

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Невинномысский технологический институт (филиал) СКФУ

Машины и аппараты для гидродинамических процессов
Методические указания для практических занятий

Ставрополь 2023

ПРЕДИСЛОВИЕ

Методические указания составлены на современном научном уровне в соответствии с утвержденной программой по дисциплине по дисциплине «Машины и аппараты для гидродинамических процессов» для студентов направления 15.03.02 – Технологические машины и оборудование.

Методические указания составлены

При подготовке издания учтены основные изменения в методах мониторинга и тенденции его развития. Последовательность разделов соответствует логической структуре курса. Предлагаемые методические указания включают материал, который используется при подготовке и проведении практических занятий.

1. Методические рекомендации

Дисциплина предполагает следующие формы работы со студентами: лекционные и практические занятия (решение заданий для СРС, обсуждение вопросов на семинарах, проведение дискуссии, подготовку и обсуждение докладов).

Освоение каждого раздела дисциплины предполагает определенную степень самостоятельности: выполнение заданий, обсуждение презентационных лекционных материалов, доклады студентов.

Итоговая оценка по дисциплине выставляется по совокупности набранных студентом баллов. При этом учитывается активность студентов на занятиях, выполнение практических работ, активная самостоятельная работа с литературными источниками, творческий подход к заданиям (в соответствии с технологической картой дисциплины).

1.1. Методические рекомендации по организации работы студентов во время проведения лекционных занятий

Приступая к изучению дисциплины, студенту необходимо внимательно ознакомиться с тематическим планом занятий, списком рекомендованной литературы. Следует уяснить последовательность выполнения индивидуальных учебных заданий. Самостоятельная работа студента предполагает работу с научной и учебной литературой. Уровень и глубина усвоения дисциплины зависят от активной и систематической работы на лекциях и изучения рекомендованной литературы.

При изучении дисциплины студенты выполняют следующие задания:

- изучают рекомендованную литературу;
- выполняют задания, предусмотренные для самостоятельной работы.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на практическое занятие и указания на самостоятельную работу.

1.2 Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям

Приступая к изучению дисциплины, студенту следует уяснить последовательность выполнения индивидуальных учебных заданий. Самостоятельная работа студента предполагает работу с научной и учебной литературой.

Практические занятия завершают изучение наиболее важных тем учебной дисциплины. Они служат для закрепления изученного материала, развития умений и навыков подготовки докладов, сообщений, приобретения опыта устных публичных выступлений, ведения дискуссии, аргументации и защиты выдвигаемых положений, а также для контроля

преподавателем степени подготовленности студентов по изучаемой дисциплине.

Практическое занятие предполагает свободный обмен мнениями по избранной тематике. Он начинается со вступительного слова преподавателя, формулирующего цель занятия и характеризующего его основную проблематику. Затем, как правило, заслушиваются сообщения студентов. Обсуждение сообщения совмещается с рассмотрением намеченных вопросов. Сообщения, предполагающие анализ публикаций по отдельным вопросам практического занятия, заслушиваются обычно в середине занятия. Поощряется выдвижение и обсуждение альтернативных мнений. В заключительном слове преподаватель подводит итоги обсуждения и объявляет оценки выступавшим студентам. В целях контроля подготовленности студентов и привития им навыков краткого письменного изложения своих мыслей преподаватель в ходе практического занятия может осуществлять текущий контроль знаний в виде тестовых заданий.

При подготовке к практическому занятию студенты имеют возможность воспользоваться консультациями преподавателя. Кроме указанных тем студенты вправе, по согласованию с преподавателем, избирать и другие интересующие их темы.

Алгоритм подготовки к выступлению на семинаре:

1 этап – определение темы выступления 2

этап – определение цели выступления

3 этап – подробное раскрытие информации

4 этап – формулирование основных тезисов и выводов.

1.3 Методические рекомендации по подготовке к сдаче зачету

Основным источником подготовки к зачету является рекомендуемая литература и конспекты лекций. Следует точно запоминать термины и категории, поскольку в их определениях содержатся признаки, позволяющие уяснить их сущность и отличить эти понятия от других.

Зачет проводится в устной форме, студенту предлагается два вопроса. Содержание вопросов выбирается из списка и охватывает пройденный материал. По окончании ответа преподаватель, принимающий зачет, может задать студенту дополнительные и уточняющие вопросы.

При подготовке к ответу на зачете студенту рекомендуется составить план ответа на каждый вопрос. Положительным также будет стремление студента изложить различные точки зрения на рассматриваемую проблему, выразить свое отношение к ней.

II. Планы практических занятий

Практическое занятие 1

Тема «Рабочие жидкости гидроприводов»

Жидкость гидросистем летательных аппаратов должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Хорошие смазывающие свойства по отношению к применяемым материалам трущихся (скользящих) пар.

2. Минимальная зависимость вязкости от температуры в требуемом диапазоне температур. Важной характеристикой жидкости является также температура ее застывания, которая несмотря на условный характер определяет потерю текучести, а следовательно, и возможность транспортировки и слива жидкости в холодное время

года. За температуру застывания жидкости обычно принимают температуру, при которой расход жидкости через стеклянную трубку с внутренним диаметром 5 мм составляет менее $1 \text{ см}^3/\text{мин}$ при перепаде давления $0,070 \text{ кг/см}^2$.

3. Малая упругость насыщенных паров и высокая температура кипения. Техническими требованиями на высокотемпературные жидкости для гидросистем сверхзвуковых самолетов предусматривается начало кипения жидкости не ниже 200°C , температура вспышки — не ниже 180°C и температура самовоспламенения — не менее 300°C .

В состав жидкости не должны входить легкоиспаряющиеся компоненты, потеря которых может привести при продолжительной эксплуатации к повышению вязкости (к загустеванию) жидкости, что способствует возникновению кавитации в насосе.

4. Нейтральность к применяемым материалам и малое абсорбирование воздуха, а также легкость его отделения.

Особую важность имеет требование, чтобы рабочая (жидкая) среда отрицательно не влияла на материал уплотнительных устройств. Допускается, чтобы твердость испытуемого резинового образца после воздействия масла не изменялась больше чем на $\pm 4\text{—}5$ единиц по Шору. В равной мере разница между начальным и конечным объемами образца, выражаемая в процентах к первоначальному объему, не должна превышать в конце испытания $\pm 3\%$.

5. Высокая устойчивость к механической и химической деструкции и к окислению в условиях применяемых температур, а также длительный срок службы. Понижение температуры не должно вызывать расслаивания жидкости и выделения из нее составных компонентов в виде осадков или кристаллов.

6. Высокий объемный модуль упругости, а также высокие коэффициенты теплопроводности и удельной теплоемкости и малый коэффициент теплового расширения.

Кроме того, жидкость не должна быть токсичной и должна обладать высокими теплоизолирующими и диэлектрическими свойствами.

Для многих случаев применения жидкости важной характеристикой является также ее огнестойкость, т. е. способность не воспламеняться под воздействием тепла. С этой точки зрения жидкости характеризуются показателями по температурам вспышки и самовоспламенения, причем под температурой вспышки понимается минимальная температура, при которой жидкость загорается от поднесенного к ее поверхности внешнего пламени, а под температурой самовоспламенения — температура, при которой при соответствующей обогащенности смеси паров жидкости и воздуха в закрытой емкости может произойти воспламенение смеси без внешнего пламени. В частности, высокие требования по температуре самовоспламенения предъявляются к жидкостям, применяющимся в гидросистемах авиадвигателей, температуры в которых достигают $530\text{—}540^\circ \text{C}$. Поэтому применение минеральных масел при высоких температурах ограничивается способностью их к самовоспламенению (пожарной опасностью). В частности, для масляной смеси АМГ-10 температура самовоспламенения не превышает $92\text{—}105^\circ \text{C}$.

Следует отметить, что пожароопасность прямо не связана с температурами вспышки и самовоспламенения жидкости, или, иначе говоря, температуры вспышки и самовоспламенения не изменяются взаимосвязанно. Некоторые жидкости, имеющие

более низкую температуру вспышки, обладают более высокой температурой самовоспламенения; например, керосин имеет температуру самовоспламенения более высокую, чем смазочные масла.

Для уменьшения пожарной опасности при применении минеральных жидкостей необходимо исключить возможность попадания их в случае неисправности или разрушения трубопроводной магистрали системы на разогретые части авиадвигателя и на электрические провода.

Кроме того, все линии гидросистемы в огнеопасных зонах должны быть защищены специальными устройствами, замыкающими (блокирующими) трубопровод в случае разрушения, либо трубопроводы рекомендуется устанавливать в обход опасных в пожарном отношении зон. Учитывая опасность, могущую возникнуть при разрушении трубопроводов при высоких температурах жидкости, кабины экипажа, пассажиров и грузовые отсеки должны быть максимально разгружены от гидроагрегатов и трубопроводов путем применения гидроагрегатов с дистанционным управлением.

Требованиям пожарной безопасности наиболее полно удовлетворяют синтетические жидкости, которые можно назвать пожаростойким, так как они способны не гореть при возможных для конкретных условий высоких температурах и не распространять огня.

Применяемые жидкости

Для самолетных гидросистем, работающих в диапазоне температур $\pm 60^\circ \text{C}$, вязкость жидкости должна находиться в пределах 8—1500 *сст*. Для систем же, предназначенных для работы в условиях более высоких температур, вязкость жидкости должна составлять $\sim 3,5$ *сст* при температуре 210°C и 2500 *сст* при -50°C (вязкость воды при 20°C равна 1 *сст*).

Температура застывания масла должна быть не менее чем на $10\text{—}17^\circ \text{C}$ ниже наименьшей температуры окружающей среды, в условиях которой будет эксплуатироваться гидросистема.

В авиационных гидросистемах распространены масляная смесь АМГ-10 (ГОСТ 6794—53) и масло МВП (ГОСТ 1805—51). Смесь АМГ-10 получается путем выделения узкой керосиновой фракции с началом кипения не ниже 200°C . Эта фракция подвергается кислотной и земельной очистке и затем загущается виниполом ВБ-2 до требуемой вязкости и подкрашивается жировым красителем в красный цвет. Жидкость АМГ-10 пригодна для применения в открытых гидравлических системах в диапазоне температур от -60 до $+150^\circ \text{C}$ и в закрытых системах (или системах, заполненных азотом) от -60 до $+175^\circ \text{C}$. При более высоких температурах жидкость АМГ-10 вступает в реакцию с кислородом воздуха и разлагается с выделением смолистых осадков, нарушающих функционирование гидросистемы.

Авиационные масла АМГ-10 и МВП могут работать без замены в течение двух и более лет.

В некоторых случаях при низких температурах применяют также спирто-глицериновую смесь, состоящую по объему из 70% химически чистого глицерина, 20% этилового спирта и 10% кипяченой воды, однако эта смесь обладает плохими смазочными и защитными (против коррозии) свойствами.

Высокотемпературные жидкости

В связи с расширением температурного диапазона, в котором работают гидросистемы летательных аппаратов, а также с повышением рабочих давлений минеральные масла и их смеси зачастую не удовлетворяют новым требованиям. Опыт показывает, что эти жидкости пригодны для работы в условиях температур не выше 150°C даже при ограничении срока службы. Однако и при этой температуре резко увеличивается интенсивность их окисления, ввиду чего практическим пределом для них является температура 120°C . Эту температуру можно повысить до $180\text{—}200^{\circ}\text{C}$, применив в гидросистемах инертные газы.

По сведениям, приводимым в иностранной технической печати, некоторыми фирмами разработаны минеральные масла, пригодные для работы (при отсутствии контакта их с воздухом) в диапазоне температур от -49°C (-56°F) до $+316^{\circ}\text{C}$ ($+600^{\circ}\text{F}$).

Высокие температуры приводят к образованию в жидкости кислоты, повышающей коррозию соприкасающегося с ней металла, способствуют полимеризации жидкости и образованию в ней смол, ускоряют испаряемость легких фракций жидкости. Кроме того, повышение температуры сопровождается повышением давления насыщенных паров жидкости, что способствует возникновению кавитации. Масла, изготовленные на нефтяной основе, при высокотемпературных условиях (выше 150°C) становятся взрыво- и пожароопасными.

На некоторых летательных аппаратах зачастую затруднена или невозможна смена рабочей жидкости, поэтому для них большое значение приобретает ухудшение с течением времени характеристик рабочих жидкостей, обусловленное их старением и разложением, а также укрупнением твердых частиц, загрязняющих жидкость. Одной из причин укрупнения загрязняющих частиц, является слипание (коагуляция) некоторых компонентов рабочей жидкости при длительном ее хранении. Этот процесс ускоряется, если жидкость подвергается вибрациям.

В связи с этими недостатками в условиях высоких температур (150°C и выше) следует применять вместо минеральных синтетические жидкости. Практика показывает, что из существующих синтетических жидкостей наилучшей является полисилоксановая, которая имеет высокие температурно-вязкостные характеристики, низкую упругость насыщенных паров, высокие механическую прочность и устойчивость против окисления. Кроме того, эта жидкость является огнестойкой. Полисилоксановые жидкости отличаются стабильностью вязкостных характеристик по времени работы. Испытания показали, что вязкость такой жидкости после 500 час работы при дросселировании давления до 150 кг/см^2 и при температуре 60°C уменьшилась всего на 2%, тогда как вязкость масляной гидросмеси при работе в этих же условиях понизилась на 50%.

Особенности применения полисилоксановых жидкостей

Полисилоксановые жидкости растворяют все существующие пластификаторы синтетических каучуков. Поэтому уплотнительные кольца, изготовленные из этих каучуков, становятся хрупкими и растрескиваются, в результате чего гидроагрегаты неизбежно теряют герметичность. Большое влияние на этот процесс оказывает температура, повышение которой с 60 до 90°C может ускорить потерю эластичности каучука в десятки раз.

Синтетические жидкости, и, в частности, силиконовые их марки, обладают более высокой, чем минеральные жидкости, способностью растворять воздух и газы. По зарубежным данным, распространенная в США силиконовая жидкость «Силкодэйн Н» при комнатной температуре растворяет при повышении давления на одну атмосферу до 22% воздуха от ее объема.

Следует указать, что синтетические жидкости, и, в частности, жидкости на кремнийорганической основе, склонны, как и все жидкости с низкими поверхностными силами натяжения, к пенообразованию, образуя к тому же, как правило, очень стойкую пену. Поэтому при применении этих жидкостей необходимо полностью устранять контакт ее с воздухом и газом и в особенности при повышенных давлениях.

При применении в гидросистемах разнородных жидкостей необходимо устранять возможность смешивания и контакта синтетических жидкостей с другими по физической основе жидкостями, так как при этом могут образовываться студенистые и порошкообразные осадки.

Полисилоксановые жидкости обладают вследствие недостаточной прочности сцепления с твердыми поверхностями также плохими смазывающими свойствами, поэтому многие материалы, из которых изготавливаются в настоящее время скользящие пары гидроагрегатов, практически не пригодны для работы с этими жидкостями. В частности, плохо работают сталь по стали и сталь по чугуна.

Полисилоксановые жидкости обладают также высокой текучестью, усложняющей герметизацию гидроагрегатов. В частности, при использовании этих жидкостей практически невозможно герметизировать без специального мягкого (эластичного) уплотнения стык двух металлических поверхностей.

Жидкие металлы

Ввиду того, что температуры, при которых приходится работать гидросистемам гиперзвуковых летательных аппаратов, непрерывно повышаются (в иностранной печати встречаются высказывания, что к 1980 г. они достигнут значения 800° С) считается перспективным применение в качестве рабочих жидкостей жидких металлов, в частности, щелочных металлов. Эти жидкости отличаются высоким модулем объемной упругости, большой теплопроводностью, высокой радиационной и термической стойкостью.

Таковыми металлическими жидкостями являются, например, американский эвтектический сплав, состоящий из 77% натрия и 23% калия и представляющий собой серебристый металл, похожий по внешнему виду на ртуть. Точка плавления сплава около —12°С, точка кипения (при атмосферном давлении) ~850°С. Легирование сплава цезием позволяет понизить его точку плавления. Плотность сплава сравнима с плотностью распространенных жидкостей и составляет 0,875 г/см³ при температурах 20°С, 0,7 г/см³ — при температуре 750°С. Модуль объемной упругости 52500 кГ/см² при температуре 38°С и 15750 кГ/см² при температуре 540°С.

Вязкость сплава приведена ниже:

Температура в °С	0	200	450	750
Вязкость в <i>сст</i>	1,0	0,4	0,25	0,2

Сплав обладает плохими смазывающими свойствами и подобно прочим щелочным металлам активно реагирует с кислородом и водяными парами. Физико-химические свойства сплава сохраняются при длительной эксплуатации в условиях температур 800°C.

Основными американскими конструкционными материалами для изготовления гидроагрегатов для работы с этим сплавом являются различные карбиды и титановые сплавы, а также покрытия этими материалами. Хорошо зарекомендовали себя сплавы на серебряной основе, которыми, в частности, покрываются (наплавляются) рабочие кромки клапанов.

Физические свойства жидкостей

Наиболее важными физическими свойствами жидкостей являются плотность, сжимаемость и вязкость, а для жидкостей, применяемых в гидроприводах, еще и смазывающая способность, физическая, механическая и химическая стабильность.

Плотностью жидкости ρ называют массу m , содержащуюся в единице объема V ,
 $\rho = m/V$,

где m — масса, кг; V — объем, м³.

Плотность воды $\rho = 1000$ кг/м³, минеральных масел $\rho = 830 \div 970$ кг/ м³ (для практических расчетов можно принять $\rho = 900$ кг/м³), керосина $\rho = 740$ кг/м³, воздуха при давлении 1,013 МПа (760 мм рт. ст.) и температуре 0 °С $\rho = 1,29$ кг/м³. Плотность жидкости при изменении давления и температуры изменяется незначительно.

Удельным весом γ жидкости называют вес G , содержащийся в единице объема V ; согласно закону Ньютона $G = mg$, где g — ускорение свободного падения тела, м/с².

Удельным объемом жидкости (газа) называют объем занимаемый единицей массы жидкости (м³/кг)

$$V = V/m = 1/\rho.$$

Сжимаемостью жидкостей и газов называют свойство жидкости изменять свой объем при изменении давления. Сжимаемость жидкостей характеризуется коэффициентом изотермического объемного сжатия

$$\beta = \Delta V / (V_0 \cdot \Delta p),$$

где V_0 — начальный объем, м³; ΔV — изменение объема, м³; Δp — изменение давления. Па.

Величину, обратную коэффициенту изотермического объемного сжатия, называют **модулем упругости жидкости E** . Для воды $E = 2,3 \cdot 10^9$ Па; для минеральных масел $E = (1,37 \div 1,92) \cdot 10^9$ Па. Сжимаемость капельных жидкостей учитывают только при высоких давлениях.

Силы поверхностного натяжения действуют на поверхность жидкостей. В трубках малого диаметра дополнительное давление, обусловленное поверхностным натяжением, вызывает явление подъема (или опускания) жидкости относительно нормального уровня, называемого капиллярностью. С явлением капиллярности приходится сталкиваться при использовании стеклянных трубок в приборах для измерения давления, а также в некоторых случаях истечения жидкости.

Вязкостью называют свойство жидкости оказывать сопротивление относительному движению (сдвигу) частиц жидкости. Внутреннее трение жидкостей и газов характеризуется коэффициентами кинематической ν или динамической μ вязкости, которые связаны следующим соотношением ($\text{м}^2/\text{с}$):

$$\nu = \mu/\rho.$$

Динамическая вязкость измеряется в паскаль-секундах ($\text{Па}\cdot\text{с}$). Кинематическая вязкость измеряется в стоксах (ст) ($1\text{ст} = 1\text{ м}^2/\text{с}$); $1\text{ м}^2/\text{с} = 1\cdot 10^6\text{ сст}$ (сантистокс).

Вязкость капельных жидкостей зависит от температуры. С увеличением температуры вязкость уменьшается. Вязкость газов, наоборот, с увеличением температуры возрастает. Такие явления объясняются тем, что в жидкостях молекулы расположены гораздо ближе друг к другу, чем в газах, и вязкость вызывается силами молекулярного сцепления. Эти силы с ростом температуры уменьшаются, поэтому вязкость падает. В газах же вязкость возрастает с ростом температуры, так как интенсивность беспорядочного движения молекул увеличивается с повышением температуры. С увеличением давления вязкость капельных жидкостей возрастает, но при давлениях меньше 10 МПа изменением вязкости обычно пренебрегают.

В практике вязкость капельных жидкостей определяют прибором вискозиметром.

К жидкостям, применяемым в гидроприводах, предъявляют дополнительно следующие требования: они должны иметь высокий индекс вязкости, хорошую смазывающую способность, а также физическую, механическую и химическую стабильность при хранении и эксплуатации.

Индекс вязкости характеризует степень постоянства вязкости жидкости при изменении температуры, чем выше индекс вязкости жидкости, тем более пологой является кривая вязкости. Наилучшей жидкостью является такая, у которой вязкость стабильна в интервалах рабочих температур.

Физической стабильностью жидкости называется способность жидкости длительно сохранять свои первоначальные физические свойства (вязкость, плотность, смазывательную способность) при работе на высоких давлениях и дросселировании с большим перепадом давления.

Механической стабильностью называется способность жидкости работать при значительной вибрации без расслоения на компоненты.

Химической стабильностью называется устойчивость жидкости к окислению кислородом воздуха. При окислении, особенно при высоких температурах, из жидкости выпадает осадок в виде смолы и коксоподобных веществ, которые, попадая в зазоры гидроаппаратов, парализуют их работу.

Кавитация жидкости

Это явление заключается в образовании в жидкости местных областей, в которых происходит выделение (вскипание) парогазовых пузырьков — каверн с последующим их разрушением (в результате конденсации паров и смыкания пузырьков), сопровождающимся высокочастотными гидравлическими микроударами и высокими забросами давления.

Кавитация может возникнуть в трубопроводах, в насосах, а также во всех устройствах, где поток жидкости подвергается поворотам, сужениям с последующим расширением (в кранах, клапанах, вентилях, диафрагмах) и прочими деформациями.

Кавитация нарушает нормальный режим работы гидросистемы, а в отдельных случаях оказывает разрушающее действие на ее агрегаты.

Особенно отрицательное действие оказывает кавитация на насосы, в которых она возникает тогда, когда жидкость при ходе всасывания отрывается по тем или иным причинам от поверхности рабочего элемента насоса (поршня, лопасти, зубьев или прочих вытеснителей). Возможность такого отрыва зависит от величины давления жидкости на входе в насос и ее вязкости, а также от числа оборотов насоса и конструктивных его особенностей. В частности, такое явление наступит, если давление на входе во всасывающую камеру насоса окажется недостаточным для того, чтобы обеспечить неразрывность потока жидкости в процессе изменения скорости ее движения, задаваемой изменением скорости движения (ускорением) всасывающего элемента насоса. Предельно допустимым числом оборотов насоса является такое число, при котором абсолютное давление жидкости на входе в насос будет способно преодолеть без разрыва потока сумму потерь в нем. В случае шестеренного и лопастного насосов к рассмотренным внутренним потерям на всасывании насоса добавляются потери, обусловленные центробежной силой.

С появлением кавитации производительность насоса понижается, возникает характерный шум, происходит эмульсирование жидкости а также наблюдаются резкие частотные колебания давления в нагнетательной линии и ударные нагрузки на детали насоса, которые могут вызвать выход насоса из строя.

В зонах кавитации происходит разрушение (эрозия) деталей гидроагрегата с образованием на их поверхностях характерных повреждений (в виде раковин).

О природе явления кавитации и о механизме разрушительного действия ее на гидравлические агрегаты и их элементы существует несколько гипотез, наиболее распространенная из которых сводится к следующему. При понижении давления в какой-либо точке потока жидкости до величины ниже давления насыщенных ее паров при данной температуре жидкость вскипает (происходит ее разрыв), выделившиеся же пузырьки пара увлекаются потоком и переносятся в область более высокого давления, в которой паровые пузырьки конденсируются (смыкаются). Так как процесс конденсации парового пузырька (каверны) происходит мгновенно, частицы жидкости, заполняющие его полость, перемещаются к его центру с большой скоростью. Теоретические расчеты показывают, что скорости встречи стенок смыкающегося пузырька (каверны) могут достигать сотен *м/сек*. В результате кинетическая энергия соударяющихся частиц жидкости вызывает в момент завершения конденсации (в момент смыкания пузырьков) местные гидравлические удары, сопровождающиеся резкими забросами давления и температуры в центрах конденсации. Теоретические подсчеты показывают, что местный заброс давления при скоротечном (за время — 0,001 *сек*) разрушении (смыкании) кавитационного пузырька может достигать 2000—3000 *кГ/см²*.

Если конденсация паровых пузырьков будет происходить у стенки, канала, то она будет подвергаться непрерывным гидравлическим ударам с высокой повторяемостью со стороны частиц жидкости. В результате при длительной кавитации под действием указанных гидравлических ударов и одновременном воздействии высокой температуры, развивающейся в центрах конденсации в результате этих ударов, на

этой поверхности стенки за непродолжительное время образуются микроскопические углубления (эрозия).

Способы борьбы с кавитацией

Основным способом борьбы с кавитацией является максимальное снижение в зонах возможной кавитации разрежения, которое может быть достигнуто за счет повышения окружающего давления. В частности, одним из способов является повышение уровня давления в гидросистеме и в особенности в ее ненапорных магистралях за счет постановки на выходе подпорных клапанов.

Основным в борьбе с кавитацией применительно к насосам является создание на всасывании (на входе в насос) такого давления, которое было бы способно преодолеть без разрыва потока жидкости как гидравлические потери во всасывающей линии, так и инерцию массы столба жидкости.

Для уменьшения потерь давления во всасывающем трубопроводе насос необходимо устанавливать как можно ближе к резервуару и по возможности ниже уровня жидкости в нем, а также уменьшать количество местных гидравлических сопротивлений на пути течения жидкости от резервуара к насосу.

Часто насосы погружают в масло, благодаря чему устраняется возможность подсоса воздуха через неплотности в соединениях его деталей. Однако при этом усложняется наблюдение за насосом и затрудняется его демонтаж. Очевидно, что обеспечить указанное выше условие бескавитационной работы не всегда представляется возможным и в особенности при высотных полетах самолета, при которых давление в баке без искусственных средств повышения его может значительно понизиться.

Для обеспечения бескавитационных условий работы насосов применяют различные конструктивные усовершенствования. В частности, для повышения давления на всасывании применяют дополнительные насосы подкачки или наддув воздухом (газом) баков с рабочей жидкостью. Кроме того, для этой цели можно использовать кинетическую энергию потока сливной магистрали гидросистемы с помощью различных сопел и эжекторов.

Тема 2. Гидростатика и гидродинамика.

Гидростатическое давление. Силы, действующие на частицы жидкости, подразделяются на поверхностные и массовые. Массовые силы пропорциональны массе жидкости. Это силы тяжести и силы инерции, которые они сообщают единице массы.

Сила F , действующая на единицу площади S по нормали к поверхности, ограничивающей бесконечно малый объем внутри покоящейся жидкости, называется *гидростатическим давлением* p

$$p = F/S$$

Основное уравнение гидростатики. Гидростатическое давление (Па) в любой точке жидкости складывается из давления на ее свободную поверхность и давления столба жидкости, высота которого равна расстоянию от этой точки до свободной поверхности,

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h,$$

где p_0 — давление на свободную поверхность жидкости, Па; ρ — плотность жидкости, кг/м³; g — ускорение свободного падения, м/с²; h — высота столба жидкости над данной точкой, м.

Из этого уравнения следует, что внешнее давление p_0 на свободную поверхность жидкости передается в любую точку жидкости равномерно (закон Паскаля).

Гидростатическое давление называется полным или абсолютным $p_{абс}$, а величина ρgh , входящая в уравнение гидростатики избыточной $p_{изб}$. Избыточное давление измеряется манометрами или пьезометрическими трубками, Если давление на поверхность жидкости равно атмосферному, а ρgh показывает превышение давления над атмосферным, которое называют избыточным, или манометрическим ($p_{ман}$), то

$$p_{абс} = p_0 + p_{ман}$$

Когда давление меньше атмосферного, измерительный прибор показывает разрежение (вакуум) $p_{вак}$:

$$p_{абс} = p_0 - p_{вак}$$

Единицей измерения избыточного (манометрического) давления и вакуума служит паскаль (Па), равный $\approx 0,00001$ атмосферного давления.

Давление на плоскую стенку. При расчетах на прочность различных гидромеханических устройств возникает необходимость определения давления жидкости на стенку и дно этих устройств.

Гидростатическое давление жидкости на дно сосуда измеряется высотой столба жидкости:

$$p_{изб} = \rho gh$$

Полная сила (Н), действующая на плоскую стенку, равна произведению гидростатического давления в центре тяжести стенки на смоченную площадь

$$F = (p_0 + \rho \cdot g \cdot h_{цм}) \cdot S,$$

в открытом сосуде при $p_0 = 0$ полная сила давления (Н) (рис. 3.1, а, б)

$$F = \rho \cdot g \cdot h_{цм} \cdot S.$$

где $h_{цм}$ — глубина погружения центра тяжести площади, м; S — смоченная площадь стенки, м².

Точка приложения силы F называется **центром давления**. Центр давления обычно лежит ниже центра тяжести стенки. Для прямоугольной стенки, например, центр тяжести находится на расстоянии половины высоты от основания, а центр давления — на расстоянии одной трети высоты.

Рис. 3.1. Схема давления жидкости на стенку

Давление на криволинейную стенку. Частным случаем криволинейной стенки являются стенки цилиндрических резервуаров, котлов, труб и т. д. (рис. 3.1, в).

Полная сила давления (Н), действующая на цилиндрическую поверхность

где F_x — горизонтальная составляющая, равная силе давления жидкости на вертикальную проекцию цилиндрической поверхности

$$F_x = \rho \cdot g \cdot h_{цм} \cdot S_{верт}$$

F_y — вертикальная составляющая силы давления, равная силе тяжести в объеме тела давления V .

$$F_y = \rho \cdot g \cdot V.$$

Объемом тела давления V называется объем жидкости, ограниченный сверху свободной поверхностью жидкости, снизу — рассматриваемой криволинейной поверхностью, а с боков — вертикальной поверхностью, проведенной через периметр, ограничивающий стенку. Направление полной силы давления F определяется углом, образуемым вектором F с горизонтальной плоскостью

$$\operatorname{tg} \beta = F_y / F_x.$$

Для цилиндрического резервуара с вертикальной осью вертикальная составляющая F_y равна нулю, поэтому полная сила (Н) давления на боковую поверхность равна F_x :

Закон Архимеда. На любое тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная силе тяжести жидкости, вытесненной этим телом,

$$F = \rho \cdot g \cdot V,$$

где F — выталкивающая (архимедова) сила, Н; V — объем погруженной части тела, м³; ρ — плотность, кг/м³; g — местное ускорение свободного падения, м/с².

Произведение $\rho \cdot V$ называют водоизмещением. В зависимости от соотношения между силой тяжести тела и силой тяжести вытесненной им жидкости возможны три состояния тела.

1. Сила тяжести тела больше силы тяжести вытесненной жидкости:

$$G > \rho \cdot g \cdot V.$$

Такое тело будет тонуть.

2. Сила тяжести тела равна силе тяжести вытесненной жидкости:

$$G = \rho \cdot g \cdot V.$$

В этом случае тело будет плавать.

3. Сила тяжести тела меньше силы тяжести вытесненной жидкости:

$$G < \rho \cdot g \cdot V.$$

При таком соотношении тело будет всплывать.

Давление жидкости на стенки труб и резервуаров. Определим силу давления F жидкости на стенку трубы круглого сечения (рис. 3.1, з) длиной l с внутренним диаметром d .

Стенки трубы подвергаются давлению жидкости или газа, находящегося в ней. Сила сопротивления стенок трубы должна уравновешивать силы, вызываемые давлением жидкости на стенки.

Пренебрегая массой жидкости в трубе, составим уравнение равновесия:

$$\rho \cdot l \cdot d = F_x = F_y = F,$$

где F — искомая сила давления жидкости на стенку трубы, Па; ld — площадь сечения трубы, м².

Под действием силы F_x , труба может разорваться по двум сечениям разрыва, как показано на рисунке, причем на каждое сечение приходится сила $F_x / 2$,

$$F_x = 2 \cdot \delta \cdot l \cdot \sigma.$$

Тогда ; ,

где δ — толщина стенки, м.

Из курса сопротивления материалов известно, что для обеспечения прочности фактическое напряжение σ в материале не должно превышать допускаемого $[\sigma]$, т.

е. $\sigma \leq [\sigma]$. Тогда

откуда

где $[\sigma]$ — допускаемое напряжение материала стенок на разрыв, Па.

Гидростатические машины

Гидравлический пресс. Согласно закону Паскаля внешнее давление p_0 , приложенное к свободной поверхности жидкости в замкнутом сосуде, передается в любую точку жидкости без изменения. Передача силы давления возможна вверх, вниз, вокруг узлов, а также на большие дистанции, а также возможно управление направлением силы давления и движения.

На этом законе основано действие гидравлического пресса, также гидроприводов любых машин и станков. Принцип действия гидравлического пресса используют также в гидравлических домкратах, которые служат для подъема грузов.

Гидравлический пресс (рис. 3.2) состоит из рычага 1, большого цилиндра 3, в котором движется поршень диаметром D и малого цилиндра 2, в котором движется поршень диаметром d . Малый цилиндр 2 соединен с насосом, с помощью которого в большой цилиндр 3 накачивается рабочая жидкость, обычно масло. Поршень малого цилиндра 2 приводится в движение с помощью рычага второго рода с плечами a и b . Если приложить к концу рычага силу F , то на малый поршень d и значит, на жидкость под ним будет действовать некоторая сила F_1 . Величина этой силы по закону рычага второго рода равна

$$F_1 = F \cdot (b/a),$$

а давление p , созданное в жидкости, от малого поршня

$$p = 2 \cdot F_1 / \pi \cdot d^2,$$

$\pi \cdot d^2$ — сечение малого поршня S_1 .

Это давление через насос и соединительный трубопровод по закону Паскаля передается, как внешнее, на большой поршень, причем сила F_2 действующая на большой поршень,

$$F_2 = F \cdot (b/a) \cdot (D/d)^2.$$

Фактическая сила, сжимающая груз, вследствие трения в системе будет несколько меньшей. Это учитывается введением в формулу КПД пресса

$$F_2 = \eta \cdot F \cdot (b/a) \cdot (D/d)^2,$$

где η — коэффициент полезного действия, равный $0,8 \div 0,85$.

Рис. 3.2. Гидравлический пресс

Гидравлические аккумуляторы в гидросхемах предназначены для аккумулирования энергии рабочей жидкости, находящейся под давлением. Применение гидравлических аккумуляторов необходимо:

1) когда в системе гидропривода в течение коротких периодов времени необходим большой расход жидкости, превышающей подачу насоса;

2) при неработающем насосе, когда накопленная потенциальная энергия аккумулятора используется для обеспечения кратковременной работы силового органа, например, в устройствах управления или для создания определенной силы для зажима заготовки и т. п.

Применение гидравлических аккумуляторов в системе гидропривода при периодическом неравномерном расходе жидкости позволяет уменьшить расчетную мощность насоса и повысить КПД привода в целом. Мощность, развиваемая гидродвигателями (например, гидроцилиндрами), часто превышает при применении аккумулятора установленную мощность насоса в 15—20 раз. Существуют гидроаккумуляторы: грузовые с упругим корпусом, пневмогидроаккумуляторы без разделителя, с разделителем, мембранный пневмогидроаккумулятор, баллонный пневмогидроаккумулятор.

Гидродинамика

Установившееся движение — это такое движение жидкости, при котором скорость потока и гидродинамическое давление в любой точке не изменяются во времени. Примером установившегося движения может быть течение жидкости из отверстия резервуара при постоянном напоре.

Неустановившимся движением называют движение жидкости, при котором скорость движения и давление в данной точке изменяются во времени. Примером неустановившегося движения является течение жидкости из отверстия резервуара при переменном напоре.

При решении практических задач предполагают, что поток движущейся жидкости состоит из отдельных элементарных струек, не меняющих своей формы. Кривая, касательная к векторам скорости движения частиц жидкости, называется *линией тока*. Если в движущейся жидкости выделить бесконечно малый замкнутый контур и через все его точки провести линии тока, соответствующие данному моменту времени, получится как бы трубчатая непроницаемая поверхность, называемая *трубкой тока*. Масса жидкости, движущейся внутри трубки тока, образует элементарную струйку. Скорости и площади поперечных сечений струек в различных живых сечениях могут меняться, однако произведение скорости отдельных частиц струйки v на площади их поперечного сечения F остается постоянным. Совокупность элементарных струек, представляющая собой непрерывную массу частиц, движущихся по какому-либо направлению, образует поток жидкости. Поток может быть ограничен твердыми стенками.

Живым сечением потока S называют поперечное сечение потока, перпендикулярное к направлению движения и ограниченное его внешним контуром.

Потоком (расходом) Q называют объем жидкости, проходящей в единицу времени через живое сечение потока. Объемный поток измеряют в м³/с, м³/ч, л/с. Иногда пользуются понятием массового потока G (кг/с):

$$G = \gamma \cdot Q,$$

где γ — удельный вес жидкости, кг/м³.

Смоченным периметром Π называют длину контура живого сечения, на которой жидкость соприкасается с твердыми стенками.

Гидравлическим радиусом R называют отношение площади S живого сечения потока к смоченному периметру Π (м): $R=S/\Pi$

Средней скоростью потока v (м/с) называют частное от деления потока Q на площадь его живого сечения S :

$$v=Q/S$$

Так как жидкость несжимаема, а стенки русла жесткие и поток неразрывен, то поток ее Q , равный произведению скорости движения на площадь живого сечения, — величина постоянная:

$$Q = v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2 = v \cdot S = \text{const};$$

$$v_1 / v_2 = S_2 / S_1, \text{ — уравнение неразрывности потока.}$$

Следовательно, при установившемся движении жидкости средние скорости потока обратно пропорциональны площадям живых сечений.

Гидродинамика. Уравнение Бернулли.

Основным уравнением гидродинамики, определяющим связь между давлением и скоростью в движущемся потоке жидкости, является уравнение Бернулли. Для двух произвольных поперечных живых сечений 1, 2 (рис. 3.3) элементарной струйки идеальной жидкости можно записать следующее уравнение энергетического баланса (м):

где Z — геометрический напор, высота положения частицы жидкости над плоскостью отсчета, м; $p/\rho \cdot g$ — пьезометрический напор, представляющий собой полный запас потенциальной энергии 1 кг жидкости, м; $v^2/2 \cdot g$ — скоростной напор, представляющий собой удельную кинетическую энергию 1 кг жидкости, м; H — напор, м.

Таким образом, при установившемся движении идеальной жидкости для любого сечения справедливо уравнение

Это уравнение называется уравнением Бернулли для элементарной струйки идеальной жидкости.

Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости. Для потока реальной вязкой жидкости необходимо учитывать потери напора, на участке от первого до второго сечения потока, которые складываются из потерь на трение (линейные потери) h_l и потерь на местные сопротивления h_m (м):

$$h_{\text{пот}} = h_l + h_m$$

В практических расчетах учитывают различие в скоростях по сечению потока, при этом расчетное значение удельной кинетической энергии потока получается несколько меньше действительного. Это обстоятельство учитывается введением поправочного коэффициента α , определенного опытным путем. Тогда уравнение Бернулли для потока реальной жидкости записывают в следующем виде:

где α_1 и α_2 — коэффициенты Кориолиса.

Уравнение Бернулли является основным уравнением гидродинамики, в котором в математической форме записан закон сохранения энергии.

Рис. 3.3. К схеме уравнений Бернулли

Режимы движения жидкости. Число Рейнольдса.

Предположение о существовании двух режимов движения жидкости было высказано русским ученым Д. И. Менделеевым еще в 1880 г., и в 1883 г. было подтверждено экспериментально английским ученым О. Рейнольдсом. Рейнольде пропускал воду через стеклянные трубки (разного диаметра). Регулируя скорость движения воды в них кранами 1 и 5 (рис. 3.4), по тонкой трубке 3 в стеклянную трубку 4 подводилась окрашенная жидкость из сосуда 2. Средняя скорость движения v (м/с) в трубке 4 с площадью живого сечения S определялась по объему воды V , поступившей в сосуд 6 за время t (с): $v=V/S \cdot t$. Для поддержания постоянного напора использовалась сливная трубка 7.

Рис. 3.4. Схема экспериментальной установки Рейнольдса

Опыт показал, что при малых скоростях движения воды в трубке 4 окрашенная жидкость движется в виде тонкой струйки внутри нее, не перемешиваясь с водой (ламинарный режим). При больших скоростях движения воды струйка окрашенной жидкости размывается (турбулентный режим). Переходная скорость движения от одного режима к другому называется критической. Основным критерием служит безразмерный параметр Re — число Рейнольдса:

$$Re=v \cdot d/\nu$$

где v — средняя скорость потока, м/с; d — диаметр трубы, м; ν — кинематический коэффициент вязкости, м²/с.

Значение числа Рейнольдса $Re = 2300$ называют критическим. В круглых гладких трубах при $Re < 2300$ режим движения ламинарный, при $Re > 2300$ — турбулентный.

Тема 3. Гидравлические сопротивления

При движении реальной жидкости в трубе часть гидродинамического напора расходуется на преодоление линейных h_l и местных h_m гидравлических сопротивлений.

Линейные сопротивления h_l (Н/м²) определяют по формуле Дарси

где $\lambda_{тр}$ — коэффициент трения по длине; l — длина трубы, м; d — диаметр трубы, м; v — скорость движения в выходном сечении трубы, м/с; ρ — плотность, кг/м³.

Для ламинарного движения жидкости коэффициент сопротивления $\lambda_{тр}$ определяется по формуле Пуазейля.

$$\lambda_{тр}=64/Re \text{ (для воды), } \lambda_{тр}=75/Re \text{ (для мин. масла)}$$

Полная потеря напора в трубопроводе $h=h_l + \Sigma h_m$ Н/м².

Расчёт маслопровода.

Для расчёта маслопровода должны быть известны его длина l и поток жидкости Q . Потеря давления и внутренний диаметр трубы являются искомыми

величинами. Тогда, зная поток жидкости и выбрав соответствующую скорость жидкости в трубе, определяют диаметр отверстия трубы и затем потерю давления.

Различают простые и сложные трубопроводы, а также трубопроводы большой и малой протяженности. Гидроаппаратуру (клапаны, золотники, дроссели, реле и др.) соединяют, как в электрических схемах, последовательно, параллельно или в последовательно-параллельные группы. При последовательном соединении поток жидкости на всем пути остается постоянным, а давление меняется по длине трубопровода. При параллельном соединении перепад давления для каждого участка постоянен, а поток жидкости определяется обратно пропорционально их сопротивлениям.

Гидросистемы станков обычно имеют трубопроводы малой протяженности, поэтому наибольшая доля потерь падает на местные сопротивления.

Линейные потери давления (потери на трение) учитываются в том случае, когда $l > 100 \cdot d$.

Потери энергии при движении жидкости в прямой трубе определяются по формуле Дарси-Вейсбаха

$$h_{\text{дл}},$$

где $h_{\text{дл}}$ — потеря напора по длине, м.

Эту же потерю напора можно выразить в единицах давления:

где Δp — потери давления, Па; $h_{\text{дл}}$ — потери напора, м; λ — коэффициент сопротивления трения по длине; l — длина трубы, м; d — диаметр трубы, м; v — средняя скорость движения жидкости в выходном сечении трубы, м/с; g — ускорения силы тяжести, м/с²; ρ — плотность жидкости (газа), кг/м³.

В гидравлических расчетах наиболее сложным является определение коэффициента сопротивления λ по длине трубопровода. Для определения потерь напора обычно пользуются таблицами удельных потерь давления.

При ламинарном режиме ($Re < 2300$) для минерального масла $\lambda = 75/Re$, где Re — число Рейнольдса.

При турбулентном режиме ($2300 < Re < 10^5$) для медных и латунных труб $\lambda = 0,316 \cdot Ra^{0,25}$, для стальных труб $\lambda = 0,06 \cdot (Ra/d)^{0,314}$

где Ra — шероховатость стенок труб 1,0—0,8 мкм. Средняя скорость жидкости (м/с)

$$v = (4 \cdot Q) / (\pi \cdot d^2)$$

где Q — поток жидкости, м³/с.

В трубопроводах малой протяженности ($l < 100 \cdot d$), скорость масла в трубопроводе увеличивают до 6—7 м/с, в остальных случаях ее уменьшают до 3—3,5 м/с. В трубопроводах всасывания скорость уменьшают до 1—1,3 м/с.

Внутренний диаметр трубопровода (м) определяют по формуле

где Q — поток масла, м³/с, см³/с; v — скорость масла, м/с.

Толщину стенок труб определяют по уравнению

где δ — толщина стенки трубы, м; p — давление в трубе, Па; d — внутренний диаметр трубы, м; k — коэффициент безопасности; $[\sigma]$ — допускаемое напряжение, Па.

Выбор труб для монтажа в гидросистемах станков производят по ГОСТ 8733—74 и ГОСТ 8731—74 (трубы стальные холоднотянутые и горячекатаные). Сортамент труб определяют по стандарту. Трубы монтируют с помощью различного рода соединений.

Тема 4 Гидродинамическое оборудование

Улучшение энергетических и экологических показателей теплоэнергетических комплексов в основном достигается за счет улучшения качества топлива, усовершенствования процессов горения топлива. Основными факторами, определяющими ценность топлива, является его теплотворная способность, определяемая количеством тепла, выделяющегося при полном сгорании единицы массы топлива, физическими свойствами рабочего тела, содержанием вредных примесей в продуктах сгорания. Одним из наиболее радикальных средств повышения эффективности работы теплоэнергетических установок является улучшение качественных характеристик топлива, позволяющих интенсифицировать процесс горения, получить от единицы массы топлива большее количество энергии. Особые трудности по оптимизации процесса сгорания возникают при использовании в дизельных двигателях, котлоагрегатах высоковязких мазутов, получаемых из остаточных фракций нефтепереработки. В мазуте, как конечном продукте нефтепереработки, сосредотачиваются наиболее тяжелые компоненты углеводородов, продукты термического крекинга, окисления, полимеризации, коксования; балласт-негорючая часть, состоящая из минеральной массы, металлов, золы, механических примесей. В процессе крекинга остаточные продукты обедняются водородом, что приводит к снижению теплотворной способности, жаропроизводительности мазута. Качество мазута начинает ухудшаться сразу после завершения крекинга нефти, во время транспортировки, при длительном хранении в емкостях; мазут окисляется, полимеризуется, насыщается биологическими организмами, обводняется; вследствие химических реакций углеводороды мазута превращаются в твердые, выпадающие в осадок продукты. Опыт эксплуатации дизелей на тяжелых сортах топлива Соединения, входящие в состав остаточных нефтяных топлив, асфальтенов, смол, желеобразных сгущений, имеют длинные, развитые

молекулярные цепи, с невысокой стабильностью связей С - С, которые могут быть разорваны под воздействием высокочастотных колебаний, термического подогрева, за счет массообменных процессов между слоями обрабатываемой среды.

Термодинамическая устойчивость углеводородов понижается с повышением температуры, с увеличением молекулярной массы, времени пребывания обрабатываемого потока в области высокочастотных колебаний, интенсивности кавитационных процессов, градиента изменения давления в зоне химических реакций, площади поверхности фазовых переходов.

В гомогенизаторах, изготавливаемой ЦЭТ «Гидротопливо» установки УКДГ-89М, с контролируемой интенсивностью кавитационных процессов, с обработкой высоковязкого топлива на энергетическом уровне фазовых превращений; углеводородные молекулы расщепляются на более легкие, активные радикалы, обуславливающие кардинальное улучшение основных, качественных характеристик, топлива. (1)

После разрушения высокочастотными акустическими колебаниями длинных углеводородных молекул, образовавшиеся легкие активные радикалы интенсивно перемешиваются вихревым потоком в объеме обрабатываемой среды, вступают в реакцию с молекулами водорода, остаточных углеводородных фракций.

После обработки мазута М-100 в гидродинамических устройствах установки УКДГ-89М, на энергетическом уровне фазовых превращений, вязкость уменьшалась в 4,5 раза, плотность на 3% /соответственно объем мазута увеличивался также на 3%, / температура вспышки снижалась в среднем на 30%, конгломераты остаточных фракций измельчались до размерного ряда частиц 1 -5 мкм. Происходящие изменения физико-химической структуры мазута М-100 можно было наблюдать визуально, сравнивая отобранные пробы.

Необработанный мазут М-100 в емкости с отобранной пробой застывал при температуре +35 °С, имел вязкую, консистентную структуру, модифицированный же мазут, при данной температуре, свободно плескался в емкости, легко стекал с пробной палочки. Смесь топлив приготовленная на базе 30% мазута Ф-5 и дизельного топлива после обработки в установке имела

вязкость меньшую чем у необработанного дизельного топлива.(2)

Технические характеристики установки УКДГ-89М.

Комплект гидродинамических устройств может размещаться в топливных системах энергетических установок фрагментарно, действует от энергии потока штатных насосов топливной системы. В этом случае применяется система управления подводом смешиваемых компонентов аналогичная используемой в установке УКДГ-89М. Управление потоком топлива поступающего к смесителям осуществляется посредством штатных элементов топливной системы энергетической установки.

Обработка дизельного топлива в гомогенизаторе-смесителе вихревом установки УКДГ-89М, при пониженной температуре окружающей среды.

Дизельное топливо содержит растворенные парафиновые соединения, которые при пониженной температуре кристаллизуются, с объединением кристаллов, в объеме топлива образуется кристаллическая решетка, препятствующая движению топлива в трубопроводах, прохождению топлива через фильтры двигателей. С понижением температуры, в летнем дизельном топливе начинается процесс помутнения уже при температуре 0 0С - + 3 0С, при температуре - 10 0С топливо теряет подвижность.

В процессе обработки дизельного топлива в ультразвуковом, интенсивном авиационном поле вихревого потока, парафиновые углеводородные соединения расщепляются на легкие, растворенные газовые фракции, активные радикалы. После модификации молекул углеводородов кристаллизация, повышение вязкости в обработанном дизельном топливе прекращается. Гомогенизатор-смеситель вихревой является эффективным теплогенератором, прокачивание топлива через его рабочие органы, позволяет повышать температуру в емкости для хранения дизтоплива, и соответственно, предотвращать кристаллизацию парафиновых соединений.

Комплект гидродинамических устройств для смешивания, гомогенизации топлив

Рис 1. Комплект гидродинамических устройств для смешивания,

гомогенизации топлив.

Применяется на нефтебазах, на судах бункеровщиках для приготовления гомогенизированных топливных смесей.

Заключительной стадией технологического процесса приготовления питательной воды для паровых котлов является удаление растворенных в ней агрессивных газов, в первую очередь кислорода, а также углекислоты, вызывающих коррозию металла теплосиловых установок. Кислородная коррозия является наиболее опасной, так как она проявляется на отдельных участках поверхности металла в виде небольших язвин и развивается в глубину металла вплоть до образования сквозных свищей. Для современных паровых котлов большой паропроизводительности даже самая незначительная концентрация растворенного в питательной воде кислорода может быть причиной нарушения нормальной работы и выхода из строя отдельных элементов их, из которых в первую очередь обычно подвергается коррозии экономайзер. Таким образом, для обеспечения надежной эксплуатации современных паровых котлов необходимо стремиться к практически полному отсутствию в питательной воде растворенного кислорода.

Гидродинамические интенсификаторы технологических процессов нефтепереработки (ГИТПН).

В рабочих органах интенсификаторов, вследствие, ультразвукового, кавитационного, термического воздействия, фазовых превращений вещества в вихревом несущем потоке, молекулярная структура нефтепродуктов, кардинально изменяет свои свойства. В результате фазовых превращений, деструктивного воздействия, длинные молекулы углеводородов расщепляются на более короткие газовые фракции С2 - С5, легкого дистиллятного топлива С8 - С10, дизельного топлива С15. Вновь образовавшиеся активные радикалы, свободные электроны вступают в химические реакции, взаимодействие с молекулами углеводородов, ускоренно расширяя область реакции в объеме потока. Радикалы, имеющие более сложное строение, распадаются на более простые, ускоряют реакционные процессы крекинга нефти.(3)

Анализами, проведенными после обработки мазута М-100 в

интенсификаторе, при температуре подогрева 90°C, было установлено, что отобранные пробы топлива насыщены пузырьками газовых фракций, соединениями дизельного топлива, вязкость мазута, вследствие, осуществления фазовых превращений, уменьшилась со 120 сСт до 25 сСт т. е. в 4,5 раза, плотность на 3%, температура вспышки снизилась на 30%, дисперсность остаточных фракций топлива находится в пределах размерного ряда 1-5 мкм. Таким образом, следует констатировать, что в интенсификаторе технологических процессов нефтепереработки, крекинг сырья осуществляется ещё до его поступления в реакционные колонны, в которых затем остаётся произвести только окончательную корректировку свойств нефтепродуктов, распределить выделившиеся фракции по точкам отбора.(4)

Предварительная деструкция конгломератов тяжелых фракций позволяет резко замедлить в процессе крекинга коксообразование, снизить температуру застывания мазута, ускорить динамику расщепления тяжелых молекул углеводородов, увеличить до 90% содержание светлых газойлевых фракций, повысить качество нефтепродуктов, сократить время технологических процессов. Энергозатраты на реализацию технологических процессов нефтепереработки, с применением интенсификатора, значительно снижаются, в ректификационных колоннах уменьшается температура крекинга, одновременно резко улучшаются экологические характеристики окружающей среды. Оборудование устанавливается в технологическую схему процесса крекинга на участке подвода сырья в реакционную печь, а также на линии возврата мазута для его повторной обработки в вакуумной колонне. Геометрические размеры, производительность интенсификаторов - ГИТПН рассчитываются в зависимости от параметров состояния потока обрабатываемого сырья. На фото интенсификатор, производительность 250 м³/ч.

Применение разработанной технологии позволяет увеличить отбор светлых нефтепродуктов. Оборудование устанавливается в технологическую схему процесса крекинга на участках подвода сырья, на входе потока в вакуумную колонну, а также на линии возврата мазута для его повторной обработки в вакуумной колонне. Геометрические размеры, производительность интенсификаторов ГИТПН рассчитываются в зависимости, от объема, параметров состояния потока обрабатываемого сырья. Производительность одного комплекта интенсификатора, 250 м³/ч.

Принципиальная схема висбрекинга нефти с применением аппарата «ГИТПН»

Применение данной технологии позволит значительно сократить энергетические затраты на осуществление крекинга нефти, повысить качество нефтепродуктов, увеличить в готовой продукции содержание светлых фракций до 90%, сократить время технологических процессов переработки нефти, предотвратить интенсивное отложение кокса на поверхности змеевиков реакционных печей, катализаторов, в ёмкостях хранения нефтепродуктов.

Комплект универсального гидродинамического оборудования. После изготовления, оборудование используется для обработки различных жидких сред, может быть настроено, без изменения геометрических размеров, конструктивных решений, на работу в системах с производительностью в диапазоне от 50 до 250 м³/ч. Оборудование, обладает многофункциональными свойствами, применяется в производственных процессах в качестве:

гомогенизаторов-смесителей, в процессах смешивания, компаундирования, модификации качественных характеристик топлива, в составе оборудования нефтебаз, на судах бункеровщиках;

интенсификаторов, в технологических процессах нефтепереработки;

гомогенизаторов- смесителей, в процессах приготовления водно-топливных эмульсий в составе топливных систем мощных дизельных двигателей, котельных агрегатов, газовых турбин;

деаэраторов питательной воды котельных агрегатов;

теплогенераторов в системах отопления, подогрева топлива в емкостях нефтебаз, в топливных системах энергетических установок;

для обеззараживания питьевой воды, в системах водоснабжения, балластной воды в емкостях танкеров;

Многофункциональный топливный модуль МФТМ-07.

Применяется в системах топливоподготовки, в топливных системах судовых дизелей, газовых турбин. В многофункциональном топливном модуле реализуются процессы:

гомогенизации высоковязкого судового топлива;

сепарирования топлива /степень очистки топлива достигает 99%/;

приготовления высокодисперсной водно-топливной эмульсии;

приготовления стабильных топливных смесей;

модификации качественных характеристик углеводородных топлив,

осуществляемой в режиме фазовых переходов;

дегазации топлива в топливных системах дизелей;

подогрева топлива в системах, емкостях;

В гидродинамических устройствах топливного модуля, снабженных средствами управления параметрами состояния взаимодействующих потоков, интенсивностью высокочастотных колебаний, процесс обработки топлива выводится на режим фазовых переходов, с преобразованием тяжелых углеводородов в газовые, легкие, средне - дистиллятные фракции. Условия для осуществления фазовых переходов создаются в ходе разрушения конгломератов асфальтенов, расщепления высокомолекулярных углеводородов, с образованием активных радикалов, развитием термохимических реакций, ускоряющихся по мере повышения температуры, интенсификации высокочастотных колебаний, в турбулентном вихревом потоке. Вследствие конверсии исходного топлива, в газойлевые фракции, вязкость исходного топлива снижается в 4,5 раза, температура вспышки уменьшается на 30%, плотность топлива на 3-4%. (5)

Использование топлива с улучшенными характеристиками качества, повышает степень дисперсности капель топлива в камере сгорания дизелей, сокращает время подготовки топлива к воспламенению, ускоряет процесс сгорания. С переводом работы судовых дизелей на ВТЭ, приготовленную в топливном модуле МФТМ-07, расход топлива также как и при использовании установок УКДГ- 89М, сокращается на 12-15%, в котлоагрегатах на 8-10%. Нагарообразование на деталях цилиндра-поршневой группы дизелей, газовыпускном тракте, газовых турбинах, поверхностях нагрева котлоагрегатов практически прекращается. Значительно уменьшаются затраты, на обслуживание, ремонт энергетических установок, сокращаются вредные выбросы с уходящими газами.

Многофункциональный модуль содержит: многофункциональное гидродинамическое устройство, кавитационный смеситель, гидроструйный смеситель, автоматический регулятор для управления подачей смешиваемых компонентов, редуционно-дозировочное устройство, счетчики-расходомеры подачи топлива, воды, электронасосный агрегат НМШ5-25-4.0/10Б, контрольно-измерительные приборы, запорно-клапанную арматуру.

Многофункциональное гидродинамическое устройство типа МГУ-07. Применяется в качестве: гомогенизатора-смесителя, самоочищающегося многоступенчатого сепаратора топлива, термохимического реактора, дегазатора топлива. Топливо поступает в сепаратор после завершения процесса

гомогенизации, с измельченной структурой конгломератов асфальтенов, смол, сгустков полимеров, тяжелых фракций нефтеостатков. Такая последовательность процесса дает возможность сократить на 3% потери горючей части топлива, уменьшить количество шлама в емкостях для сбора нефтеостатков.

Гомогенизатор-смеситель вихревой каскадный ГСВК-4. Гомогенизатор предназначен для модификации качественных характеристик высоковязкого топлива, приготовления стабильных топливных смесей, может применяться для обработки других жидкостей, приготовления суспензий, растворов.

Гомогенизатор снабжен средствами для регулирования интенсивности массообменных процессов в обрабатываемых жидкостях, в пределах изменения объема их подачи в рабочие органы, от 2 до 10 м³/ч, что позволяет получать конечные продукты с заданными характеристиками качества. Средства регулирования создают возможность концентрации и рационального распределения энергии в объеме гидродинамического потока, что обуславливает стабильность технологических процессов и соответственно качественных характеристик изготавливаемой продукции.

Гомогенизатор может быть использован в качестве эффективного подогревателя топлива и соответственно теплогенератора в системах отопления жилых, производственных помещений.

Тема 6 ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОТОКА В РЕАКТОРЕ

Цель и содержание работ

Целью работ является практическое освоение методики определения параметров диффузионной и ячеечной моделей гидродинамического режима потока в реакторе по экспериментальной С-кривой – дифференциальной функции распределения времени пребывания частиц потока в аппарате.

Содержание работы: на основании экспериментальных данных строят функцию распределения времени пребывания, осуществляют преобразование экспериментальных данных в безразмерные величины, вычисляют вероятностные характеристики и определяют значение критерия Пекле, являющийся параметром диффузионной модели или количество ячеек в ячеечной модели.

Теоретическое обоснование

1.1 Типовые гидродинамические модели

К типовым гидродинамическим моделям, прежде всего, относятся модель идеального перемешивания и модель идеального вытеснения. Хотя указанные модели – теоретические и соответствуют идеальным потокам, однако в ряде случаев их можно использовать для характеристики реальных потоков. Кроме перечисленных, к типовым моделям гидродинамических потоков относятся диффузионная, ячеечная и комбинированные модели (потоки с застойной зоной, байпасированием и др.). Диффузионная и ячеечная модели характеризуют реальные потоки. Эти модели при предельных идеализированных условиях переходят в одну из теоретических моделей – идеального вытеснения или идеального перемешивания. Комбинированные модели строятся сочетанием более простых (идеальных) моделей.

1.2 Модель идеального перемешивания

Модель идеального перемешивания представляет идеализированный поток и является теоретической моделью. Согласно этой модели принимается, что поступающий в аппарат поток мгновенно распределяется по всему объему вследствие полного (идеального) перемешивания частиц среды. При этом концентрация распределенного вещества во всех точках аппарата и в потоке на выходе из него одинакова.

Схема аппарата идеального перемешивания приведена на рисунке 1.

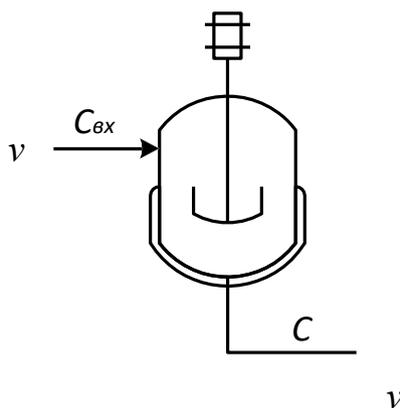
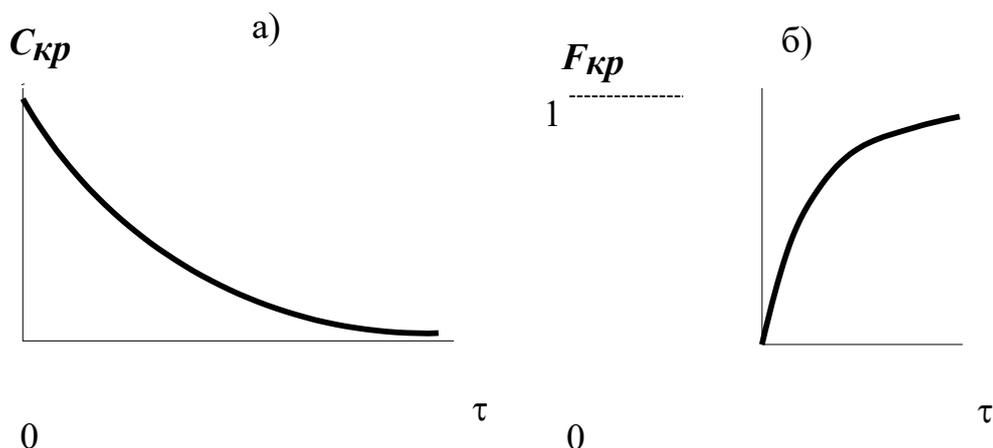


Рисунок 1 – Схема аппарата идеального смешения

Отношение v/V характеризует среднее время нахождения частиц в зоне идеального перемешивания; его принято называть временем пребывания частиц в аппарате и обозначать τ . Время пребывания является параметром модели идеального перемешивания, который обычно определяется экспериментально либо расчетом.

Дифференциальное уравнение модели идеального перемешивания обычно записывают с учетом параметра τ :

На рисунке 2 представлен вид С-кривой и F-кривой для данной модели.



а – при импульсном возмущении (С-кривая)
 б – при ступенчатом возмущении (F-кривая);

Рисунок 2 – Вид функции отклика модели идеального смешения

Наилучшим образом эта модель отвечает реальным потокам в проточных аппаратах с мешалкой, у которых высота ℓ мало отличается от диаметра d , мешалка создает высокую степень перемешивания и объемная скорость потоков u невелика.

1.3 Модель идеального вытеснения

В соответствии с моделью идеального вытеснения принимается поршневое течение без перемешивания вдоль потока при равномерном распределении концентрации вещества в направлении, перпендикулярном движению. При этом время пребывания всех частиц в зоне идеального вытеснения одинаково и равно отношению объема зоны вытеснения к объемному расходу жидкости (или газа) t

$= u/V$. Схематическое изображение модели идеального вытеснения (ИВ) показано на рисунке 3.

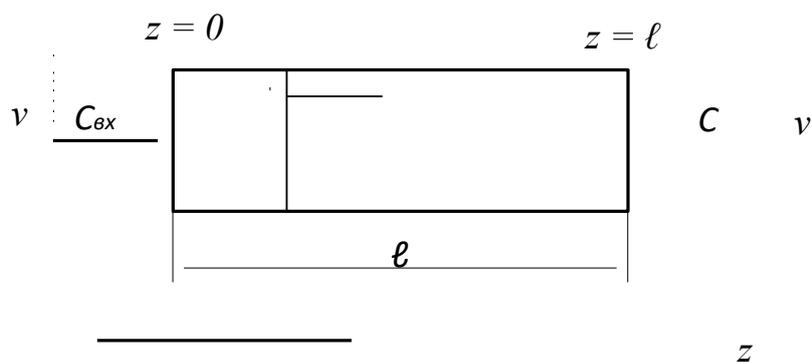


Рисунок 3 – Схематичное изображение модели ИВ

Дифференциальное уравнение модели идеального вытеснения имеет вид:

$$\frac{dC}{d\tau} = u \frac{dC}{dz} \quad (3)$$

где u – средняя линейная скорость потока, м/с, которая находится по формуле $u = v / S$; S – сечение зоны идеального вытеснения, м²;

z – пространственная координата.

Такая модель называется моделью с распределенными параметрами. Если вместо средней скорости u подставить в уравнение ее значение, то уравнение примет следующий вид:

$$S \frac{dC}{dt} = -q \frac{d}{dz} \quad (4)$$

Модель идеального вытеснения широко используется в химической технологии при описании трубчатых реакторов и теплообменников. Трубчатые аппараты с большим отношением длины трубок к их диаметру ($\ell/d > 20$) при турбулентном движении жидкости или газа могут описываться как модели идеального вытеснения. Это объясняется тем, что при $\ell/d > 20$ продольное перемешивание незначительно и мало искажает поток вытеснения, а турбулентное движение при этом обеспечивает равномерное распределение концентрации по сечению аппарата.

1.4 Диффузионная модель

Диффузионная модель получила широкое распространение при оценке реальных потоков в аппаратах, в которых происходит продольное или продольное и радиальное перемешивание (например, поток в слоях насадки колонных аппаратов). Различают однопараметрическую и двухпараметрическую диффузионные модели.

Основой однопараметрической модели является модель вытеснения, осложненная обратным перемешиванием, подчиняющимся формальному закону диффузии. Параметром, характеризующим модель, служит коэффициент турбулентной диффузии, или коэффициент продольного перемешивания D_L .

Принимаются следующие допущения:

- изменение концентрации вещества является непрерывной функцией координаты (расстояния);
- концентрация вещества в данном сечении постоянна (отсутствует перемешивание в радиальном направлении);

1.5 Ячеечная модель

Типовые модели идеального перемешивания, идеального вытеснения, диффузионная модель с определенной степенью точности могут применяться для воспроизведения структуры и гидродинамических свойств потоков в

различных аппаратах химической технологии. Однако идеальные модели в ряде случаев неадекватны реальному процессу, а диффузионная модель отличается сложностью. По этой причине для трубчатых и колонных аппаратов, а также для каскадов последовательно расположенных реакторов удобнее представлять реальные потоки в виде так называемой ячеечной модели.

Физическая сущность ячеечной модели заключается в том, что движущийся материальный поток рассматривается состоящим из ряда последовательно соединенных ячеек. При этом принимается, что в каждой из таких ячеек поток имеет структуру полного перемешивания, а между ячейками перемешивание отсутствует. Количество предполагаемых ячеек идеального перемешивания n является параметром, характеризующим ячеечную модель реального потока. Если $n = 1$ ячеечная модель переходит в модель идеального перемешивания, а если $n \rightarrow \infty$ – в модель идеального вытеснения.

Схематическое изображение ячеечной модели дано на рисунке 6.

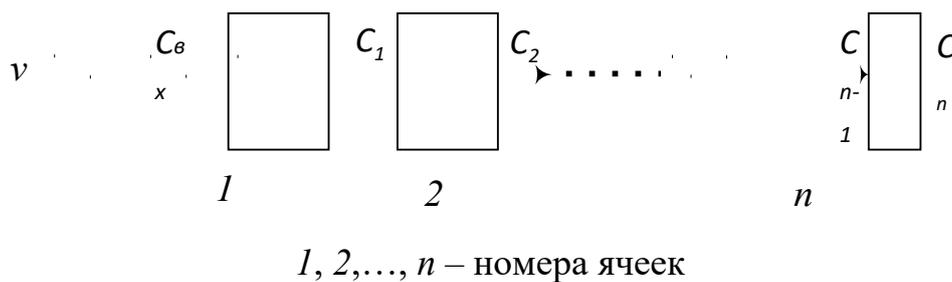
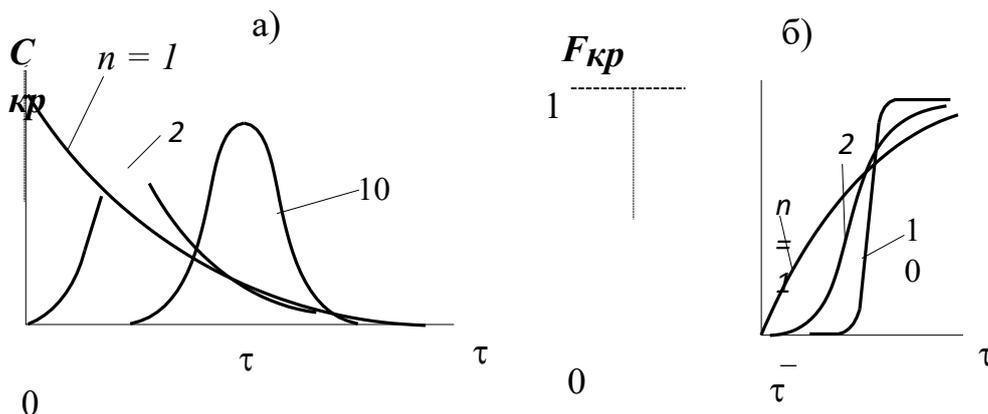


Рисунок 6 – Схема ячеечной модели

Вид функции отклика представлен на рисунке 7.



а – при импульсном возмущении (С-кривая) ;
б – при ступенчатом возмущении (F-кривая)

Рисунок 7 – Вид функции отклика ячеечной модели

Ячеечная модель достаточно точно воспроизводит свойства потоков в последовательно соединенных аппаратах с мешалками, создающими интенсивное перемешивание (каскады реакторов), в абсорбционных и экстракционных колоннах при некоторых гидродинамических режимах, и удовлетворительно в аппаратах с псевдооживленным слоем.

1.6 Комбинированные модели

Принцип построения комбинированных моделей состоит в том, что исследуемый процесс рассматривается расчлененным на отдельные участки (зоны), соединенные последовательно, параллельно или по схеме с обратной связью, которые отличаются неодинаковой структурой потоков. При этом комбинированная модель представляет собой сочетание математических описаний всех зон, составляющих процесс.

В ходе построения комбинированных моделей следует оценить возможность применения для различных участков аппарата математических описаний типовых моделей, а также учесть застойные зоны.

Кроме перечисленных выше структур, при построении комбинированных моделей необходимо учитывать и другие виды течения жидкости (газа), которые могут возникать в реальных аппаратах:

– **байпасный поток** – часть жидкости (газа), движущаяся параллельно сосуду или некоторой его зоне, в результате чего часть потока попадает на выход аппарата, не претерпевая никаких изменений (проскок части потока).

– **циркуляционные потоки** (рециклы или обратные потоки) – это всякого рода возвраты потока. Они возникают потому, что часть жидкости (газа), которая выводится за пределы сосуда или определенной его части, возвращается в него снова и затем смешивается со свежими порциями вещества на входе в сосуд или в некоторую его зону.

Список использованных источников

1. Айвазян О.М. Основы гидравлики бурных потоков [Электронный ресурс]/ Айвазян О.М.— Электрон. текстовые данные.— Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2010.— 266 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16585.html>.— ЭБС «IPRbooks»
2. Зуйков А.Л. Гидравлика. Том 2. Напорные и открытые потоки. Гидравлика сооружений [Электронный ресурс]: учебник/ Зуйков А.Л., Волгина Л.В.—

Электрон. текстовые данные.— Москва: МИСИ-МГСУ, ЭБС АСВ, 2018.— 400 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/86298.html>.— ЭБС «IPRbooks»

3. Савиновских А.Г. Гидравлика [Электронный ресурс]: учебное пособие для СПО/ Савиновских А.Г., Коробейникова И.Ю., Новикова Д.А.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Профобразование, 2019.— 168 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/86069.html>.— ЭБС «IPRbooks»

4. Глухов В.С. Основы гидравлики и теплотехники: Раздел 1. Основы гидравлики [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Глухов В.С., Дикой А.А., Дикая И.В.— Электрон. текстовые данные.— Армавир: Армавирский государственный педагогический университет, 2019.— 252 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/82446.html>.— ЭБС «IPRbooks»

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания

по выполнению самостоятельной работы

по дисциплине «Машины и аппараты для гидродинамических процессов»

15.03.02 Технологические машины и оборудование

направленность (профиль) Цифровые технологии проектирования и управления
технологическим оборудованием

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Общая характеристика самостоятельной работы студента при изучении дисциплины.....	5
2 План-график выполнения самостоятельной работы.....	6
3 Контрольные точки и виды отчетности по ним.....	7
4 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания.....	7
5 Тематический план дисциплины.....	8
6 Вопросы для собеседования.....	9
7 Методические рекомендации по изучению теоретического материала.....	11
8 Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов	12
9 Методические рекомендации при работе над конспектом во время проведения лекции.....	12
10 Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям.....	13

Введение

Настоящее пособие разработано на основе:

- Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;
- Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (далее ФГОС ВО);
- нормативно-методических документов Минобрнауки России;
- Устава ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»;
- Приказом Минобрнауки России от 06.04.2021 N 245 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры» (Зарегистрировано в Минюсте России 13.08.2021 N 64644);
- локальных нормативных актов ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет».

На современном рынке труда конкурентоспособным может стать только квалифицированный работник соответствующего уровня и профиля, компетентный, свободно владеющий своей профессией и ориентированный в смежных областях деятельности, способный к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов и готовый к постоянному профессиональному росту.

Самостоятельная работа студента направлена на достижение целей подготовки специалистов-профессионалов, активное включение обучаемых в сознательное освоение содержания образования, обеспечение мотивации, творческое овладение основными способами будущей профессиональной деятельности. Чтобы подготовить и обучить такого профессионала, высшим учебным заведениям необходимо скорректировать свой подход к планированию и организации учебно-воспитательной работы. Это в равной степени относится к изменению содержания и характера учебного процесса. В современных реалиях задача преподавателя высшей школы заключается в организации и направлении познавательной деятельности студентов, эффективность которой во многом зависит от их самостоятельной работы. В свою очередь, самостоятельная работа студентов должна представлять собой не просто самоцель, а средство достижения прочных и глубоких знаний, инструмент формирования активности и самостоятельности студентов.

В связи с введением в образовательный процесс новых образовательных стандартов, с уменьшением количества аудиторных занятий по дисциплинам возрастает роль самостоятельной работы студентов. Возникает необходимость оптимизации самостоятельной работы студентов (далее - СРС). Появляется необходимость модернизации технологий обучения, что существенно меняет подходы к учебно-методическому и организационно-техническому обеспечению учебного процесса.

Данная методическая разработка содержит рекомендации по организации, управлению и обеспечению эффективности самостоятельной работы студентов в процессе обучения в целях формирования необходимых компетенций.

Самостоятельная работа студентов является обязательным компонентом учебного процесса для каждого студента и определяется учебным планом. Виды самостоятельной работы студентов определяются при разработке рабочих программ и учебных методических комплексов дисциплин содержанием учебной дисциплины. При определении содержания самостоятельной работы студентов следует учитывать их уровень самостоятельности и требования к уровню самостоятельности выпускников для того, чтобы за период обучения искомый уровень был достигнут. Так, удельный вес самостоятельной работы при обучении в очной форме составляет до 50% от количества аудиторных часов, отведённых на изучение дисциплины, в заочной форме - количество часов, отведенных на освоение дисциплины, увеличивается до 90%.

Самостоятельная работа определяется как индивидуальная или коллективная учебная деятельность, осуществляемая без непосредственного руководства педагога, но по его заданиям и под его контролем.

Самостоятельная работа – это познавательная учебная деятельность, когда последовательность мышления студента, его умственных и практических операций и действий зависит и определяется самим студентом. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня, что в итоге приводит к развитию навыка самостоятельного планирования и реализации деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение необходимыми компетенциями по своему направлению подготовки, опытом творческой и исследовательской деятельности.

На основании компетентностного подхода к реализации профессиональных образовательных программ, видами заданий для самостоятельной работы являются:

- *для овладения знаниями*: чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы), составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста, работа со словарями и справочниками, ознакомление с нормативными документами, учебно-исследовательская работа, использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники и информационно- телекоммуникационной сети Интернет и др.

- *для закрепления и систематизации знаний*: работа с конспектом лекции, обработка текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей), повторная работа над учебным материалом, составление плана, составление таблиц для систематизации учебного материала, ответ на контрольные вопросы, заполнение рабочей тетради, аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, конспект-анализ и др.), завершение аудиторных практических работ и оформление отчётов по ним, подготовка мультимедиа сообщений/докладов к выступлению на семинаре (конференции), материалов-презентаций, подготовка реферата, составление библиографии, тематических кроссвордов, тестирование и др.

- *для формирования умений*: решение задач и упражнений по образцу, решение вариативных задач, выполнение чертежей, схем, выполнение расчетов (графических работ), решение ситуационных (профессиональных) задач, подготовка к деловым играм, проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности, рефлексивный анализ профессиональных умений с использованием аудио- и видеотехники и др.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

Контроль результатов самостоятельной работы студентов может осуществляться в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине и внеаудиторную самостоятельную работу студентов по дисциплине, может проходить в письменной, устной или смешанной форме.

Самостоятельная работа проводится в виде упражнений при изучении нового материала, упражнений в процессе закрепления и повторения, упражнений проверочных и контрольных работ, а также для самоконтроля.

Для организации самостоятельной работы необходимы следующие условия:

1. готовность студентов к самостоятельному труду;
2. наличие и доступность необходимого учебно-методического и справочного материала;
3. консультационная помощь.

Самостоятельная работа может проходить в лекционном кабинете, компьютерном зале, библиотеке, дома. Самостоятельная работа способствует формированию компетенций, тренирует волю, воспитывает работоспособность, внимание, дисциплину и ответственность.

1 Общая характеристика самостоятельной работы студента при изучении дисциплины

Дисциплина «Общая химическая технология» относится к дисциплине обязательной части. Она направлена на формирование общепрофессиональных компетенций обучающихся в процессе выполнения работ, определенных ФГОС ВО.

Наименование компетенций:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
<p>ПК-1 Способен разрабатывать мероприятия по совершенствованию технологических процессов производства с помощью гидродинамического оборудования</p>	<p>ИД-1 ПК-1 анализирует качество сырья и материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий на соответствие требованиям нормативной документации</p> <p>ИД-2 ПК-1 осуществляет внедрение новых методов и средств технического контроля</p> <p>ИД-3 ПК-1 осуществляет проведение испытаний новых и модернизированных образцов продукции</p>	<p>Пороговый уровень</p> <p>понимает методы расчета гидродинамического оборудования; использует расчеты основного оборудования при изготовлении продукции; применяет методы расчета гидродинамического оборудования;</p> <p>Повышенный уровень</p> <p>понимает методы расчета гидродинамического оборудования в производстве; исследует основное гидродинамическое оборудование в производстве; разрабатывает расчеты гидродинамического оборудования в производстве;</p>

В рамках курса дисциплины «Машины и аппараты для гидродинамических производств» самостоятельная работа студентов находит активное применение и включает в себя различные виды деятельности:

- подготовка к практическим занятиям, в том числе работа с методическими указаниями, средствами массовой информации;
- подготовка к лекциям, в том числе самостоятельное углубленное изучение теоретического курса по рекомендованной литературе;
- подготовка курсовой работы;
- подготовка к промежуточной аттестации.

Цель самостоятельной работы студента при подготовке к лекциям заключается в получении новых знаний, приобретенных при более глубоком изучении литературы по дисциплине.

Задачи:

- доработка и повторение конспектов лекции;
- осмысление содержания лекции, логической структуры, выводов.

Цель самостоятельной работы студента при подготовке к практическим занятиям заключается в углублении, расширении, детализировании знаний, полученных на лекциях в обобщенной форме.

Задачи:

- развить способность применять полученные знания на практике при решении конкретных задач;
- проверить знания студентов, полученные на лекциях и при самостоятельном изучении литературы.

Цель самостоятельной работы студента при подготовке курсовой работы заключается в возможности более глубокого изучения вопросов курса дисциплины, которые в рамках аудиторных занятий не могут быть изучены достаточно подробно.

Задачи:

- обобщение, повторение и углубление материала полученного на лекциях и практических занятиях.
- выработка собственного взгляда и мнения по проблеме исследования;

Цель самостоятельной работы студента при подготовке к экзамену заключается в повторении и закреплении всего изученного материала.

Задачи:

- научиться анализировать и систематизировать все знания, накопленные при изучении программного материала: данные учебника, записи лекций, заметки, сделанные во время консультаций и практических занятий.

2 План-график выполнения самостоятельной работы

Таблица 1 – Виды самостоятельной работы для очной формы обучения

Коды реализуемых компетенций, индикатор(ов)	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
			СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
5 семестр					
ПК-1	Подготовка к практическому занятию	Конспект, собеседование	2,565	0,135	2,7
	Самостоятельное изучение литературы	Конспект, собеседование	68,735	2,565	51,3
	Выполнение курсовой работы	Задания для курсовой работы	25,5	1,5	27
Итого за 5 семестр			94,5	4,2	81

3 Контрольные точки и виды отчетности по ним

В рамках рейтинговой системы успеваемость студентов по каждой дисциплине оценивается в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

4 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Компетенция (ии), индикатор (ы)	Уровни сформированности компетенци(ий),			
	Минимальный уровень не достигнут (Неудовлетворительно) 2 балла	Минимальный уровень (удовлетворительно) 3 балла	Средний уровень (хорошо) 4 балла	Высокий уровень (отлично) 5 баллов
<i>Компетенция: ПК-1 Способен организовать контроль качества продукции на всех стадиях производственного процесса</i>				
Результаты обучения по дисциплине (модулю): <i>Индикатор:</i> ПК-1 ИД-1 анализирует физико-химические основы функционирования оборудования соответствие требованиям нормативной документации	не понимает физико-механические принципы функционирования основного оборудования для реализации гидромеханических процессов	не в достаточном объеме понимает физико-механические принципы функционирования основного оборудования для реализации гидромеханических процессов;	понимает, физико-механические принципы функционирования основного оборудования для реализации гидромеханических процессов;	понимает методы расчета основного оборудования, физико-механические принципы функционирования основного оборудования для реализации гидромеханических процессов;
ПК-1 ИД-2 осуществляет внедрение новых методов и средств технического контроля	не использует основные технические характеристики, конструкции, принцип действия, область применения и особенности эксплуатации машин и аппаратов для гидромеханических процессов	не в достаточном объеме использует основные технические характеристики, конструкции, принцип действия, область применения и особенности эксплуатации машин и аппаратов для гидромеханических процессов;	использует основные технические характеристики, конструкции, принцип действия, область применения и особенности эксплуатации машин и аппаратов для гидромеханических процессов;	исследует основные технические характеристики, конструкции, принцип действия, область применения и особенности эксплуатации машин и аппаратов для гидромеханических процессов;

					процессов основное оборудовани е в производстве ;
ПК-1 осуществляет проведение испытаний новых и модернизированных образцов продукции и оборудования	ИД-3	не применяет навыки работы с технической документацией, не принимает участие в работах по расчету гидродинамиче ского оборудования;	не в достаточном объеме применяет навыки работы с технической документацией, не принимает участие в работах по расчету гидродинамическ ого оборудования;	применяет навыки выбора технической документации, принимает участие в работах по расчету и проектированию деталей и узлов машин гидродинамическ их процессов	разрабатывае т рабочую проектную и техническую документаци ю, принимать участие в работах по расчету и проектирован ию деталей и узлов машин гидродинами ческих процессов;

5 Тематический план дисциплины

№	Раздел (тема) дисциплины	Реализуемые компетенции, индикаторы	Контактная работа обучающихся с преподавателем, часов				Самостоя тельная работа, часов
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Групповые консультации	
Очная форма обучения							
5 семестр							
1	Основные задачи проектирова ния машин и аппаратов для гидромехани ческих процессов	ПК-1	10,5	10,5			20,5
2	Процессы разделения неоднородн ых систем. Основные		17,5	3			74

	закономерно сти и расчет процессов разделения						
	ИТОГО за 5 семестр		27	13,5			94,5

Приступая к работе, каждый студент должен принимать во внимание следующие положения.

Дисциплина (модуль) построена по тематическому принципу, каждая тема представляет собой логически заверченный раздел.

Лекционный материал посвящен рассмотрению ключевых, базовых положений дисциплины (модуля) и разъяснению учебных заданий, выносимых на самостоятельную работу студентов.

Практические занятия проводятся с целью закрепления усвоенной информации, приобретения навыков ее применения при решении практических задач в соответствующей предметной области.

Самостоятельная работа студентов направлена на самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовку к практическим занятиям, а также выполнения всех видов самостоятельной работы.

Для успешного освоения дисциплины, необходимо выполнить все виды самостоятельной работы, используя рекомендуемые источники информации.

6. Вопросы к экзамену

Вопросы к экзамену

1. Гидродинамика зернистого слоя. Сопротивление слоя зернистого материала
2. Почему в проточных реакторах не соблюдается идеальный гидродинамический режим
3. Преимущества и недостатки гидропривода
4. Характеристика рабочих жидкостей
5. Выбор и эксплуатация рабочих жидкостей
6. Гидравлические линии
7. Соединения
8. Расчет гидролиний
9. Гидравлические машины шестеренного типа
10. Пластинчатые насосы и гидромоторы
11. Радиально-поршневые насосы и гидромоторы
12. Аксиально-поршневые насосы и гидромоторы
13. Механизмы с гибкими разделителями
14. Классификация гидроцилиндров
15. Гидроцилиндры прямолинейного действия
16. Расчет гидроцилиндров
17. Поворотные гидроцилиндры
18. Золотниковые гидрораспределители
19. Крановые гидрораспределители
20. Клапанные гидрораспределители
21. Напорные гидроклапаны
22. Редукционный клапан
23. Обратные гидроклапаны
24. Ограничители расхода
25. Делители (сумматоры) потока

26. Дроссели и регуляторы расхода
27. Гидробаки и теплообменники
28. Фильтры
29. Уплотнительные устройства
30. Гидравлические аккумуляторы
31. Гидрозамки
32. Гидравлические реле давления и времени
33. Средства измерения
34. Классификация гидроусилителей
35. Гидроусилитель золотникового типа
36. Гидроусилитель с соплом и заслонкой
37. Гидроусилитель со струйной трубкой
38. Двухкаскадные усилители
39. Способы разгрузки насосов от давления
40. Дроссельное регулирование
41. Объемное регулирование
42. Комбинированное регулирование
43. Сравнение способов регулирования
44. Гидросистемы с регулируемым насосом и дросселем
45. Гидросистемы с двухступенчатым усилением
46. Гидросистемы непрерывного (колебательного) движения
47. Электрогидравлические системы с регулируемым насосом
48. Гидросистемы с двумя спаренными насосами
49. Питание одним насосом двух и несколько гидродвигателей
50. Общие сведения о применении газов в технике
51. Особенности пневматического привода, достоинства и недостатки
52. Течение воздуха
53. Подготовка сжатого воздуха
54. Исполнительные пневматические устройства
55. Монтаж объемных гидроприводов
56. Эксплуатация объемных гидроприводов в условиях низких температур
57. Основные неполадки в гидросистемах и способы их устранения;

7 Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Самостоятельная работа студента в ходе **лекционных занятий** включает изучение вопросов теории, вынесенных на самостоятельное изучение в соответствии с рабочей программой дисциплины, проработку лекционных материалов для подготовки к контролю знаний на лекционных занятиях (опрос) и подготовку вопросов для обсуждения при консультации с преподавателем.

Работа с лекционным материалом не завершается по окончании лекции. На 2 часа лекции необходимо затратить около часа на работу с конспектом. За это время необходимо перечитать записи, пополнить их данными, которые удалось запомнить из речи преподавателя, но не удалось записать. Работая с конспектом, нужно отметить непонятные вопросы для выяснения которые у преподавателя на консультации. Отдельно следует выделить связанные с темой лекции вопросы, которые преподаватель поручил проработать самостоятельно.

Активно проработанный в течение семестра конспект лекций в дальнейшем служит основой для подготовки к экзамену.

Вопросы для самостоятельного изучения представлены в п. 5.

Самостоятельная работа в ходе **практических работ** включает выполнение заданий к практическим занятиям, в частности решение задач различного уровня сложности. Задачи приведены в методических указаниях к практическим занятиям и фондах оценочных средств.

Зная тему практического занятия, необходимо готовиться к нему заблаговременно. Для эффективной подготовки к практическому занятию необходимо иметь методическое руководство к практическим работам.

Критерии оценивания практических занятий представлены в фонде оценочных средств.

При проверке практического задания, оцениваются: последовательность и рациональность изложения материала; полнота и достаточный объем ответа; научность в оперировании основными понятиями; использование и изучение дополнительных литературных источников.

Самостоятельная работа в ходе подготовки **курсовой работы**. Студенты выполняют КР по индивидуальным темам, выбираемым по согласованию с преподавателем, в соответствии с приведенной тематике. КР выполняется печатным способом и в виде презентации.

КР являются важнейшим средством изучения учебных дисциплин, повышения теоретического и методического уровня знаний студентов. Это самостоятельная научно-исследовательская работа студента, где раскрывается суть исследуемой студентом проблемы, изложение материала носит проблемно-тематический характер, показываются различные точки зрения, а также собственные взгляды на проблему.

Выполнение письменных заданий поможет поэтапно включиться в учебно-исследовательскую, а затем в научно-исследовательскую работу, которая способствует формированию творческих качеств и творческого отношения к своей профессии.

8 Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа является одним из видов учебной деятельности обучающихся, способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Аудиторная самостоятельная работа по учебной дисциплине осуществляется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется по заданию преподавателя без его непосредственного участия.

Виды заданий для внеаудиторной самостоятельной работы, их содержание и характер могут иметь вариативный и дифференцированный характер, учитывать специфику изучаемой учебной дисциплины, индивидуальные особенности обучающегося.

Контроль самостоятельной работы и оценка ее результатов организуется как единство двух форм:

1. самоконтроль и самооценка обучающегося;
2. контроль и оценка со стороны преподавателя.

9 Методические рекомендации при работе над конспектом во время проведения лекции

В ходе лекционных занятий вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в ораторском искусстве. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Задавать

преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.

В ходе подготовки к семинарам изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, новыми публикациями в периодических изданиях: журналах, газетах и т.д. При этом учесть рекомендации преподавателя и требования учебной программы. Дорабатывать свой конспект лекции, делая в нем соответствующие записи из литературы, рекомендованной преподавателем и предусмотренной учебной программой. Подготовить тезисы для выступлений по всем учебным вопросам, выносимым на семинар. Готовясь к докладу или реферативному сообщению, обращаться за методической помощью к преподавателю. Составить план-конспект своего выступления. Продумать примеры с целью обеспечения тесной связи изучаемой теории с реальной жизнью. Своевременное и качественное выполнение самостоятельной работы базируется на соблюдении настоящих рекомендаций и изучении рекомендованной литературы. Студент может дополнить список использованной литературы современными источниками, не представленными в списке рекомендованной литературы, и в дальнейшем использовать собственные подготовленные учебные материалы при написании работ.

10 Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям

Практическое занятие – один из самых эффективных видов учебных занятий, на которых студенты учатся творчески работать, аргументировать и отстаивать свою позицию, правильно и доходчиво излагать свои мысли перед аудиторией. Основное в подготовке и проведении практических занятий – это самостоятельная работа студента над изучением темы. Студент обязан точно знать план занятия либо конкретное задание к нему. На занятии обсуждаются узловые вопросы темы, однако там могут быть и такие, которые не были предметом рассмотрения на лекции. Могут быть и специальные задания к той или иной теме.

Готовиться к практической работе следует заранее. Необходимо внимательно ознакомиться с планом и другими материалами, уяснить вопросы, выносимые на обсуждение. Затем нужно подобрать литературу и другой необходимый, в т.ч. рекомендованный, материал (через библиотеку, учебно-методический кабинет кафедры и др.). Но прежде всего, следует обратиться к своим конспектам лекций и соответствующему разделу учебника. Изучение всех источников должно идти под углом зрения поиска ответов на выносимые на практико-ориентированные занятия вопросы.

Завершающий этап подготовки к занятиям состоит в выполнении индивидуальных заданий.

В случае пропуска занятия студент обязан подготовить материал и отчитаться по нему перед преподавателем в обусловленное время. Может быть предложено отдельным бакалаврам, ввиду их слабой подготовки, более глубоко освоить материал и прийти на индивидуальное собеседование.

Студент не допускается к промежуточной аттестации, если у него есть задолженность по практическим работам.