

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет**

Кафедра обогащения полезных ископаемых

ГИДРОМЕХАНИКА

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов специальности 21.05.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2019**

УДК 622.7 (073)

ГИДРОМЕХАНИКА: Методические указания к лабораторным работам/
Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *С.А. Корчевенков, В.В. Львов.*
СПб, 2019. 38 с.

Лабораторные работы охватывают основные разделы курса «Гидромеханика» и соответствуют программе данной дисциплины. Приведены необходимые формулы для расчетов, порядок выполнения работ.

Предназначены для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело».

Научный редактор проф. *Т.Н. Александрова*

Рецензент канд. техн. наук *А.Ю. Феоктистов* (ЗАО «КАДФЕМ Си-Ай-Эс»)

© Санкт-Петербургский
горный университет, 2019

ВВЕДЕНИЕ

Гидромеханика – наука инженерная, прикладная, изучающая законы покоя (гидростатика) и движения (гидродинамика) капельных жидкостей, ее взаимодействия с твердыми телами и разрабатывающая методы применения этих законов в практической деятельности.

В современной промышленности нет области, где не проводятся гидравлические расчеты процессов, устройств и механизмов. Крупнейшие гидростанции и оросительные каналы, гидропривод машин и механизмов, автоматизированные системы управления производством и гидрооборудование металлообрабатывающих станков, тормозные устройства автомобилей, искусственное сердце – лишь некоторые тому примеры. У нас в стране создаются мощные гидравлические турбины и гидравлические экскаваторы.

На основе основных законов гидромеханики базируются теоретические основы процессов водоснабжения обогатительных фабрик, обезвоживания тонкозернистых материалов, очистки сточных вод, методики расчета внутренних и наружных водопроводных сетей, пульпопроводов, насосных станций. Широкое применение получает трубопроводный транспорт химических и сельскохозяйственных продуктов, промышленных и бытовых отходов сыпучих материалов, в том числе угля, флотационных тонкодисперсных концентратов, например, флюоритовых, апатитовых. Получает широкое развитие гидравлический способ добычи угля.

Особое значение гидромеханика имеет для нефтяной и газовой промышленности, так как все ее процессы, начиная от бурения разведочных скважин и кончая транспортировкой готовой продукции потребителю, связаны с перемещением и хранением жидкостей. Почти ежегодно вступают в строй мощные магистральные трубопроводы, транспортирующие нефть и газ из Западной Сибири.

С целью более глубокого изучения дисциплины, помимо лекций и практических занятий, в учебном плане предусмотрены лабораторные работы, выполняемые каждым студентом поэтапно.

До начала лабораторной работы студент должен усвоить ее содержание, познакомиться с лабораторной установкой, изучить и понять физический процесс, происходящий в ней.

Во время предварительного собеседования выясняется цель работы, порядок ее проведения, устройство и принцип действия установки, основные понятия и расчетные формулы. После этого студент получает задание на проведение лабораторной работы и выполняет ее.

После завершения работы необходимо убрать рабочее место, показать преподавателю полученные экспериментальные данные и приступить к расчету в рабочей тетради основных, вытекающих непосредственно из замеров, величин.

Окончательное выполнение и оформление отчета производится во внеурочное время. В отчете должны содержаться общие сведения о теории процесса, описание лабораторной установки, ее эскиз и методики проведения исследований, экспериментальные данные, результаты расчетов в виде таблиц или графиков, выводы по работе.

Отчет по лабораторной работе представляется на следующем занятии и после успешной защиты студент получает допуск к выполнению очередной работы.

При изучении дисциплины «Гидромеханика» необходимо знать соотношения между наиболее распространенными единицами физических величин, используемых в лабораторных работах (см. приложение).

РАБОТА 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ РОТАЦИОННЫМ ВИСКОЗИМЕТРОМ

Цель работы: ознакомиться с работой ротационного вискозиметра, исследовать вязкость жидкости.

Основные понятия: вязкость - одно из явлений переноса, свойство текучих тел оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой. В результате работа, затрачиваемая на это перемещение, рассеивается в виде тепла. Механизм внутреннего трения в жидкостях и газах заключается в том, что хаотически движущиеся молекулы переносят импульс из одного слоя в другой, что приводит к выравниванию скоростей - это описывается введением силы трения. Вязкость твёрдых тел обладает рядом специфических особенностей и рассматривается обычно отдельно. Различают динамическую вязкость и кинематическую вязкость. Кинематическая вязкость может быть получена как отношение динамической вязкости к плотности вещества и своим происхождением обязана классическим методам измерения вязкости, таким как измерение времени вытекания заданного объёма через калиброванное отверстие под действием силы тяжести. Прибор для измерения вязкости называется вискозиметром.

Оборудование: вискозиметр ротационный, термометр, сосуд-термостат.

Устройство и принцип работы: вискозиметр ротационный FUNGILAB EXPERT L предназначен для измерения динамической вязкости и реологических характеристик жидкостей в условиях лабораторий. Принцип действия вискозиметра основан на измерении изменения крутящего момента шпинделя, создаваемого исследуемым образцом. Измерение крутящего момента шпинделя определяется датчиком угла вращения по закручиванию приводной пружины. Диапазон измерения вязкости зависит от размера и формы шпинделя, а также от скорости его вращения. Вискозиметр представляет собой настольный прибор, который состоит из измерительного блока, штатива и набора шпинделей. В измерительном блоке находится микроконтроллер, мотор, обеспечивающий вращение шпинделя, на лицевой панели - ЖК-дисплей, клавиатура; на задней панели – разъём кабеля питания, разъём для подключения температурного датчика, USB-разъём. Модель L отличается диапазоном измерений, заложенным производителем, стандартным набором шпинделей и наличием датчика температуры типа Pt100 в составе прибора.



Рис. 1. Ротационный вискозиметр

Порядок проведения работы

1. После установки прибора проводится автотест оборудования, для этого необходимо снять шпиндель и нажать «ENTER» на клавиатуре.
2. После успешного автотеста вискозиметр готов к работе и перед измерением нам необходимо установить нужный нам шпиндель, его защиту и термодатчик. Как показано на рисунке 2.



Рис.2. Шпиндель закрепленный в узле

3. Далее проводятся настройки нужных нам единиц измерений вязкости и температуры. Динамическая вязкость измеряется в сПз, мПа*с, в случае введении данных о плотности измеряемого образца измеряется кинематическая вязкость в сантистоксах сСт. Температура в градусах Цельсия или Фаренгейта.

4. После установки необходимых нам единиц измерений производится установка конфигураций измерения:

- SP – это поле, которое указывает на тип шпинделя, который используется для измерения вязкости;
- RPM – это поле, указывающее на скорость вращения шпинделя (в об/мин);
- D – поле указывающее плотность жидкого образца;
- MAX – указывается максимальное значение вязкости, которое может быть определено с данной скоростью вращения и выбранным шпинделем.

5. После выбора шпинделя и установки параметров измерения и скорости мы нажимаем кнопку пуска и вискозиметр начинает вращение и на экране отображается полученная на этой стадии информация.

Измерение вязкости:

Перед началом работы с вискозиметром необходимо убедиться в следующем:

- вискозиметр закреплен на стержне и выставлен по уровню;
- тип шпинделя и скорость выбраны правильно;
- шпиндель правильно погружен в жидкость и закреплен;
- шпиндель погружен в жидкость до метки на его оси;
- жидкость статична и однородна.

Во время измерения необходимо учитывать следующее:

- достоверные данные получаются после стабилизации показаний;
- переход от ламинарного режима к турбулентному происходит при скорости 60 об/мин при вязкости 60 сР для шпинделя L1;
- процентная величина сжатия пружины должна быть в пределах 15-95%, желательно 50-80%;
- получаемое значение вязкости должно быть в пределах 15-100% от максимального значения для данной комбинации частоты вращения / типа шпинделя;
- погрешность измерений составляет $\pm 1\%$ от максимального значения вязкости для данной комбинации частоты вращения / типа шпинделя;

Результаты измерений:

Таблица 1

| № опыта | Температура (Т), °С | μ , мПа*С |
|---------|---------------------|---------------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 10 | | |

По результатам таблицы 1 необходимо построить график изменения динамической вязкости от температуры.

РАБОТА 2. ЗАВИСИМОСТЬ УРОВНЕЙ ЖИДКОСТЕЙ В СООБЩАЮЩИХСЯ СОСУДАХ ОТ ПЛОТНОСТИ ЭТИХ ЖИДКОСТЕЙ

Цель работы – ознакомиться с установкой для изучения условий равновесия жидкостей в сообщающихся сосудах от плотности этих жидкостей. Научиться определять плотность одной из жидкостей по известной плотности другой и высотам уровней.

Основные понятия. Закон сообщающихся сосудов находит применение в жидкостных приборах для измерения давлений (например, пьезометр, ртутный манометр и т.д.). С условиями равновесия жидкостей приходится иметь дело при бурении эксплуатационно-разведочных скважин для поиска и определения дебита подземных вод, например, при выборе площадки для строительства обогатительной фабрики и решении проблемы ее водоснабжения. При этом условия равновесия жидкостей в процессе бурения скважин могут изменяться при поглощениях жидкости в трещиноватых породах или при встрече высоконапорных водоносных либо нефтегазовых горизонтов. В первом случае происходит понижение уровня жидкости; во втором – самоизлив или выброс из скважины артезианских вод, промывочной жидкости, нефти и газа.

Для установления условия равновесия жидкостей, находящихся в сообщающихся сосудах, применяют основное уравнение гидростатики.

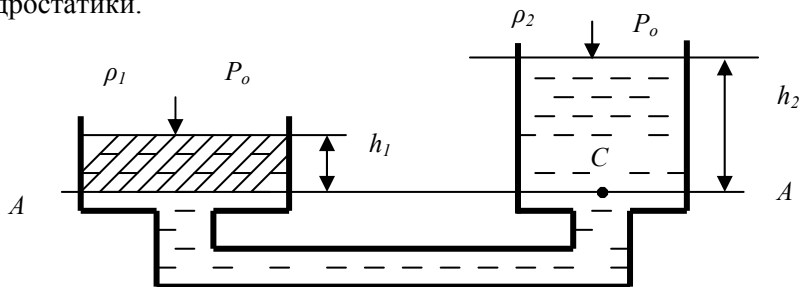


Рис. 3. Схема сообщающихся сосудов

На рис.3 приведена схема двух сообщающихся сосудов, в которые налиты разнородные, несмешивающиеся между собой жидко-

сти с различными плотностями (ρ_1 и ρ_2), но с одинаковым давлением на свободной поверхности P_0 , равным атмосферному.

Гидростатическое давление в точке C , лежащей на линии $A - A$ раздела разнородных жидкостей определяется по следующим формулам: для левого сосуда $P_1 = P_0 + \rho_1 g h_1$; для правого – $P_2 = P_0 + \rho_2 g h_2$, где h_1 и h_2 – глубины погружения точки C относительно поверхности жидкостей в сосудах. Следовательно, $P_0 + \rho_1 g h_1 = P_0 + \rho_2 g h_2$, откуда, $\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2$, или $h_1/h_2 = \rho_2/\rho_1$

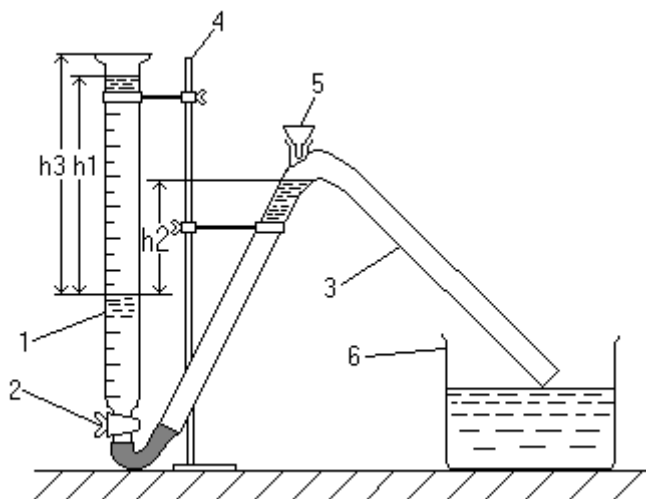


Рис. 4. Установка для изучения условий равновесия жидкостей в системе «скважина – пласт»

Таким образом, уровни жидкостей в сообщающихся сосудах устанавливаются обратно пропорционально их плотностям. Если известны положения уровней жидкостей и плотность одной из них, то плотность другой можно определить как неизвестный член пропорции:

$$\rho_2 = \rho_1 h_1 / h_2.$$

Необходимое оборудование. Установка для изучения равновесий жидкостей (Рис. 4), например, в системе скважина – пласт, которая представляет собой бюретку 1 с пробковым краном 2, соединенную с U – образной опрокинутой стеклянной трубкой 3, за-

крепленной на штативе 4. Один конец трубки опущен в стеклянный стакан 6.

В колене трубки есть отверстие с воронкой 5 для заливки жидкости. Диаметры бюретки и трубки должны быть примерно одинаковыми. Колено трубки должно располагаться немного ниже (примерно в 1,2 раза) края бюретки. Бюретка в установке имитирует скважину, а опрокинутая трубка – пласт породы.

Порядок проведения работы

1. Бюретку при закрытом кране 2 полностью заливаем водой. Давление, которое создает жидкость в бюретке, имитирует гидростатическое давление в скважине. Пустая *U*-образная трубка представляет собой пласт с очень низким давлением. При этом бюретка (скважина) и трубка (пласт) разобщены.

2. Открываем нижний кран 2 и жидкость в бюретке и трубке устанавливается на одном уровне, как в сообщающихся сосудах, т.е. как при поглощении жидкости в трещиноватых породах.

3. Затем осторожно доливаем в бюретку керосин – жидкость с меньшей плотностью, чем плотность воды, и пытаемся довести уровень керосина до края бюретка, но так, чтобы вода из левого колена трубки не попала в стеклянный стакан 6.

4. Замеряем по градировочной шкале уровень h_1 керосина в бюретке и уровень h_2 воды в *U* – образной трубке от линии их раздела.

5. По измеренным высотам жидкостей в бюретке h_1 и трубке h_2 определяем их отношение h_1/h_2 . Оно должно равняться в соответствии с законом сообщающихся сосудов отношению плотностей жидкостей ρ_2/ρ_1 , т.е.

$$\rho_2/\rho_1 = h_1/h_2$$

6. Затем определяем плотность ρ_3 жидкости, которой можно наполнить бюретку до верха. Применительно к процессам бурения это значит восстановить циркуляцию промывочной жидкости.

$$\rho_3 = \rho_2 h_2 / h_3$$

7. Результаты измерений и вычислений заносим в таблицу 2.

Таблица 2

| Показатели | Единица измерения | Значение показателей для разных опытов | | |
|---|-------------------|--|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Данные значения | | | | |
| Плотность жидкости ρ_1 | | | | |
| Плотность жидкости ρ_2 | | | | |
| Опытные значения | | | | |
| Высота уровня жидкости в бюретке от границы раздела h_1 | | | | |
| Высота уровня жидкости в бюретке от границы раздела h_2 | | | | |
| Высота бюретки над границей раздела жидкостей h_3 | | | | |
| Вычисленные значения | | | | |
| Отношение ρ_1/ρ_2 | | | | |
| Отношение h_2/h_1 | | | | |
| Плотность жидкости ρ_3 | | | | |
| $\rho_3 = \rho_2 h_2 / h_3$ | | | | |

РАБОТА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ЗАКОНА АРХИМЕДА

Цель работы – ознакомиться с установкой для экспериментальной проверки закона Архимеда и определить вес тела (трубки) в жидкости по расчетам.

Основные понятия. На тело призматической формы высотой h с площадью оснований S , погруженное в жидкость, Действует сила гидростатического давления на верхнее основание P_1 и сила гидростатического давления жидкости на нижнее основание P_2 (Рис. 5).

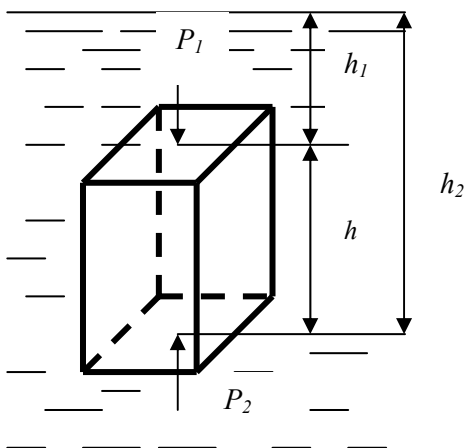


Рис. 5. Схема действия сил на тело, погруженное в жидкость

Силы гидростатического давления жидкости на боковые поверхности не учитываются, так как они равны по величине и противоположны по направлению.

$P_1 = \rho gh_1 S$ – сила, которая стремится погрузить тело в жидкость.

$P_2 = \rho gh_2 S$ – сила, которая стремится вытолкнуть тело в жидкость.

Из основного уравнения гидростатики следует, что $P_2 > P_1$, так как $h_2 > h_1$.

Разность сил $P_2 - P_1$ является поддерживающей или выталкивающей силой P_n

$$P_n = P_2 - P_1 = \rho g h_2 S - \rho g h_1 S = \rho g S (h_2 - h_1);$$

$$h_2 - h_1 = h; Sh = V - \text{объем тела.}$$

Отсюда

$$P_n = \rho g V.$$

Следовательно, на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная по величине и обратная по направлению силе тяжести жидкости вытесненной телом. Так формулируется закон Архимеда, а выталкивающую силу P_n называют архимедовой силой.

Закон Архимеда имеет большое практическое применение. Так например, при сооружении трубчатых колодцев для захвата подземных вод с больших глубин для водоснабжения проектируемых обогатительных фабрик в районах, не содержащих крупных поверхностных источников воды, расчеты массы обсадной колонны труб в скважине производят на основе положений закона Архимеда.

Поддерживающая сила для колонны обсадных труб равна:

$$P_n = SL\rho_{ж}g,$$

где S – площадь сечения труб; L – длина колонны труб; $\rho_{ж}$ плотность промывочной жидкости.

Вес колонны обсадных труб в воздухе (сухой скважине) можно определить по формуле:

$$G_1 = SL\rho g,$$

где ρ – плотность материала труб.

Тогда вес труб в скважине, заполненной жидкостью, будет равен:

$$G = G_1 - P_n = SL\rho g - SL\rho_{ж}g = SL\rho g(1 - \rho_{ж}/\rho);$$

Масса 1 погонного метра труб, т.е. при $L=1$ составит:

$$q = Sp.$$

Отсюда

$$G = aqgL(1 - \rho_{ж}/\rho).$$

Масса обсадных труб в скважине будет равна:

$$M = \alpha q L (1 - \rho_{\text{ж}} / \rho),$$

где α – коэффициент, учитывающий массу соединений по всей длине обсадных труб.

Необходимое оборудование. Установка для экспериментальной проверки закона Архимеда (Рис. 6), которая состоит из рычажных или пружинных чувствительных весов 1, мерного цилиндра 3 с делениями, заполненного водой, погружаемого в жидкость тела – трубки 4 с достаточно большой толщиной стенки и плотно подогнанным обратным клапаном 5. Толщина стенки трубки увеличивает ее объем, что позволяет провести более точные замеры. Трубка подвешивается к весам на очень тонкой капроновой нитке 2, чтобы до минимума уменьшить погрешность опыта. Весы либо мерный цилиндр должны допускать регулировку по высоте.

Порядок проведения работы

1. Трубку, имитирующую обсадную трубу, подвешиваем к весам на тонкой капроновой нити.
2. Определяем массу m_1 трубки в воздухе.
3. Подвешенную к весам трубку, медленно погружаем в мерный цилиндр с водой.
4. Определяем массу m трубки в жидкости. При этом внутренний объем трубки должен быть полностью заполнен водой.
5. Определяем по градуировочной шкале объем V_1 вытесненной воды при погружении в нее трубки.
6. Вновь определяем массу трубки m_2 , но при плотно закрытом обратном клапане. Вода не должна при этом попадать внутрь трубки.
7. Определяем объем вытесненной воды V_2 и длину погруженной в воду части трубки L_1 .
8. С помощью штангенциркуля измеряем наружный диаметр D трубки и длину L .
9. Полученные данные заносим в таблицу 3.

Обработка опытных данных

1. По формуле $G = qgL$ определяем вес трубки. Масса 1 погонного см трубки была задана преподавателем.
2. По формуле $G = qgL(-\rho_{ж}/\rho)$ определяем вес трубки в жидкости.
3. По формуле $P_{н2} = \pi D^2 L \rho_{ж} g / 4$ определяем поддерживающую силу при погружении трубки в жидкость, когда обратный клапан плотно закрыт.

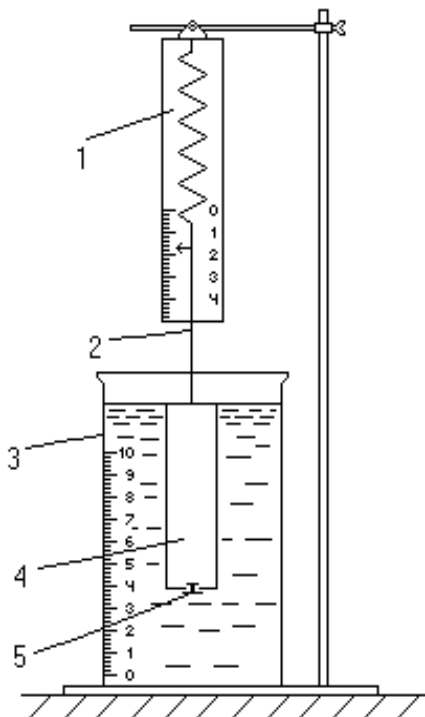


Рис. 6. Установка для экспериментальной проверки закона Архимеда

Выводы

На тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная силе тяжести жидкости в объеме данного тела. Закон Архимеда находит широкое практическое применение.

Таблица 3

| Показатели | Единица измерения | Значение показателя |
|--|-------------------|---------------------|
| Д а н н ы е з н а ч е н и я | | |
| <i>Плотность жидкости $\rho_{ж}$</i> | | |
| <i>Плотность материала трубки ρ</i> | | |
| <i>Масса 1 см трубки q</i> | | |
| О п ы т н ы е з н а ч е н и я | | |
| <i>Вес трубки в воздухе $G = m_1g$</i> | | |
| <i>Вес трубки в жидкости при открытом клапане $G_1 = mg$</i> | | |
| <i>Вытесненный объем жидкости V_1</i> | | |
| <i>Вес трубки в жидкости при закрытом клапане $G_2 = m_2g$</i> | | |
| <i>Вытесненный объем жидкости V_2</i> | | |
| <i>Наружный диаметр трубки D</i> | | |
| <i>Длина трубки L</i> | | |
| <i>Длина погруженной части трубки при закрытом клапане L_1</i> | | |
| <i>Поддерживающая сила при открытом клапане $P_{п1} = V_1\rho_{ж}g$</i> | | |
| <i>Поддерживающая сила при закрытом клапане $P_{п2} = V_2\rho_{ж}g$</i> | | |
| В ы ч и с л е н н ы е з н а ч е н и я | | |
| <i>Вес трубки в воздухе $G_1 = qgL$</i> | | |
| <i>Вес трубки в жидкости при открытом клапане $G = qgL(1 - \rho_{ж}/\rho)$</i> | | |
| <i>Поддерживающая сила при открытом клапане $P_{п1} = G_1 - G$</i> | | |
| В ы ч и с л е н н ы е з н а ч е н и я | | |
| <i>Поддерживающая сила при закрытом клапане $P_{п2} = \pi D^2 L_1 \rho_{ж} / 4$</i> | | |
| <i>Вес трубки в жидкости при закрытых клапане $G_2 = G_1 - P_{п2}$</i> | | |

РАБОТА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА ЖИДКОСТИ В РАБОЧЕМ КОЛЕСЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА. КАВИТАЦИЯ

Цель работы – ознакомиться с конструкцией и устройством рабочего колеса центробежного насоса, построить параллелограммы скоростей на входе и выходе из каналов рабочего колеса, отображающие движение потоков жидкости в рабочем колесе. На представленных в лаборатории кафедры обогащения полезных ископаемых образцах рабочих колес центробежных насосов выявить следы кавитации, подробно описать это негативное явление, условия его возникновения и меры борьбы с ним.

Основные понятия. Жидкость подводится к рабочему колесу центробежного насоса по всасывающему патрубку с некоторой скоростью C_0 , направленной параллельно оси вала, и при входе в межлопастной канал меняет направление движения на радиальное с абсолютной скоростью C . Следовательно, при радиальном входе жидкости в канал рабочего колеса угол между векторами абсолютной скорости C и переносной U , т.е. угол α_1 равен 90^0 , что является условием безударного входа жидкости. Таким образом, жидкость входит в межлопастные каналы рабочего колеса без закручивания.

При вращении рабочего колеса каждая частица жидкости участвует в двух движениях: переносном (вращательном) – U вместе с рабочим колесом и относительном – W , направленном вдоль лопаток под действием центробежной силы. Вектор переносной скорости направлен по касательной к окружности, а вектор относительной скорости – по касательной к поверхности рабочих лопаток центробежного насоса. Результирующая или абсолютная скорость C определяется по правилу параллелограмма скоростей и является геометрической суммой двух образующих скоростей и определяется относительно неподвижного корпуса насоса. В дальнейшем будем соответствующие скорости на входе в канал рабочего колеса U , W , C , а также давления жидкости P и геометрические параметры колеса (внутренние и внешние диаметры, радиусы, углы наклона лопаток β) обозначать с нижним индексом 1, а на выходе – индексом 2.

При построении в масштабе параллелограмма скоростей на выходе из каналов рабочего колеса следует обратить внимание, что

вектор радиальной составляющей абсолютной скорости C_{r2} должен быть приблизительно равен вектору абсолютной скорости на входе C_1 , что также обеспечивает безударный вход жидкости в рабочее колесо (рис. 7).

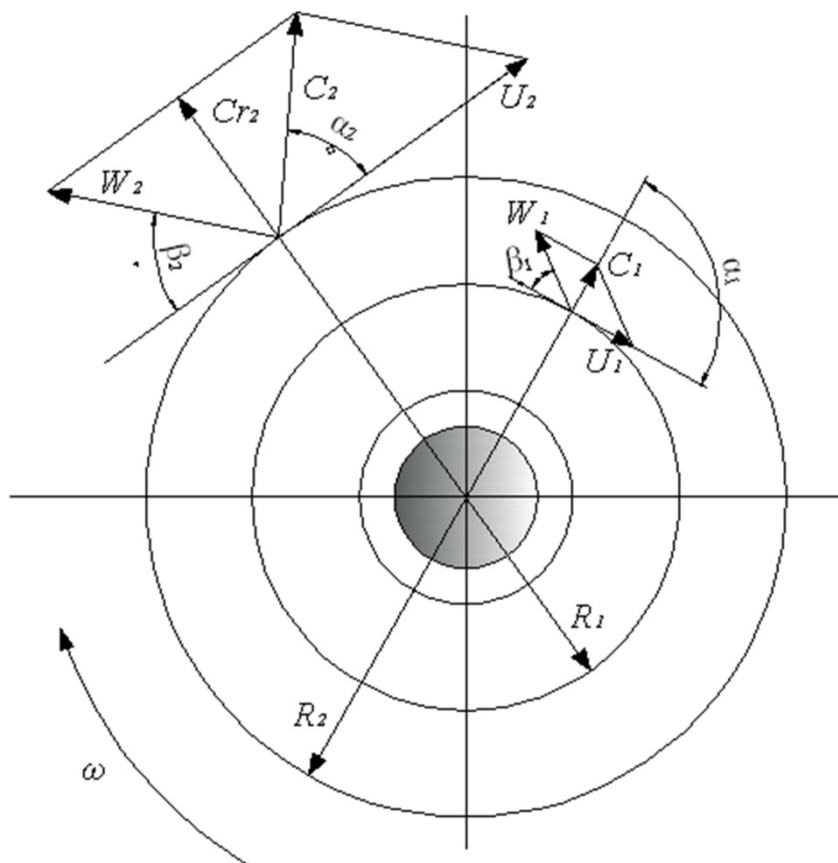


Рис. 7. Схема прохождения жидкости по каналу рабочего колеса центробежного насоса. Параллелограмм скоростей жидкости на входе и выходе из рабочего колеса

Всасывание жидкости в центробежный насос происходит в результате разности давления на свободной поверхности жидкости в колодце, равном атмосферному $P_{ат}$, и во всасывающей патрубке на-

соса P_1 . Как только давление P_1 на входных концах лопаток рабочего колеса уменьшится или станет близким давлению парообразования при данной температуре (упругости пара перекачиваемой жидкости P_n), жидкость закипает и из нее начинают выделяться растворенные газы в виде мелких пузырьков. Образование пузырьков внешне похоже на кипение жидкости. Комплекс явлений, возникающих при этом, называют кавитацией. Таким образом, кавитация – это процессы нарушения сплошности потока жидкости, происходящие там, где местное давление понижается и достигает определенного критического значения. Возникшие в результате понижения давления пузырьки увеличиваются в размере и уносятся потоком. Поток жидкости переносит пузырьки пара к выходным концам лопаток, т.е. в область повышенного давления P_2 , где происходит быстрый обратный процесс конденсации пара. Занимаемый пузырьками объем мгновенно заполняется жидкостью, которая производит сильные точечные гидравлические удары при значительном повышении давления, достигающим несколько тысяч атмосфер.

Так как образование воздушных пузырьков и их исчезновение с большой скоростью происходят в основном вблизи поверхности лопаток, то воздействие гидравлических ударов принимает на себя, прежде всего, материал рабочего колеса центробежного насоса. Это приводит к его выщерблению – механической эрозии лопаток. Прочность металлических деталей насоса быстро снижается. При этом воздействие кавитации на металлические детали насоса усиливается, если перекачиваемая жидкость содержит взвешенные абразивные вещества: песок, мелкие частицы шлака и т.п.

Кроме того, процесс кавитации усиливается термическими, окислительно–восстановительными и электрохимическими реакциями. Кавитация сопровождается также химическим разрушением (коррозией) материала насоса под действие кислорода и других газов, выделившихся из жидкости в области пониженного давления.

Явления кавитации сопровождаются возникновением шума и вибраций насоса, происходящих вследствие конденсации пузырьков пара и газа в области повышенного давления. Практически появление кавитации при работе насоса можно обнаружить по характерному потрескиванию в области всасывания, шуму и вибрации насоса.

При кавитации происходит резкое изменение эксплуатационных характеристик насоса – уменьшаются КПД, подача и напор.

Необходимое оборудование. Рабочее колесо центробежного насоса, работавшее в режиме кавитации, транспортир, масштабная линейка, миллиметровая бумага, каталог центробежных насосов для воды.

Порядок проведения работы

1. С помощью линейки определяем внутренний R_1 и внешний R_2 радиусы рабочего колеса или соответствующие диаметры в (мм). Желательно сделать три–четыре замера и подсчитать их среднеарифметическое значение.

2. Замеряем для трех–четырех произвольно выбранных каналов рабочего колеса их ширину h и длину l_i с точность до миллиметра.

3. По результатам измерений рассчитывают площади поперечных сечений, произвольно выбранных каналов на выходе из рабочего колеса в м^2 .

$$S_i = h l_i \cdot 10^{-6},$$

где i – от 1 до n .

4. Определяем среднюю площадь выходных каналов в м^2 .

$$S_{\text{ср}} = \sum S_i / n,$$

где n – число замеров.

5. Рассчитываем общую или суммарную площадь сечений всех выходных каналов в м^2 .

$$S_{\text{общ}} = S_{\text{ср}} k,$$

где k – количество выходных каналов рабочего колеса.

6. По каталогу центробежных насосов для чистой воды подбираем насос с внешним диаметром рабочего колеса, равным или близким измеренному D_2 .

7. Для выбранного по каталогу насоса определяем его подачу в л/с. Для этого необходимо воспользоваться одной из действитель-

ных характеристик насоса – зависимостью КПД от производительности $\eta=f(Q)$, учитывая при этом, что насос должен работать в режиме максимального КПД.

8. Пересчитываем подачу выбранного насоса в $\text{м}^3/\text{с}$.

9. Для данного насоса выписываем из каталога в рабочую тетрадь частоту вращения вала рабочего колеса n мин^{-1} , его марку, массу, установочную мощность двигателя N в кВт и завод-изготовитель.

10. В соответствии с одним из основных уравнений гидродинамики (уравнением неразрывности для потока) рассчитываем радиальную составляющую абсолютной скорости в $\text{м}/\text{с}$ на выходе из каналов рабочего колеса C_{r2} . При этом следует помнить, что вектор данной скорости направлен по радиусу.

$$C_{r2}=Q/S_{\text{общ}}$$

11. Зная частоту вращения рабочего колеса n , производительность насоса Q и внешний радиус колеса R_2 , определяем переносную составляющую U_2 (в $\text{м}/\text{с}$) абсолютной скорости C_2 .

$$U_2 = R_2 \cdot \omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_2 \cdot n}{60},$$

где ω – угловая скорость.

12. Замеряем для трех–четырёх каналов рабочего колеса с помощью линейки и транспортира угол наклона лопаток β_2 и рассчитываем его среднеарифметическое значение.

13. На миллиметровой бумаге строим параллелограммы скоростей на входе и выходе потока жидкости в каналы рабочего колеса. При этом в масштабе откладывается по радиусу вектор C_{r2} и вектор U_2 , касательный к окружности. Направление вектора относительной скорости W_2 соответствует замеренному углу наклона лопаток, а его величина – определится после построения параллелограмма скоростей.

14. По параллелограмму скоростей, пользуясь транспортиром, замеряем угол α_2 и сравниваем полученное его значение с рассчитанным по формуле:

$$\sin \alpha_2 = C_{r2} / C_2$$

В качестве подраздела к работе «Кавитация» следует детально описать способы устранения негативного явления кавитации для обеспечения нормальной (бескавитационной) работы центробежных насосов.

Для предупреждения и ликвидации явления кавитации необходимо, чтобы давление во всасывающей трубке насоса превышало упругость пара перекачиваемой жидкости, т.е. $P_1 > P_n$. Для этого следует учесть следующие рекомендации и более детально описать их в отчете:

- уменьшить гидравлические сопротивления во всасывающем трубопроводе;
- снизить, если это возможно, температуру перекачиваемой жидкости;
- уменьшить высоту всасывания и длину всасывающего трубопровода;
- снизить скорость потока жидкости во всасывающем трубопроводе;
- установить, если это возможно, насос с отрицательной высотой всасывания (с подпором), т.е. такой насос, который не всасывает, а получает жидкость под напором;
- применять устойчивые к кавитации материалы для изготовления деталей насоса.

Кавитационному разрушению наиболее подвержены чугун и углеродистая сталь. Более устойчивы в этом отношении бронза и нержавеющие стали. В целях повышения устойчивости деталей насосов применяют защитные покрытия. С этой целью на поверхности деталей наплавляют твердые сплавы, используют местную поверхностную закалку и другие способы защиты.

РАБОТА 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕЛА ШАРООБРАЗНОЙ ФОРМЫ ДВИЖЕНИЮ ПОТОКА ЖИДКОСТИ

Цель работы – Ознакомиться с установкой для определения коэффициента сопротивления тела движению потока жидкости, рассчитать по экспериментальным данным коэффициент сопротивления и сравнить найденное значение коэффициента с величиной, полученной из приведенного в работе графика.

Основные понятия. В гравитационных процессах обогащения и обезвоживания (отсадка, обогащение в тяжелых средах, сгущение продуктов обогащения в радиальных сгустителях) имеет место осаждение в жидкой среде массы минеральных зерен, отличающихся по размеру, форме, и плотности.

На твердое тело, движущееся в жидкости, действует сила сопротивления R , направленная со стороны жидкой фазы и противоположно движению.

$$R = CR\rho Sv^2/2,$$

где C_R – коэффициент сопротивления движению тела, зависящий от формы тела и числа Рейнольдса Re , которое в свою очередь является функцией вязкости и плотности жидкости, а также относительной скорости и размера тела;

ρ – плотность жидкости;

S – площадь проекции этого тела на плоскость, перпендикулярную вектору относительной скорости (площадь миделева сечения);

v – скорость относительного движения тела и жидкости.

При равномерном движении или при постоянной скорости свободного падения тела в покоящейся жидкости его вес уравновешивается архимедовой – подъемной силой и силой сопротивления R , результирующая которых равна нулю, т.е.:

$$W(\gamma_0 - \gamma) - \gamma C_R S v^2 / 2g = 0,$$

где W – объем тела, γ_0 и γ удельная масса соответственно тела и жидкости.

Скорость равномерного падения тела, которая в жидкости из-за большого сопротивления достигается очень быстро (за доли

секунды), называют в гидротехнике гидравлической крупностью, поскольку она зависит от формы и размеров частиц, а в гравитационных методах обогащения – конечной скоростью свободного падения.

Величину коэффициента сопротивления можно рассчитать по формуле:

$$C_{R.on.} = 2gW(\gamma_0 - \gamma) / Sv^2\gamma,$$

где W – где объем тела, γ_0 и γ удельная масса соответственно тела и жидкости.

Если частица, падающая в жидкости, имеет форму шара диаметром $d_{ш}$, для которого

$$S = \pi d^2 / 4uW = \pi d / 6,$$

то формула для определения коэффициента сопротивления примет вид

$$C_{R.on.} = 4dg(\gamma_0 - \gamma) / 3v^2\gamma$$

В основе опытного определения коэффициента сопротивления C_R для тел различной формы лежит принцип инверсии. Зависимость этого коэффициента для частиц шаровой формы, представленная на рис 8, получена при различных числах Рейнольдса.

Число Рейнольдса характеризует режим движения жидкости и определяется по формуле:

$$R_e = vd/\nu,$$

Где v – скорость движения жидкости в трубе;

d – диаметр шара;

ν – кинематический коэффициент вязкости.

Необходимое оборудование. Установка для определения коэффициента сопротивления тела движению жидкости (рис. 9) представляет собой вертикальную стеклянную трубку 5, в нижней части которой помещена решетка из стеклянных трубок 6, успокаивающая течение жидкости.

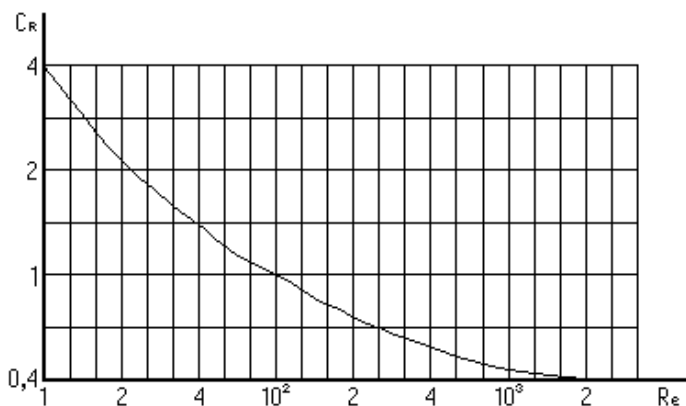


Рис. 8. Зависимость коэффициента сопротивления C_R от числа Рейнольдса Re

В трубку подается вода, расход которой регулируется вентилем 7, и опускается шарик 4. Верхняя часть трубы имеет расширение 3 со штуцером, к которому присоединен отводящий резиновый шланг 2. Через резиновый шланг 2 вода из стеклянной трубы направляется в раковину, а в момент замера – в мерный стакан 1.

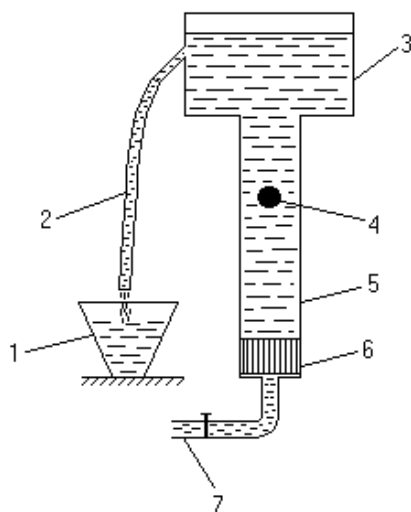


Рис. 9. Установка для определения коэффициента сопротивления тела движению жидкости

Порядок проведения работы

1. С помощью штангенциркуля измеряем диаметр шарика 4 и внутренний диаметр стеклянной трубы 5.
2. Взвешиваем шарик и сухой мерный стакан 1.
3. Медленно открываем вентиль 7 и подбираем такой расход воды, при котором шарик неподвижно зависнет приблизительно на середине высоты трубки. При таком расходе воды скорость осаждения шарика будет равна скорости восходящего потока жидкости.
4. Направляем резиновый шланг 2 в мерный стакан и секундомером засекаем время его наполнения.
5. Взвешиваем стакан с водой.
6. Замеряем температуру воды.
7. Повторяем опыт два раза и записываем в рабочую тетрадь экспериментальные данные.

Обработка опытных данных

1. Определяем объем воды в стакане при i -том замере:

$$W_i = m_i / \rho,$$

где m_i – масса воды в стакане, г.; ρ – плотность воды, г/см³, $\rho=1$.

2. Определяем расход воды при i -том замере.

$$Q_i = W_i / t_i,$$

где t_i – время наполнения мерного стакана при i -том замере, с.

2. Определяем средний расход воды:

$$Q_{cp.} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{3}.$$

3. Находим среднее значение скорости потока воды в трубе:

$$v = 4Q_{cp.} / \pi D^2,$$

где D – внутренний диаметр стеклянной трубы, см.

4. Определяем плотность шарика:

$$\rho_0 = 6m / \pi d^3,$$

где m – масса шарика, г; d – диаметр шарика, см.

5. Рассчитываем среднее значение опытного коэффициента сопротивления по формуле:

$$C_{R.on.} = 4d_{ш}g(\gamma_0 - \gamma) / 3v^2\gamma.$$

6. По измеренной температуре воды в мерном стакане определяем по таблице 4 ее кинематический коэффициент вязкости ν , см²/с:

Таблица 4

| | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| $\theta, ^\circ\text{C}$ | 0 | 5 | 10 | 12 | 15 | 20 | 30 | 40 |
| $\nu, \text{см}^2/\text{с}$ | 0,0178 | 0,0152 | 0,0131 | 0,0124 | 0,0114 | 0,0101 | 0,0084 | 0,006 |

Промежуточное значение кинематического коэффициента вязкости рассчитываем по формуле:

$$\nu = \nu_i + (\theta - \theta_i) [(\nu_{i+1} - \nu_i) / (\theta_{i+1} - \theta_i)],$$

где θ – измеренное значение температуры воды.

θ_i и θ_{i+1} – температуры, для которых θ является промежуточной и которым соответствуют значения кинематического коэффициента вязкости, взятые из таблицы 4.

8. Рассчитываем число Рейнольдса:

$$R_e = \nu d / \nu.$$

9. Найденное опытным путем значение коэффициента сопротивления $C_{R.on.}$ сравниваем с величиной, полученной из графика, представленного на рис.6.

10. Все опытные и расчетные величины заносим в таблицу 5.

Таблица 5

| № п.п. | $t, \text{с}$ | $W, \text{см}^3$ | $Q, \text{см}^3/\text{с}$ | $Q_{\text{ср}}, \text{см}^3/\text{с}$ | $\nu, \text{см}^2/\text{с}$ | $\theta, ^\circ\text{C}$ | $\nu, \text{см}^2/\text{с}$ | R_e | $C_{R, \text{оп}}$ | C_R по графику |
|--------|---------------|------------------|---------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------|--------------------|------------------|
| | | | | | | | | | | |

РАБОТА 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО МАТЕРИАЛА

Цель работы: опытным путем определить коэффициент фильтрации мелкозернистого материала с помощью прибора Дарси в условиях равномерного напорного движения при ламинарном режиме.

Основные понятия. Во многих областях техники, в том числе и обогащении полезных ископаемых, приходится иметь дело с движением жидкостей и газов через зернистый материал. Примером этому является процесс фильтрации. При этом жидкость или газ движутся внутри пор по мельчайшим каналам между частицами твердой фазы.

Движение жидкости, например, грунтовых вод, может быть установившемся и неустановившемся, равномерным и неравномерным, напорным и безнапорным, ламинарным и турбулентным. Основным закон ламинарной плавно изменяющейся фильтрации выражается следующим уравнением:

$$V = ki,$$

где V – скорость фильтрации, определяемая по фильтрационному расходу Q и площади поперечного сечения S испытуемого материала, через который фильтруется жидкость, т.е.

$$V = Q/S;$$

i – пьезометрический уклон, который при равномерном движении равен гидравлическому уклону, т.е. отношению потерь напора h на пути фильтрации к длине этого пути L :

$$i = h/L;$$

k – коэффициент фильтрации, определяемый опытным путем.

Из основного закона ламинарной фильтрации следует, что коэффициент фильтрации k представляет собой скорость фильтрации при гидравлическом уклоне i , равном единице. Коэффициент фильтрации характеризует водопроницаемость зернистого материала и зависит главным образом от крупности и формы зерен, наличия

глинистых частиц, а также от рода фильтрующейся жидкости и ее температуры. Следовательно, размерность коэффициента фильтрации такая же, как и размерность скорости (см/с, м/с), но абсолютная величина его очень мала. Так, например, для мелкозернистого песка $k=(1\div 6)\cdot 10^{-3}$ см/с.

Потеря напора на пути фильтрации может быть определена по уравнению Бернулли. При равномерном движении жидкости уравнение Бернулли для сечений I-I и II-II относительно плоскости сравнения 0-0 (см. рис. 8) можно записать в следующем виде:

$$Z_I + p_I/\rho g = Z_{II} + p_{II}/\rho g + h$$

Отсюда:

$$h_{mp} = (Z_I + p_I/\rho g) - (Z_{II} + p_{II}/\rho g)$$

или

$$h = H_I - H_{II},$$

где H_I и H_{II} – показания пьезометров, установленных в сечениях потока I-I и II-II (на рис. 1 – это пьезометры № 1 и 4), расстояние между которыми равно L , где:

$$L = L_1 + L_2 + L_3.$$

Необходимое оборудование

Опытная установка – прибор Дарси (рис. 10) представляет собой вертикальную металлическую колонку прямоугольного сечения с внутренними размерами 20 x 15 см (площадь сечения $S = 300$ см²), заполненную исследуемым мелкозернистым материалом (мелкозернистым песком) 1, который поддерживается металлической сеткой.

Вдоль металлической колонки по ее высоте в линию установлено четыре пьезометра, расстояния между которыми одинаковы и равны $L_1=L_2=L_3=8,2$ см. Чтобы исключить засорение пьезометров тонкозернистым песком, из них на входе снабжен металлической сеткой 3. Для сохранения постоянства напора в верхней части колонки устроен слив 4.

Вода поступает в верхнюю часть колонки из водопроводной сети по трубе 5. Профильтровавшись через тонкозернистый песок, заполняющий колонку, вода сливается по трубе 6, вмонтированной в нижнюю часть колонки. Сливная труба имеет регулировочный краник 7, предназначенный для регулирования фильтрационного расхода. Измерение фильтрационного расхода производится объемным способом с помощью мерного цилиндра или мензурки 8 и секундомера.

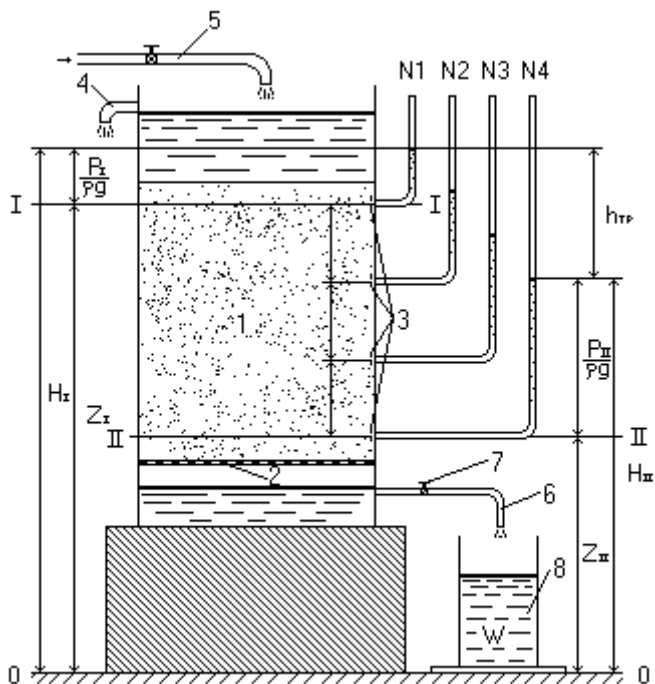


Рис.10. Прибор Дарси

Порядок проведения работы

1. Заполняем колонку 1 исследуем материалом – тонкозернистым песком 2 до отметки, превышающей на несколько сантиметров уровень установки первого пьезометра Z_I относительно плоскости сравнения $\theta-\theta$.

2. Наполняем из водопроводной сети колонку так, чтобы вода стала непрерывно вытекать из колонки по верхней сливной трубке 4.

3. Проверяем отсутствие воздуха во всех пьезометрах. Если при закрытом регулировочном кранике 7, установленном на нижней трубке 6, уровни жидкости во всех четырех пьезометрах окажутся одинаковы с уровнем воды в колонке, то воздух в них отсутствует и можно перейти к экспериментальной части работы.

4. Открываем регулировочный краник 7 на трубке 6 в нижней части колонки.

5. Выдерживаем время, пока не установится фильтрационный расход.

6. Когда установится равновесие и стабилизируется фильтрационный расход, отсекаем струю воды, вытекающую из трубки 6, и с помощью секундомера и мерного цилиндра или мензурки 8 определяем его значение Q , см³/с.

7. Снимаем показания всех четырех пьезометров.

8. Регулировочным краником 7 устанавливаем новый фильтрационный расход и все измерения повторяем несколько раз.

Обработка опытных данных

1. По измеренному фильтрационному расходу для каждого опыта подсчитываем скорость фильтрации по формуле:

$$V=Q/S,$$

где V —скорость фильтрации см/с; Q —фильтрационный расход см³/с; S —площадь испытуемого образца грунта (тонкозернистого песка), см² (площадь внутреннего сечения колонки $S=300$ см²).

2. По разности показаний крайних пьезометров № 1 и 4 определяем потери напора на участке фильтрационного потока длиной L , равной $L_1+L_2+L_3$.

$$h=H_I-H_{II}, \text{ см.}$$

3. Определяем пьезометрический уклон i по формуле:

$$i=h/L.$$

4. По скорости фильтрации и пьезометрическому уклону для каждого опыта подсчитываем значения коэффициента фильтрации:

$$k = V/i$$

5. Все данные измерений и вычислений сводим в таблицу 6.

6. По показаниям всех четырех пьезометров для каждого опыта строим на миллиметровой бумаге в удобном масштабе пьезометрические линии с разными условными обозначениями.

Таблица 6

| Величина | Единица измерения | Опыты | | |
|--|--------------------|-------|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Объем воды, профильтровавшейся через прибор, W | см ³ | | | |
| Время вытекания воды t | с | | | |
| Фильтрационный расход Q | см ³ /с | | | |
| Скорость фильтрации, V | см/с | | | |
| Показания пьезометров: | | | | |
| H_1 | см | | | |
| H_2 | см | | | |
| H_3 | см | | | |
| H_4 | см | | | |
| Потери напора между сечениями h | см | | | |
| Пьезометрический уклон i | | | | |
| Коэффициент фильтрации k | см/с | | | |

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Башлык С.М.* Лабораторный практикум по основам гидравлики и промышленным жидкостям / С.М. Башлык, Г.Т. Загибайло, О.Л. Зайонц М.: Недра, 1982, 42 с.

2. Гидравлика и гидравлический привод. Лабораторные работы / К.Г. Асатур, Б.С. Маховиков, К.А. Долгов, Э.А. Кудашев Л.: Ленингр. Горный ин-т, 1972, 58с.

3. Гидравлика и гидропривод / В.Г. Рейвер, В.С. Дулин, А.Г. Боруменский, А.Н. Заря М.: Недра, 1970, 234 с.

4. *Захваткин В.В.* Расчетно-графические задания и экспериментальные исследования по водовоздушному и хвостовому хозяйству обогатительных фабрик: Практикум Л.: Ленингр. Горный ин-т., 1990, 55 с.

5. *Захваткин В.В.* Водовоздушное и хвостовое хозяйство обогатительных фабрик: Методические указания к расчетно-графическим и лабораторным работам для студентов специальностей 130405 и 280202, 2009./ В.В. Захваткин, А.В. Аликин, В.Б. Кусков СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный университет (технический университет), 2009, 86 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Соотношения между наиболее распространёнными единицами физических величин, используемых в гидромеханике

С 1 сентября 2002 г. действует ГОСТ 8.417-2002 «Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин», предусматривающий полный переход на Международную систему единиц (СИ) во всех областях науки, техники и в учебном процессе.

Системой единиц физических величин называется совокупность единиц, относящихся к определенной системе величин и образованная в соответствии с принятыми принципами.

Под размерностью физической величины понимается выражение, отражающее связь величины с основными величинами системы, в котором коэффициент пропорциональности принят равным единице. Согласно СТ СЭВ 1052-78 «Единицы физических величин» размерности физических величин обозначаются заглавными буквами латинского алфавита прямым шрифтом.

Единица физической величины – это физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное единице.

Как и физические величины, единицы физических величин делятся на основные и производные.

Основной единицей называется единица основной физической величины, выбранная произвольно при построении системы единиц. Например, в Международной системе единиц (СИ) основными единицами являются метр, килограмма, секунда и т.д.

Производной единицей называется единица физической величины, образуемая по определяющему эту единицу уравнению из других единиц данной системы единиц. Например, в Международной системе единиц (СИ) производными единицами будут кубический метр (единица объема), квадратный метр (единица площади), метр в секунду (единица скорости) и др.

Наиболее распространенные в гидравлике единицы приведены в табл. П1. Физическая величина, в размерности которой хотя бы одна из основных величин возведена в степень не равную нулю, называется *размерной физической величиной*.

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Величина, в размерность которой основные величины входят в степени, равной нулю, – *безразмерной физической величиной*.

Таблица III

Некоторые основные и производные единицы физических величин в Международной системе (СИ), используемые в гидромеханике

| Наименование физической величины | Размерность | Наименование единицы физической величины | Обозначение |
|----------------------------------|-------------------------------|--|-------------------|
| Основные единицы | | | |
| Длина | L | метр | м |
| Масса | M | килограмм | кг |
| Время | T | секунда | с |
| Производные единицы | | | |
| Площадь | L^2 | квадратный метр | m^2 |
| Объём | L^3 | кубический метр | m^3 |
| Скорость | $L \cdot T^{-1}$ | метр в секунду | м/с |
| Ускорение | $L \cdot T^{-2}$ | метр на секунду в квадрате | m/c^2 |
| Плотность | $L^{-3} \cdot M$ | килограмм на кубический метр | кг/м ³ |
| Сила, в том числе сила тяжести | $L \cdot M \cdot T^{-2}$ | ньютон | Н |
| Давление | $L^{-1} \cdot M \cdot T^{-2}$ | паскаль | Па |
| Удельный вес | $L^{-2} \cdot M \cdot T^{-2}$ | ньютон на кубический метр | Н/м ³ |
| Энергия, работа | $L^2 \cdot M \cdot T^{-2}$ | джоуль | Дж |
| Мощность | $L^2 \cdot M \cdot T^{-3}$ | ватт | Вт |
| Объёмный расход | $L^3 \cdot T^{-1}$ | кубический метр в секунду | м ³ /с |
| Массовый расход | $M \cdot T^{-1}$ | килограмм в секунду | кг/с |
| Динамическая вязкость | $L^{-1} \cdot M \cdot T^{-1}$ | паскаль-секунда | Па·с |
| Кинематическая вязкость | $L^2 \cdot T^{-1}$ | квадратный метр на секунду | м ² /с |

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Кратные и дольные единицы образуются умножением основной единицы на множители, соответственно в названиях единиц добавляются приставки, при расчётах они обязательно должны быть заменены соответствующими множителями (табл. П2).

Таблица П2

Некоторые приставки и множители для образования десятичных кратных и дольных единиц

| Приставка | Множитель | Обозначение |
|-----------|-----------|-------------|
| Гига | 10^9 | Г |
| Мега | 10^6 | М |
| Кило | 10^3 | к |
| Санتي | 10^{-2} | с |
| Милли | 10^{-3} | м |
| Микро | 10^{-6} | мк |

На практике широко применяется внесистемная единица давления, называемая физической атмосферой (сокращенно 1 атм) или просто атмосферой. Она равна давлению, оказываемому столбом ртути высотой 760 мм или водным столбом высотой 10,332 м.

Так, например, давление на выходе из рабочего колеса центробежного насоса определяется по манометру, установленному на нагнетательном патрубке и градуированному в килограммах на квадратный сантиметр, или физических атмосферах. При расчете статического давления необходимо помнить, что

$$1 \text{ атм} = 760 \text{ мм. рт. ст.} = 10,332 \text{ м вод. ст.} = 1,0332 \text{ кгс/см}^2 = 101325 \text{ Па} \approx 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па} \approx 101,3 \text{ кПа};$$

$$1 \text{ мм. рт. ст.} = 13,6 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 10^3 = 133,3 \text{ Па}; \quad 1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2; \\ 1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м/с}^2$$

Кроме физической существует техническая атмосфера (сокращенно 1 ат):

$$1 \text{ ат} = 98066,5 \text{ Па} = 0,968 \text{ атм.}$$

Зачастую у студентов вызывает затруднение перевод мощности. Мощность в Международной системе единиц определяется в ваттах: $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$; $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м/с}^2$.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение..... | 3 |
| Работа 1. Определение динамической вязкости жидкости ротационным вискозиметром..... | 5 |
| Работа 2. Зависимость уровней жидкостей в сообщающихся сосудах от плотности этих жидкостей..... | 9 |
| Работа 3. Экспериментальная проверка закона архимеда..... | 13 |
| Работа 4. Исследование движения потока жидкости в рабочем колесе центробежного насоса. Кавитация..... | 18 |
| Работа 5. Определение коэффициента сопротивления тела шарообразной формы движению потока жидкости..... | 24 |
| Работа 6. Определение коэффициента фильтрации мелкозернистого материала..... | 29 |
| Библиографический список..... | 34 |
| Приложение..... | 35 |

ГИДРОМЕХАНИКА

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов специальности 21.05.04*

Сост.: *С.А. Корчевенков, В.В. Львов*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
обогащения полезных ископаемых

Ответственный за выпуск *С.А. Корчевенков*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 14.05.2019. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 2,2. Усл.кр.-отт. 2,2. Уч.-изд.л. 2,0. Тираж 60 экз. Заказ 434. С 166.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2