

ПРЕДИСЛОВИЕ

Роль лабораторного практикума в обучении

I. Очная форма обучения.

Аудиторные занятия студентов включают в себя следующие виды:

- лекции – ведущая форма обучения у студентов дневного отделения. На лекционных занятиях сообщаются новые знания, производится обучение методам, способам, методологии получения знаний;

- практические и семинарские занятия. Они предназначены для усвоения и закрепления знаний, выработки умений и навыков пользования теоретическими знаниями в проектно-расчетной и научно-исследовательской работе, а также в практической деятельности;

- лабораторные занятия.

Какова роль лабораторного практикума в вузе?

Лабораторный практикум позволяет:

1) проиллюстрировать теоретические положения изучаемой дисциплины, показать физическое явление;

2) оценить степень достоверности теоретической модели изучаемого физического явления;

3) приобрести навыки и умения экспериментального изучения объекта исследования при измерении его свойств и характеристик поведения; ознакомление с методами измерительной техники и в какой-то степени с современной измерительной техникой;

4) приобрести навыки проведения экспериментальных (измерительных) работ и оценок значений физических параметров изучаемого явления;

5) овладеть в какой-то мере компьютерной техникой и компьютерной технологией для решения различного вида задач практической деятельности: графических, расчетных, численного исследования, проектирования, делопроизводства и т. д.;

6) изучить конструкцию, схему изделия для определения степени соответствия и совершенства её выполняемой задаче (назначению изделия).

Рассмотрим по порядку.

Демонстрация опыта, иллюстрация физического явления часто весьма способствуют пониманию физического явления. Например, наша интуиция не подсказывает нам, что возможна интерференция света или что дозвуковой поток, совершая работу против сил трения, ускоряется. Утверждение о том, что два пучка света могут погасить друг друга и дать темноту, с трудом принимается на веру, и для многих необходима наглядная демонстрация этого явления. Но демонстрация не может заменить объяснения. Таким образом, задача практикума – иллюстрация теоретических положений – хотя и важная, но довольно ограниченная.

Вторая задача очень важна в становлении специалиста. На лекции преподаются теория. Мы выделяем в данном физическом явлении то, что считаем самым существенным. Затем, обобщая то, что выделили, строим теорию, из которой следуют те или иные выводы. Выводы же проверяем эксперименталь-

но. Но поскольку теория рассматривает только те реальности, которые считает самыми важными, то в лабораторной практике студент узнает, как трудно проверить теорию, измерить то, что нужно, а не что-то иное, учиться преодолевать такие трудности.

Третья задача лабораторного практикума сопряжена со второй и потому не менее важна. В любом курсе практических работ приходится сталкиваться как с простыми измерительными приборами (линейка, микрометр, осциллограф), так и в какой-то степени с современной измерительной техникой. Опыт работы с ними будет, несомненно, полезен. Но в жизненной практике обилие приборов, с которыми придется работать, может показаться невероятным. Ни один курс практических работ, по-видимому, не сможет научить студента пользоваться каждым из них. В ходе выполнения лабораторных работ перед студентом ставится задача приобрести опыт работы с приборами вообще.

Решение четвертой задачи особенно необходимо для становления инженера-исследователя. Экспериментальная практика предназначена для того, чтобы научить:

- а) планировать эксперимент так, чтобы точность измерений соответствовала поставленной цели;
- б) учитывать возможность систематических ошибок и принимать меры для их устранения;
- в) анализировать результаты эксперимента и делать правильные выводы;
- г) оценивать точность окончательного результата;
- д) вести запись измерений и расчетов аккуратно, ясно и кратко.

О необходимости лабораторного практикума в приобретении навыков и умений владения компьютером и компьютерными технологиями в различных областях научной, инженерной и деловой деятельности нет смысла и говорить. Сегодня владение столь мощным инструментом познания и деятельности является необходимым элементом образования.

Шестая задача, решаемая на лабораторном практикуме, необходима для становления инженера-проектировщика, инженера-технолога. Изучение конструкции (схемы) изделия позволяет студенту получить реальное представление об изделии, теория и описание которого были проведены на лекционных и практических занятиях. На занятиях по изучению натуральных изделий студент приобретает опыт воплощения теоретических знаний на практике.

Рассмотрение ролевой функции лабораторного практикума в образовании инженера дает возможность утверждать: лабораторный практикум является неотъемлемой составляющей полноценного образования.

II. Особенности лабораторного практикума в вечерней и заочной формах обучения.

В очной форме получения образования доминирует лекция, т. е. преобладает обучающая роль преподавателя. В учебных планах видно, что лекционные занятия занимают большую часть времени обучения, даже в дисциплинах конструкторского характера.

При вечерней форме обучения доля аудиторных занятий уменьшается более чем в 1,5 раза. Большая доля теоретического обучения по изучаемому предмету перекладывается на самостоятельную работу студента. Возрастает роль лабораторного практикума, на котором студент имеет большее время контакта с преподавателем.

При заочной форме получения образования обучающая роль преподавателя сведена к жесткому минимуму, и этот минимум времени взаимодействия преподавателя и студента должен быть рационально использован для получения качественного образования.

Очевидно, что в большинстве случаев вечерней и заочной формам получения образования готовятся инженеры-производственники, т. е. люди, готовящие себя к практической деятельности технолога, испытателя, руководителя коллектива разного масштаба, и в меньшей степени по этим формам обучения готовятся инженеры-проектировщики. Поэтому для вечерней и заочной форм обучения образовательная роль лабораторного практикума в получении качественного образования возрастает. На лабораторных занятиях вечерники и заочники должны не только выполнить ролевые задачи практикума, но и восполнить недостаток (по сравнению с очной формой обучения) обучающего воздействия преподавателя. Другими словами, поскольку доля аудиторного обучения у студентов вечерней и заочной форм обучения мала, то лабораторные занятия должны взять на себя часть функций лекционных (практических) занятий – обучение методам, методологии получения знаний, приемам самообучения (самостоятельной работы).

Малое время взаимодействия преподавателя и студента при заочной форме обучения обуславливает (ставит условием) преемственность лабораторных занятий. Заочник в один-два дня должен проработать семестровый цикл лабораторных работ по дисциплине. Если принцип преемственности правильно реализован (каждая последующая работа базируется на материале предыдущих), то последняя лабораторная работа должна выполняться студентом самостоятельно, без методических руководств и помощи преподавателя. Защита студентом такой работы может служить мерой аттестации знаний по дисциплине. Реализация принципа преемственности формирует у студента представление о целостности изучаемой дисциплины, навыки самообучения, умение находить общее во всех видах решаемых при обучении задач.

Сложившийся при заочной форме получения образования естественным путем модульный подход прохождения лабораторного практикума эффективен тем, что студент на протяжении всего практикума пользуется теоретическим материалом, изученным самостоятельно, тем самым закрепляя его, осознавая и приобретая умения и навыки применения знаний. Вероятно, перед лабораторным практикумом необходимо так называемое установочное занятие. На этом занятии преподаватель, ведущий практикум, должен кратко обобщить теоретический материал дисциплины в той мере, которая необходима для выполнения практикума.

ВЫВОДЫ

1. Лабораторный практикум – неотъемлемая часть качественного образования.
2. При обучении по вечерней и заочной формам лабораторный практикум играет доминирующую роль в получении качественного образования.

ЧАСТЬ 1. ГИДРАВЛИКА

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Изучая природу (реальный материальный мир) или, как сейчас принято говорить, окружающую среду, человек использует множество понятий и терминов. По существу, любое понятие – это мысленная конструкция, созданная человеком в уме из восприятий и ощущений реального мира для его описания.

Для описания явлений материального мира человек часто использует идеализацию явления, т. е. его модель. Модель существует только в нашем представлении и выражается в виде законов, принципов, методов, правил и т. п. Слово «идеальный» здесь используется не в смысле желаемого или ближе соответствующего действительности, а в смысле общепонятного и доступного человеческому восприятию мысленного образа. Примерами такой идеализации являются, в частности, модель идеального газа (жидкости), модель абсолютно упругого столкновения частиц и т. п.

Реальный мир в так называемом нематериальном отношении обычно представляется сверхъестественным и по неписаному правилу физиков считается бесполезным его обсуждение, поскольку отсутствует возможность и для вычисления, и для измерения. Другими словами, то, что нельзя измерить или выразить числом, физиками не обсуждается.

Установлено, что каждый материальный объект имеет пять обобщенных мер:

- **массу** (от лат. глыба, кусок) – как количественную меру содержания вещества в рассматриваемом объекте;

- **пространство** – как количественную меру взаимного положения объектов;

- **время** – как количественную меру длительности (периодичности или цикличности движения);

- **количество движения** – как векторную форму количественной меры движения;

- **энергию** – как скалярную форму количественной меры движения.

Распределение энергии, вещества, пространства и времени внутри любой материальной системы (объекта) по всем известным ее частям можно представить в самых различных отношениях и уровнях.

В обобщенных понятиях выделяют следующие характерные уровни:

- низший уровень рассмотрения поведения больших (макроскопических) частей системы, включая саму систему как целое;

- уровень рассмотрения поведения отдельных групп и подгрупп элементарных частиц;

- уровень рассмотрения поведения выделенных элементарных частиц;

- уровень рассмотрения поведения известных субатомных частиц.

Существуют две идеализированные модели представления материального объекта: **корпускулярная** и **континуальная**.

Корпускулярная¹ модель, иногда называемая молекулярной, дискретной или квантовой. В рамках дискретной модели считается, что энергия и масса в объеме (пространстве) системы распределены прерывно, т. е. разделены относительно большими промежутками. Причем в общем случае это распределение не обязательно равномерное.

Взаимодействие между этими атомно-молекулярными структурами (частями системы) легче представляется в виде столкновения (ударов) твердых тел (шаров). Выделяют два идеализированных случая столкновения: абсолютно упругий и абсолютно неупругий удары.

Континуальная² модель, иногда называемая непрерывной, сплошной или волновой. В моделях сплошной среды считается, что энергия и масса распределены в пространстве системы непрерывно (в общем случае не обязательно равномерно), за исключением поверхностей разрыва, представляющих собой, например, границы раздела фаз, скачки уплотнения или ударные волны. Континуальная модель удобна для использования математического аппарата теории непрерывных функций (дифференциального и интегрального исчисления).

Процессы или явления, происходящие в гидравлических системах и устройствах, рассматриваются на макроскопическом уровне, используя классические представления энергии, массы, пространства и времени и континуальную модель представления реальных объектов.

Континуальная модель в гидравлике получила название **гипотезы сплошности (непрерывности)** жидкости. Согласно этой гипотезе, жидкость заполняет пространство сплошь, без каких бы то ни было пустот. Межмолекулярные расстояния и взаимодействия не рассматриваются.

Экспериментальные исследования в гидравлике имеют большое значение. Они позволяют устранить те погрешности и неточности, которые неизбежно возникают при использовании модельных представлений о реальных процессах (явлениях).

1.1. Гидравлика

Гидравлика (от *греч.* вода и трубка) представляет собой прикладную гидромеханику или техническую гидромеханику, в которой используются теоретические зависимости для решения практических задач во многих областях народного хозяйства. Главные области применения гидравлики – гидротехника, мелиорация и водное хозяйство, гидроэнергетика, водоснабжение и канализация, водный транспорт, машиностроение, двигателестроение; теплогазоснабжение и вентиляция, авиация и т. д.

¹ **Корпускула** (от *лат.* corpusculum – частица) – частица в классической физике. Чаще употребляется прилагательное от корпускулы – корпускулярный, т. е. обладающий свойствами частицы.

² **Континуум** (от *лат.* continuus – непрерывное, сплошное) – непрерывность, неразрывность процессов, явлений; в физике – сплошная материальная среда, свойства которой изменяются в пространстве непрерывно.

Модели жидкости

В гидравлике приняты следующие модели жидкости:

- **идеальная жидкость** – обладает абсолютной подвижностью, т. е. лишена вязкости. Используется для упрощения решения некоторых задач. Полученные результаты после проведения экспериментов корректируют, вводя поправочные коэффициенты;

- **несжимаемая жидкость** – ее плотность не зависит от давления, а определяется только температурой.

Жидкая частица представляет собой пренебрежимо малый объем, в котором находится достаточно много молекул жидкости. Например, в объеме кубика воды со сторонами размером 0,001 см будет находиться $3,3 \cdot 10^{13}$ молекул. Частица жидкости полагается достаточно малой по сравнению с размерами области, занятой движущейся жидкостью. При движении жидкая частица может деформироваться, но масса ее остается неизменной.

Виды движения жидкости

Гидравлика изучает движение капельных жидкостей, т. е. таких жидкостей, которые в малых количествах под действием поверхностного натяжения принимают сферическую форму, а в больших – образуют свободную поверхность раздела с газом.

Гидравлика рассматривает следующие основные виды движения жидкости: **установившееся** и **неустановившееся**.

При **установившемся** движении скорости всех частиц жидкости, протекающих через данную точку пространства, неизменны во времени как по величине, так и по направлению.

При **неустановившемся** движении скорости частиц жидкости и ее параметры (давление, температура и т. д.) изменяются и в пространстве, и во времени.

Установившееся движение разделяют на **равномерное** и **неравномерное**.

При **равномерном** движении все характеристики жидкости вдоль потока постоянны и скорости в сходственных точках любых поперечных сечений постоянны.

При **неравномерном** движении все элементы потока – площади поперечных сечений, глубины, диаметры (в трубах) и т. п. – изменяются по длине потока. Основные уравнения и зависимости гидравлики относятся к установившемуся движению жидкости, в котором живое сечение вдоль потока изменяется плавно и общее направление движения близко к прямолинейному. Такой вид установившегося движения называют плавно изменяющимся. Выполнение условий плавной изменяемости необходимо лишь для выбранных расчетных сечений, тогда как между ними они могут нарушаться.

Режимы течения жидкости

Различают два основных режима (характера) течения жидкости: ламинарный и турбулентный.

Ламинарный (от лат. *lamina* – лист, пластина, полоска) режим течения жидкости – это такой режим течения, при котором жидкие частицы движутся по параллельным траекториям, не смешиваясь. Плавно обтекают встречающие-

ся на их пути препятствия. Смежные слои как бы скользят относительно друг друга, за что его иногда называют **слоистым** течением.

Турбулентный (от лат. turbulentus – бурный, беспорядочный) режим течения жидкости – это такой режим, при котором жидкие частицы совершают беспорядочные перемещения по случайным траекториям в продольном и поперечном направлениях. Сопровождается хаотическими поперечными и продольными пульсациями давления, скорости, температуры, плотности и другими с переменной амплитудой и частотами, интенсивным перемешиванием.

Общие условия, при которых возможны ламинарный, турбулентный режимы течения жидкости и переход от одного режима к другому, характеризуются числом (критерием) Рейнольдса, которое является мерой отношения кинетической энергии рассматриваемого элемента жидкости к работе сил вязкого трения. Для круглой трубы число Рейнольдса определяется:

$$\text{Re} = \frac{u \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{u \cdot d}{\nu}, \quad (1)$$

где d – диаметр трубы;

ρ – плотность жидкости;

μ – коэффициент динамической вязкости;

ν – коэффициент кинематической вязкости.

Значения ρ и μ или ν определяются по справочным данным в зависимости от температуры и давления жидкости.

Величина d может быть заменена любым линейным параметром, связанным с условиями течения или обтекания, например, диаметр падающего в жидкость шара, длина обтекаемой жидкостью пластины, если рассматривается не трубное течение.

При расчетах гидравлических систем с каналами некруглого поперечного сечения и каналов, поперечное сечение которых не целиком заполнено жидкостью, вместо диаметра трубы d применяют так называемый **гидравлический диаметр** d_r , учитывающий форму поперечного сечения канала и полноту заполнения этого канала жидкостью.

Определяется d_r как отношение учетверенной площади S живого сечения потока к смоченному периметру Π – периметру живого сечения, на котором жидкость соприкасается со стенками.

$$d_r = \frac{4S}{\Pi}. \quad (2)$$

Живое сечение потока – это площадь поперечного сечения канала, занятая жидкостью.

Для круглой трубы, полностью заполненной жидкостью, гидравлический диаметр равен $d_r = d$; для полностью заполненной жидкостью трубы прямоугольного сечения гидравлический диаметр вычисляется по формуле

$$d_r = \frac{2ab}{a+b},$$

где a и b – стороны сечения;

$$d_r = \frac{4ac}{(a+2c)} - \text{для трубы прямоугольного сечения, заполненной жидко-}$$

стью на высоту c ;

$d_r = 2\delta$ – для полностью заполненного кольцевого канала, где δ – ширина кольца.

Режим течения жидкости определяют путем сравнения числа (критерия) Рейнольдса потока Re с его **критическим значением** $Re_{кр}$, при котором происходит изменение режима течения. При значениях $Re \leq Re_{кр}$ режим (характер) течения ламинарный. При значениях $Re > Re_{кр}$ режим течения турбулентный.

На значения критического числа Рейнольдса $Re_{кр}$ большое влияние оказывают различные возмущения, возникающие в потоке, в частности условия входа в канал, наличие пульсаций давления и расхода, вибрации стенок канала и т. п. Поэтому существует диапазон «критических» значений числа Рейнольдса, при которых происходит переход от одного режима к другому (переходная область). Для практических расчетов обычно принимают значения $Re_{кр}$, равные:

2300 – для труб круглого сечения;

1250 – для узких (капиллярных) концентрических щелей;

800...900 – для открытых русел.

Основные уравнения установившегося движения жидкости

Все уравнения и зависимости записываются для контрольного объема, представляющего собой неподвижный в пространстве объем, через который протекает жидкость. Когда канал имеет твердые стенки, направляющие движение жидкости, в качестве контрольного объема выступает выбранный участок канала, ограниченный входным и выходным сечением.

Первым основным уравнением, выражающим в математической форме закон сохранения массы, является **уравнение расхода**, которое для установившегося течения имеет формулировку: «Масса жидкости, протекающая в единицу времени через любое поперечное сечение выделенного участка, постоянна».

В связи с принятой в гидравлике континуальной моделью (гипотеза сплошности) представления жидкости, уравнение расхода в гидравлике получило название **уравнения неразрывности** (сплошности).

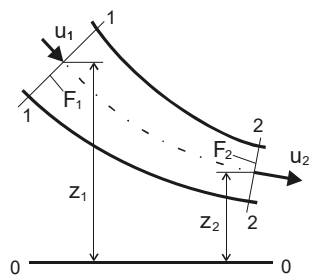


Рис. В.1

Для участка системы, ограниченного сечениями 1–1 и 2–2 (рис. В.1), уравнение расхода записывается в виде:

$$\rho_1 u_1 S_1 = \rho_2 u_2 S_2 \quad (3)$$

или

$$G = \rho u S = \text{const}, \quad (4)$$

где G – **массовый** расход жидкости, кг/с;

ρ – плотность жидкости, представляющая массу жидкости, приходящуюся на единицу объема, кг/м³;

S – площадь поперечного сечения канала (пло-

щадь живого сечения), м²;

u – средняя скорость жидкости в сечении, м/с.

Понятие средней скорости (среднерасходной) используется для удобства расчетов и предполагает, что скорости всех частиц жидкости в сечении одинаковы во всех его точках. В действительности реальная жидкость обладает вязкостью и свойством адгезии (прилипания к омываемой поверхности). В результате различные слои жидкости движутся с различными скоростями, а скорость жидкости на стенке неподвижного канала равна нулю. Поэтому объемный расход через любое живое сечение канала должен вычисляться интегралом по площади живого сечения

$$Q = \int_F u dS,$$

а средняя (среднерасходная) скорость по теореме о среднем – как

$$u_{\text{ср}} = \frac{Q}{S} = \frac{1}{S} \int_S u dS.$$

На практике при расчете гидравлических систем, как правило, оперируют среднерасходной скоростью и индекс «ср» обычно опускают.

Из уравнений (3) и (4) следует, что какая масса жидкости втекает в единицу времени в канал, такая же и протекает в единицу времени через любое другое поперечное сечение канала с непроницаемыми стенками, т. е. вдоль канала выполняется условие постоянства расхода.

У несжимаемой жидкости плотность постоянна в любой точке потока, поэтому для нее уравнение расхода (неразрывности) имеет вид:

$$u_1 S_1 = u_2 S_2 \quad (5)$$

или

$$Q = u S = \text{const.} \quad (6)$$

Произведение $Q = u \cdot S$ представляет собой объем жидкости, протекающей через поперечное сечение канала в единицу времени, и называется **объемным** расходом. Единица измерения объемного расхода – $\text{м}^3/\text{с}$.

Из условия постоянства расхода вдоль канала (5) следует, что в канале переменного сечения средние скорости потока обратно пропорциональны площадям живых сечений:

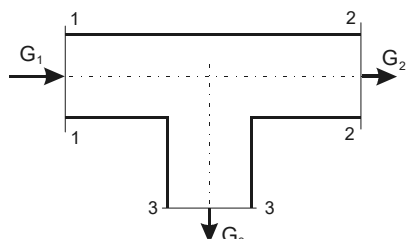


Рис. В.2

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{S_2}{S_1}. \quad (7)$$

Для разветвленного участка (рис. В.2) уравнение расхода имеет вид:

$$G_1 = G_2 + G_3 \quad (8)$$

или

$$Q_1 = Q_2 + Q_3. \quad (9)$$

Вторым основным уравнением гидравлики является **уравнение Бернулли**, представляющее собой математическую запись закона сохранения и превращения энергии в этом потоке.

Это уравнение, записанное для **единицы веса** жидкости, для участка потока между сечениями **1** и **2** (рис. В.1) имеет вид

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{u_2^2}{2g} + \Delta h_r. \quad (10)$$

Такая форма записи уравнения Бернулли имеет особенно простое геометрическое толкование каждого члена уравнения, имеющего размерность длины, а именно:

z – **геометрический напор**³, это энергия положения единицы веса жидкости; положение центра рассматриваемого сечения над некоторой горизонтальной плоскостью, называемой плоскостью сравнения (нивелирной плоскостью), произвольно выбираемой по условию задачи (плоскость 0–0 на рис. В.1), м;

$\frac{p}{\rho g}$ – **пьезометрический напор**, это удельная энергия давления единицы веса жидкости; представляет собой высоту, на которую поднимется столб жидкости, преодолевая силу тяжести, под действием статического давления p , м;

g – ускорение силы тяжести;

$\alpha \frac{u^2}{2g}$ – **скоростной напор** – удельная кинетическая энергия единицы веса жидкости – это высота, с которой должна упасть частица жидкости, до этого находящаяся в покое, чтобы при свободном падении под действием силы тяжести достичь в конце падения скорости u , м;

α – коэффициент кинетической энергии потока (коэффициент Кориолиса), учитывающий неравномерность распределения кинетической энергии в сечении, вызванную вязкостью жидкости. Для ламинарного течения $\alpha = 2$, для турбулентного – $\alpha \approx 1$;

ρ – плотность жидкости;

Δh_r – потери напора единицы веса жидкости на участке 1–2.

Сумма $z + \frac{p}{\rho g} + \alpha \frac{u^2}{2g} = H$ составляет полный напор, полный запас энергии единицы веса жидкости в рассматриваемом сечении. Тогда Δh_r – это потери полного напора из-за вязкости жидкости между сечениями **1** и **2**, т. е.

$$\Delta h_r = H_1 - H_2.$$

Используя определение полного напора, уравнение Бернулли можно записать как

$$H_1 = H_2 + \Delta h_r.$$

Это означает, что из-за вязкости полный напор вдоль потока **уменьшается всегда**.

Для **единицы объема** жидкости уравнения Бернулли имеет вид

$$\rho g z_1 + p_1 + \alpha_1 \frac{\rho u_1^2}{2} = \rho g z_2 + p_2 + \alpha_2 \frac{\rho u_2^2}{2} + \Delta p_r. \quad (11)$$

³ **Напор** (в гидравлике) – линейная величина, равная максимальной высоте, на которую может подняться жидкость над плоскостью отсчета (плоскостью сравнения).

В этом уравнении каждый член представляет собой энергию, приходящуюся на единицу объема жидкости:

$\rho g z$ – удельная потенциальная энергия положения единицы объема жидкости (весовое давление), Па;

p – удельная потенциальная энергия давления единицы объема жидкости (статическое давление), Па;

$\alpha \frac{\rho u^2}{2}$ – удельная кинетическая энергия единицы объема жидкости (скоростное, динамическое давление), Па;

Сумма

$$\rho g z + p + \alpha \frac{\rho u^2}{2} = p^*$$

называется полным давлением единицы объема жидкости в рассматриваемом сечении, а величина

$$\Delta p_r = p_1^* - p_2^*$$

определяет потери полного давления между сечениями **1** и **2**.

Если представить уравнение Бернулли (11) в виде

$$\rho g(z_1 - z_2) + (p_1 - p_2) = \frac{\rho}{2}(\alpha_2 u_2^2 - \alpha_1 u_1^2) + \Delta p_r,$$

то оно получает следующее физическое толкование: «Работа внешних сил, приложенных к жидкости в выделенном участке – работа сил тяжести $\rho g(z_1 - z_2)$, работа сил давления $(p_1 - p_2)$, – затрачивается на изменение кинетической энергии $\left(\alpha_2 \frac{\rho u_2^2}{2} - \alpha_1 \frac{\rho u_1^2}{2}\right)$ и на работу сил вязкости (трения) Δp_r на этом участке».

Разность полных давлений или полных напоров называют потерями энергии потока жидкости из-за того, что работа вязких сил превращается в тепло, которое не может перейти в другие виды энергии и безвозвратно (необратимо) выносится жидкостью из расчетного участка.

1.2. Гидравлические системы⁴

В любой отрасли промышленности, на транспорте, в энергетике используются гидравлические системы или сети самой различной сложности. Это нефтепроводы, газопроводы, водопроводы, паропроводы, воздухопроводы вентиляционных установок, газоходы металлургических, химических и других производств. А также топливо- и маслопроводы самолетов, ракет, автомобилей, морских и речных судов, теплообменники, воздухо- и газоочистные аппараты и т.д. Все эти гидравлические системы представляют собой набор гидравлических элементов, соединенных в определенном порядке, обусловленном назначением и пространственным расположением системы. Эти системы,

⁴ **Система** (от *греч.* systema – целое, составленное из частей, соединение) в технике – совокупность взаимосвязанных технических объектов (приборов, устройств, машин, процессов), объединенных единой целью и общим алгоритмом функционирования.

как правило, содержат то или иное количество различных устройств (элементов системы).

Гидравлическими элементами системы являются трубопроводы постоянного и переменного поперечного сечения, устройства управления потоком жидкости (краны, клапаны), устройства очистки жидкости (фильтры, отстойники), устройства изменения направления и разделения потока (колена, отводы, тройники, коллекторы), устройства кондиционирования жидкости (теплообменники, термостаты), устройства изменения скорости потока (сужения, расширения), устройства дозирования и организации истечения жидкости (форсунки, жиклеры), расходомеры различных типов.

Гидравлические системы бывают разомкнутыми или замкнутыми (циркуляционными) с насосной (принудительной) подачей жидкости или самотечной.

Любая реальная жидкость (сжимаемая и несжимаемая), перемещающаяся в этих системах, обладает запасом механической энергии, полученной от источника расхода – компрессора, вентилятора, насоса и т. п. Часть этой энергии при движении жидкости в системе безвозвратно теряется, т. е. уменьшается полное давление (напор) жидкости при прохождении через элементы гидравлической системы.

При течении реальной (вязкой) жидкости действуют силы трения между слоями жидкости, движущимися с разными скоростями, и на омываемых жидкостью поверхностях тел и каналов. Эти силы являются диссипативными, их действие приводит к необратимому превращению части механической энергии в тепло. Считается, что это тепло остается в жидкости, так что полный запас энергии в жидкости сохраняется, но уменьшается механическая составляющая полной энергии.

Гидравлическим сопротивлением или гидравлическими потерями принято называть величину, равную потере полного давления (напора) на выделенном участке системы или для всей гидравлической системы в целом.

Потери полного давления (напора) в гидравлической системе для удобства расчетов условно разделяют на путевые потери давления (напора) (Δp_n), или потери на трение, и местные потери давления (напора) (Δp_m).

Путевые потери. Потерю энергии на работу трения при течении в трубопроводах постоянного сечения принято называть путевыми потерями полного давления (напора).

Потери полного давления (напора) по длине трубопровода с прямой осью вычисляются по формуле Дарси – Вейсбаха:

$$\begin{aligned}\Delta p_n &= \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho u^2}{2}, \\ \Delta h_n &= \lambda \frac{l}{d} \frac{u^2}{2g},\end{aligned}\tag{12}$$

где l – длина трубопровода;

d – диаметр трубопровода;

λ – коэффициент путевых потерь, в общем случае зависящий от геометрии трубопровода (l, d), скорости и свойств жидкости, а также от шероховатости омываемой поверхности.

Опытным путем установлено, что коэффициент путевых потерь λ зависит от двух безразмерных параметров: числа Рейнольдса (Re) и относительной шероховатости стенок каналов (Δ/d).

Для количественной оценки шероховатости введено понятие о средней высоте выступов (бугорков) шероховатости. Эту высоту, выраженную в единицах длины, называют абсолютной шероховатостью и обозначают буквой Δ (встречаются и другие обозначения – Δ_0, k). Установлено, что при одной и той же величине абсолютной шероховатости влияние ее на величину гидравлического сопротивления различно в зависимости от диаметра канала. Поэтому был введен параметр относительной шероховатости, определяемый как отношение абсолютной шероховатости к диаметру канала (трубы) – Δ/d .

При ламинарном режиме течения в трубах ($Re < 2300$) коэффициент путевых потерь λ не зависит от шероховатости стенок канала, а только от числа Рейнольдса. Объясняют это тем, что при движении жидкости вдоль трубы прилегающие к стенкам слои потока затормаживаются силами вязкостного трения и у стенок образуется пристенный пограничный слой (вязкий подслой). Толщина его составляет величину порядка сотых и тысячных долей диаметра трубопровода. Если толщина пограничного слоя δ больше выступов шероховатости Δ ($\delta > \Delta$, рис. В.3а), то они целиком покрываются этим слоем и поток плавно обтекает неровности без образования и отрыва вихрей. Каналы (трубы), в которых коэффициент путевых потерь λ не зависит от шероховатости стенок, а зависит только от числа Рейнольдса, называют *гидравлически гладкими*.

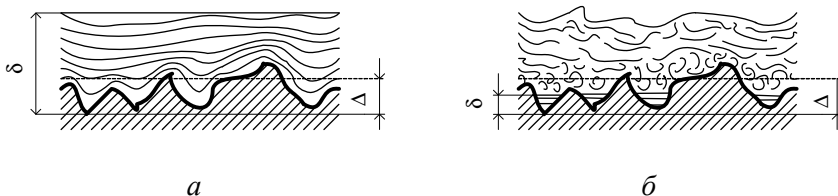


Рис. В.3. Обтекание бугорков шероховатости при различных режимах течения:
 $a - \delta > \Delta$; $b - \delta < \Delta$.

Для этого режима течения коэффициент путевых потерь λ можно определить по формуле Гагена – Пуазейля:

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (13)$$

При числах Рейнольдса ($Re \approx 2300 \dots 4000$) течение относится к переходной (критической) области между ламинарным и турбулентным режимами, перемежающийся режим течения. Значения коэффициента потерь определяются только по справочным данным.

При турбулентном течении в области чисел Рейнольдса $4000 \dots 10^5$ коэффициент путевых потерь λ также не зависит от шероховатости стенок канала, а только от числа Рейнольдса. Такой режим течения иногда называют режимом

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru