных

1. Из уравнения расхода (4) по формуле (5) определить скорость воды во всех опытах.

2. Рассчитать величину критерия Рейнольдса и определить режим движения воды для каждого расхода. Необходимые для расчёта значения плотности ρ и динамического коэффициента вязкости μ воды взять из таблицы 4.

3. Зная фактическую потерю давления на участке АВ (столбец 8 таблицы 1), из формулы (2) рассчитать экспериментальное значение коэффициента трения $\lambda_{\text{эсп}}$.

4. Зная показания манометра 15 до регулировочного вентиля 5 и после него, определить потерю давления на регулировочном вентиле (заполняется столбец 11 таблицы 1).

5. По формулам (8) или (9) (в зависимости от режима движения воды) рассчитать значение коэффициента трения $\lambda_{\text{расч}}$.

6. Зная экспериментальные значения потери давления в местных сопротивлениях, по формуле (3) найти коэффициенты местных

сопротивлений $\zeta_{\text{эсп}}$ для нормального вентиля, входа в трубу и поворота на 90° .

6. Полученные значения коэффициентов местных сопротивлений сравнить со справочными, приведёнными в таблице 3.

7. Для одного из значений расхода воды по формуле (3а) определить общее гидравлическое сопротивление сети (её параметры указаны на с. 9) и сравнить полученное значение с экспериментальным.

8. Результаты расчёта свести в таблицу 2.

9. В конце работы необходимо построить график зависимости потери давления от объёмного расхода воды в трубе и сделать выводы о влиянии скорости потока на величину гидравлического сопротивления. Для построения графика необходимы данные столбца 2 таблицы 2 (аргумент) и столбца 7 таблицы 1 (функция).

Результаты эксперимента

№ опыта	Значение частоты тока, Гц	Давление на входе в насос, бар	Давление на выходе из насоса, бар	Давление после вентиля, бар	Давление на выходе из сети, бар	Расход воды, м ³ /час	Потери давления на участках сети			
							Потеря давления на участке АВ, бар	Потеря давления на выходе из аппарата 7, бар	Потеря давления на отводе 9, бар	Потеря давления на вентиле 5, бар
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	10									
2	20									
3	30									
4	40									
5	50									

Результаты расчёта

№ опыта	Объёмный расход V , м ³ /с	Скорость в трубе w , м/с	Критерий Рейнольдса, Re	Экспериментальное значение коэффициента трения $\lambda_{\text{эксп}}$	Расчётное значение коэффициента трения $\lambda_{\text{расч}}$	Коэффициент сопротивления вентилей 5		Коэффициент сопротивления выхода из аппарат		Коэффициент сопротивления поворота на 90°	
						Экспериментальное значение	Справочное значение	Экспериментальное значение	Справочное значение	Экспериментальное значение	Справочное значение
1											
2											
3											
4											
5											

Коэффициенты местных сопротивлений [1, с. 520]

Вид сопротивления	Значение коэффициента местного сопротивления ξ
Вход в трубу с острыми краями	0.5
Вход в трубу с закруглёнными краями	1.0
Отвод (колесо) 90°	2.2
Вентиль нормальный:	
• полностью открытый	8.0
• открытый частично	4.5÷11.0

Свойства воды в зависимости от температуры
(на линии насыщения)

Температура, °C	Плотность, $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Теплоёмкость, $c, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{K}}$	Вязкость, $\mu \times 10^3, \frac{\text{Па} \times \text{с}}$	Теплопроводность, $\lambda \times 10^2, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \times \text{K}}$	Критерий Прандтля Pr
10	1000	4,19	1,310	57,5	9,52
15	999	4,19	1,155	58,7	8,24
20	998	4,18	1,000	59,9	7,02
25	997	4,18	0,902	60,9	6,19
30	996	4,18	0,804	61,8	5,42
35	994	4,18	0,731	62,6	4,88
40	992	4,18	0,657	63,4	4,31
50	988	4,18	0,549	64,8	3,54
60	983	4,18	0,470	65,9	2,98
70	978	4,19	0,406	66,8	2,55
80	972	4,19	0,355	67,5	2,21
90	965	4,19	0,315	68,0	1,95

Контрольные вопросы

1. Цель работы, схема лабораторной установки, порядок выполнения работы.
2. Гидравлическая сеть, её состав. Арматура и её виды. Детали трубопровода.
3. Режимы движения жидкости. Критерий Рейнольдса и его физический смысл.
4. Понятие эквивалентного диаметра канала.
5. Уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкости. Название каждого слагаемого и его единица измерения
6. Слагаемые потери энергии при движении жидкости по сети. Причины потерь энергии.
7. Потери энергии на трение. Параметры, влияющие на величину потерь на трение.
8. Местные сопротивления: понятие, расчёт потерянной энергии на преодоление местных сопротивлений. Определение коэффициентов местных сопротивлений.
9. Характеристика гидравлической сети.
10. Насос и его назначение. Основные параметры насоса.
11. Влияние числа оборотов рабочего колеса центробежного насоса на подачу, напор и потребляемую мощность. Законы пропорциональности.
12. Правила пуска и останова центробежного насоса.
13. Единицы измерения плотности, удельного веса, вязкости, расхода, давления. Соотношение между единицами измерения физических величин в различных системах.

Библиографический список

1. Процессы и аппараты химической технологии: Справ. пособ. / *В.Д. Измайлов, В.В. Филиппов*; Самар. гос. техн. ун-т. - Самара, 2006.- 44 с.
2. *Филиппов В.В.* Трубопроводы и трубопроводная арматура. Учебн. пособие. Самара: изд. СамГТУ, 2007. – 66 с.

Оглавление

Теоретическое введение.....	2
Описание лабораторной установки и цели выполнения работы	9
Описание работы шкафа управления насосной станцией.....	13
Порядок выполнения лабораторной работы.....	14
Обработка экспериментальных данных	15
Контрольные вопросы.....	20
Библиографический список.....	20
Оглавление	21

Гидравлическое сопротивление сети

Учебное издание

Составитель ФИЛИППОВ Вячеслав Васильевич

В авторской редакции

Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.

Усл. п. л. 1,21. Уч.-изд. л. 1,20

Набор и вёрстка В.В. Филиппов

Тираж 50 экз. Рег. № 208/12

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования

«Самарский государственный технический университет»

443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Главный корпус