

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Крюков Вадим Николаевич
Должность: Проректор по образовательной деятельности и молодежной политике
Дата подписания: 2026.07.17 18:36
Уникальный программный ключ:
1b0adb7fd710f6a0705d90c58682bd0c5f2f25b2

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Запорожский государственный университет им. Н. М. Федоровского»
ЗГУ

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине

«МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА»

Факультет: ГТФ

Направление подготовки: 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»

Направленность (профиль): «Металлургические машины и оборудование»

Уровень образования: бакалавриат

Кафедра «Металлургии, машин и оборудования»
наименование кафедры

Разработчик ФОС:

К.э.н., доцент

(должность, степень, ученое звание)

(подпись)

Никоноров Л.В.

(ФИО)

Оценочные материалы по дисциплине рассмотрены и одобрены на заседании кафедры, протокол № 11 от « 10 » 06 2026 г.

И.о. заведующего кафедрой к.т.н., доцент Лаговская Е.В.

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю),
соотнесенных с планируемыми результатами образовательной программы**

Таблица 1 – Компетенции и индикаторы их достижения

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения
ОПК-1: Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности	ОПК-1.1: Способен применять методы математического анализа в профессиональной деятельности
	ОПК-1.2: Способен применять естественнонаучные знания в профессиональной деятельности
	ОПК-1.3: Способен применять общетехнические знания в профессиональной деятельности

Таблица 2 – Паспорт фонда оценочных средств

Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Формируемая компетенция	Наименование оценочного средства	Показатели оценки
Основные понятия гидромеханики	ОПК-1	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Свойства жидкостей и газов	ОПК-1	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Вязкость жидкостей и газов; зависимость вязкости от давления и температуры; индекс вязкости	ОПК-1	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Основы гидродинамики	ОПК-1	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Истечение жидкостей из отверстий и насадков	ОПК-1	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста

Критерии подобия в гидравлике: число Рейнольдса; число Маха; число Струхала и др	ОПК-1	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Зачет	ОПК-1	Решение всех тестовых заданий по темам	Решение всех тестовых заданий по темам

1. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие процесс формирования компетенций

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, представлены в виде технологической карты дисциплины (таблица 3).

Таблица 3 – Технологическая карта

	Наименование оценочного средства	Сроки выполнения	Шкала оценивания	Критерии оценивания
<i>Промежуточная аттестация в 5 семестре в форме «Зачет»</i>				
	Тестовые задания	В течение обучения по дисциплине	от 0 до 5 баллов	Зачет/Незачет
ИТОГО:		-	___ баллов	-

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие процесс формирования компетенций в ходе освоения образовательной программы

ОПК-1 (применение естественнонаучных и общетехнических знаний, методов математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности). Вопросы ориентированы на понимание физической сущности процессов и математическое описание поведения жидких и газообразных сред.

Уровень 1. Базовый (10 вопросов)

1. Задание комбинированного типа (выбор одного верного ответа и обоснование)

Какая математическая модель жидкости лежит в основе классических уравнений Навье-Стокса для моделирования течений в промышленных трубопроводах?

- А) Идеальная (невязкая) жидкость
- Б) Аномально-вязкая жидкость
- В) Ньютоновская вязкая жидкость (линейная связь напряжений и скоростей деформаций)
- Г) Сжимаемый совершенный газ

Ответ: В

Обоснование: Уравнения Навье-Стокса выводятся на основе закона вязкого трения Ньютона, где

касательное напряжение $\tau = \mu \times (dv/dy)$. Эта линейная зависимость между тензором напряжений и тензором скоростей деформаций является фундаментальной математической моделью для подавляющего большинства инженерных задач гидравлики (вода, масла, воздух при малых скоростях).

2. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между физическим свойством жидкости и его математическим обозначением/единицей измерения в СИ, критичным для расчетов:

1. Динамическая вязкость
2. Плотность
3. Коэффициент поверхностного натяжения
А) кг/м^3
Б) $\text{Па} \times \text{с}$ ($\text{Н} \times \text{с/м}^2$)
В) Н/м

Ответ: 1-Б, 2-А, 3-В

3. Задание закрытого типа на установление последовательности

Установите правильную последовательность этапов математического вывода уравнения Бернулли для элементарной струйки идеальной жидкости из уравнений Эйлера:

- А) Интегрирование вдоль линии тока для установившегося течения
- Б) Запись системы дифференциальных уравнений движения в проекциях на оси координат (уравнения Эйлера)
- В) Умножение каждого уравнения на соответствующее приращение координат (dx , dy , dz) и их почленное суммирование
- Г) Получение суммы трех интегралов: скоростного напора, пьезометрической высоты и нивелирной высоты, равной константе

Ответ: Б $\rightarrow$ В $\rightarrow$ А $\rightarrow$ Г

4. Задание открытого типа с развернутым ответом

Объясните, почему капли воды на раскаленной плите принимают почти сферическую форму и не смачивают поверхность (эффект Лейденфроста), используя понятия поверхностного натяжения и давления насыщенных паров.

Ответ:

Сферическая форма объясняется минимизацией энергии — сила поверхностного натяжения σ стремится придать жидкости форму с минимальной площадью поверхности (шар). Отсутствие смачивания вызвано эффектом Лейденфроста: при контакте с сильно перегретой поверхностью нижний слой жидкости мгновенно испаряется, создавая паровую прослойку под давлением $P_{\text{нас}}$. Эта «газовая подушка» изолирует каплю от твердой стенки, и она левитирует, не касаясь твердого тела, а сила тяжести уравновешивается поверхностным натяжением и давлением пара.

5. Задание комбинированного типа (выбор одного верного ответа и обоснование)

В гидросистеме высокого давления (пресс) используется минеральное масло. Какая зависимость вязкости от давления учитывается в расчетах утечек через зазоры золотниковых пар?

- А) Вязкость не зависит от давления
- Б) С ростом давления вязкость экспоненциально возрастает
- В) С ростом давления вязкость линейно падает
- Г) Зависимость только от температуры

Ответ: Б

Обоснование: Вязкость минеральных масел сильно зависит от давления согласно барометрической формуле: $\mu_p = \mu_0 \times e^{(\alpha \times p)}$, где α — пьезокоэффициент вязкости. При давлениях свыше 30 МПа это приводит к резкому загустеванию масла, что меняет режим течения в зазорах и влияет на утечки, и это обязательно вводится в математическую модель гидропривода.

6. Задание комбинированного типа (выбор нескольких вариантов и развернутое обоснование)

На лабораторной работе по гидравлике измеряется скорость жидкости. Какие физические принципы (уравнения) могут лежать в основе математического расчета расхода по перепаду давления в трубке

Вентури?

А) Закон Гука

Б) Уравнение Бернулли (закон сохранения энергии)

В) Уравнение неразрывности (закон сохранения массы)

Г) Уравнение Фурье (теплопроводность)

Ответ: Б, В

Обоснование: В трубке Вентури (сужающее устройство) поток ускоряется в узком сечении, и давление падает. Математическая модель основана на совместном решении двух фундаментальных законов: уравнения Бернулли (для связи скорости и давления, $p/\rho g + v^2/2g = \text{const}$) и уравнения постоянства расхода ($v_1 S_1 = v_2 S_2$). Это позволяет исключить скорость и получить расчетную формулу для расхода Q .

7. Задание открытого типа с развернутым ответом

Что такое «идеальная жидкость» в гидравлике с точки зрения математического моделирования? Почему выводы из модели идеальной жидкости дают парадокс при расчете сопротивления тела в потоке (парадокс Даламбера)?

Ответ:

Идеальная жидкость — это математическая модель среды, лишенная вязкости ($\mu=0$) и теплопроводности, в которой напряжения всегда нормальны к площадке и отсутствуют касательные напряжения трения.

Парадокс Даламбера заключается в том, что при установившемся обтекании тела идеальной жидкостью (потенциальное течение) равнодействующая сил давления на поверхность тела равна нулю (сопротивление формы отсутствует). Это противоречит опыту, так как в реальности всегда есть вязкий пограничный слой, отрыв потока и образование вихревой дорожки, что и создает сопротивление.

8. Задание закрытого типа на установление соответствия

Соотнесите число (критерий) подобия в гидромеханике с его физическим смыслом (отношением сил), используемым при моделировании технологических процессов:

1. Число Рейнольдса (Re)

2. Число Маха (M)

3. Число Эйлера (Eu)

А) Отношение сил давления к силам инерции (безразмерный перепад)

Б) Отношение скорости потока к местной скорости звука (сжимаемость)

В) Отношение сил инерции к силам вязкого трения

Ответ: 1-В, 2-Б, 3-А

9. Задание открытого типа с развернутым ответом

Опишите разницу в поведении вязкости (μ) «ньютоновской» и «дилатантной» жидкостей при росте градиента скорости сдвига (dv/dy). Приведите пример дилатантной жидкости, встречающейся в металлургическом производстве.

Ответ:

У ньютоновской жидкости вязкость μ постоянна, касательное напряжение τ линейно растет с градиентом скорости.

У дилатантной жидкости вязкость увеличивается с ростом градиента скорости сдвига (жидкость «загустевает» при быстром перемешивании). Пример в металлургии: концентрированные водные суспензии мелкодисперсного шлама или глины, а также некоторые шликерные массы, используемые в литейном производстве для изготовления форм. При быстрой заливке они могут вести себя почти как твердое тело.

10. Задание комбинированного типа (выбор одного верного ответа и обоснование)

Газ движется по трубе с очень высокой скоростью (свыше 300 м/с). Какое допущение классической гидравлики становится неприменимым при построении математической модели?

А) Наличие вязкости

Б) Несжимаемость (постоянство плотности)

В) Наличие силы тяжести

Г) Турбулентность потока

Ответ: Б

Обоснование: При скоростях, сопоставимых со скоростью звука ($M > 0.3$), изменение давления вызывает значительное изменение плотности (сжатие/расширение). Допущение о несжимаемости ($\rho = \text{const}$) приводит к грубым ошибкам в расчете импульса и расхода. Необходимо использовать уравнения газовой динамики, учитывающие уравнение состояния ($p = \rho RT$) и зависимость ρ от p .

Уровень 2. Средний (10 вопросов)

11. Задание комбинированного типа (выбор одного ответа + обоснование расчета)

Необходимо перекачивать мазут марки М100 с вязкостью $\nu = 80$ сСт ($80 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$) по трубе диаметром $d = 200$ мм. Расход $Q = 0.04 \text{ м}^3/\text{с}$. Определите число Рейнольдса и укажите режим течения.

- А) $Re \approx 640$ (ламинарный)
- Б) $Re \approx 1600$ (переходный)
- В) $Re \approx 3200$ (турбулентный)
- Г) $Re \approx 5000$ (турбулентный)

Ответ: Б ($Re \approx 1600$)

Расчет:

1. Площадь трубы: $A = \pi d^2 / 4 = 3.14 \times (0.2)^2 / 4 = 0.0314 \text{ м}^2$.
2. Скорость: $V = Q / A = 0.04 / 0.0314 \approx 1.27 \text{ м/с}$.
3. Число Рейнольдса: $Re = V \times d / \nu = 1.27 \times 0.2 / (80 \times 10^{-6}) = 0.254 / 0.00008 = 3175$.
*Корректировка расчета с округлением: $V = 1.27 \text{ м/с}$, $Re = 3175$. Это турбулентный режим ($Re > 2320$). * Ответ В.

12. Задание закрытого типа на установление соответствия

Соотнесите вид местного гидравлического сопротивления в металлургических газоходах с принятой математической формулой для расчета потерь напора (по Вейсбаху):

1. Внезапное расширение потока
2. Поворот (колени)
3. Диафрагма (сужение измерительное)
 - А) $\Delta h = \zeta_{\text{пов}} \cdot (V^2 / 2g)$, где $\zeta_{\text{пов}} = f(\text{угла}, R/d)$
 - Б) $\Delta h = (V_1 - V_2)^2 / 2g$ (теорема Борда-Карно)
 - В) $\Delta h = \zeta_{\text{диаф}} \cdot (V^2 / 2g)$, где ζ зависит от степени сжатия потока (модуля m)

Ответ: 1-Б, 2-А, 3-В

13. Задание открытого типа с развернутым ответом (расчетная задача)

Для системы пылеочистки требуется рассчитать скорость истечения воздуха из отверстия в тонкой стенке, если показание спиртового микроманометра (плотность спирта 800 кг/м^3) составляет 50 мм. Плотность воздуха 1.2 кг/м^3 . Коэффициент расхода отверстия $\mu_{\text{расх}} = 0.62$. Ускорение свободного падения $g = 9.8 \text{ м/с}^2$.

Ответ:

1. Избыточное давление перед отверстием: $\Delta P = \rho_{\text{сп}} \cdot g \cdot h = 800 \times 9.8 \times 0.05 = 392 \text{ Па}$.
2. Теоретическая скорость истечения из формулы Торричелли: $V_{\text{теор}} = \sqrt{(2 \times \Delta P / \rho_{\text{возд}})} = \sqrt{(2 \times 392 / 1.2)} = \sqrt{(784 / 1.2)} = \sqrt{653.3} \approx 25.56 \text{ м/с}$.
3. Действительная скорость: $V_{\text{действ}} = \phi \times V_{\text{теор}}$. Так как для идеального отверстия $\phi \approx \mu$, $V_{\text{действ}} = 0.62 \times 25.56 \approx 15.8 \text{ м/с}$ (используется коэффициент расхода, хотя для скорости корректнее коэффициент скорости $\phi \approx 0.97$ для отверстия; задача проверяет понимание разницы). Если строго: $V_{\text{действ}} = \phi V_{\text{теор}} \approx 0.97 \times 25.56 = 24.8 \text{ м/с}$. Расход $Q = \mu \times A \times V_{\text{теор}}$.

14. Задание комбинированного типа (выбор нескольких вариантов + развернутое обоснование)

При математическом моделировании процесса обтекания здания заводоуправления ветром необходимо соблюсти критерий подобия по числу Рейнольдса. Какие параметры физической модели можно варьировать, чтобы достичь подобия, если размер модели уменьшен в 50 раз?

- А) Скорость воздушного потока в аэродинамической трубе
- Б) Давление и температуру воздуха в трубе
- В) Материал модели здания
- Г) Кинематическую вязкость воздуха (путем замены воздуха на фреон)
- Д) Шероховатость поверхности модели

Ответ: А, Б, Г

Обоснование: $Re = V \times L / \nu$. При уменьшении размера L в 50 раз нужно компенсировать изменение: увеличить скорость V (А), либо уменьшить кинематическую вязкость ν . Вязкость можно изменить, изменив давление и температуру (Б) или заменив рабочую среду (Г — например, использование хладагента с низкой вязкостью или воды). Материал модели (В) не влияет на Re , а шероховатость (Д) — отдельный критерий подобия.

15. Задание комбинированного типа (выбор одного ответа + обоснование)

При истечении жидкости через цилиндрический насадок (насадок Борда) происходит сжатие струи внутри. За счет какого физического эффекта коэффициент расхода μ для внешнего цилиндрического насадка (0.82) больше, чем у отверстия в тонкой стенке (0.62)?

- А) В насадке нет сопротивления
- Б) В насадке образуется вакуум в зоне сжатия, который «подсасывает» жидкость из резервуара
- В) Насадок имеет больший диаметр
- Г) В насадке жидкость не смачивает стенки

Ответ: Б

Обоснование: При входе в насадок струя сужается, затем расширяется. В кольцевой зоне между сжатой струей и стенкой образуется вихревая область с пониженным давлением (вакуум). Этот вакуум создает дополнительный перепад давления, увеличивая пропускную способность насадка по сравнению с простым отверстием того же диаметра.

16. Задание закрытого типа на установление последовательности

Установите последовательность вывода формулы для силы давления жидкости на плоскую стенку резервуара:

- А) Интегрирование элементарных сил по смоченной площади S
- Б) Нахождение положения центра давления (точки приложения равнодействующей)
- В) Запись выражения для элементарной силы $dF = (p_0 + \rho gh) \times dS$
- Г) Использование связи гидростатического давления с глубиной

Ответ: Г → В → А → Б

17. Задание открытого типа с развернутым ответом

В магистрали сжатого воздуха происходит скачок уплотнения (прямой скачок). Используя законы сохранения массы, импульса и энергии, докажете, что давление за скачком возрастает, а скорость падает, и назовите, какому критерию подобия соответствует режим со скачком.

Ответ:

Скачок уплотнения — это ударная волна в сверхзвуковом потоке ($M > 1$). Из уравнения неразрывности $\rho_1 v_1 = \rho_2 v_2$, учитывая, что плотность резко растет ($\rho_2 > \rho_1$), скорость падает ($v_2 < v_1$). Из уравнения сохранения импульса следует рост давления $p_2 > p_1$. Энтропия возрастает, полное давление падает. Режим характеризуется **числом Маха** ($M > 1$). Возникновение скачка при $M > 1$ — фундаментальное свойство сжимаемой среды, моделируемое уравнениями Ренкина-Гюгонио.

18. Задание комбинированного типа (выбор нескольких вариантов + развернутое обоснование)

В трубопроводе для перекачки жидкого чугуна возникла кавитация. Какие математические условия, согласно числу кавитации (σ), и физические факторы необходимы для ее возникновения?

- А) Местное давление в потоке $P_{\text{потока}}$ становится равным или ниже давления насыщенных паров жидкости $P_{\text{нп}}$
- Б) Число Рейнольдса $Re < 2300$

- В) Высокая температура перекачиваемой жидкости, приближающая ее к кипению
Г) Наличие сужений, где скорость резко возрастает, а давление падает (закон Бернулли)
Д) Отсутствие внешних утечек

Ответ: А, В, Г

Обоснование: Кавитация — это холодное вскипание жидкости из-за падения давления. Условие: $P_{\text{потока}} \leq P_{\text{нп}}$ (А). Согласно Бернулли, в сужениях скорость растет, давление падает (Г). Чем горячее жидкость, тем выше $P_{\text{нп}}$ и тем легче достичь кавитации (В). Re (Б) определяет характер течения, а не фазовый переход. Отсутствие утечек (Д) не связано с разрывом сплошности среды.

19. Задание открытого типа с развернутым ответом (расчетная задача)

Определить силу давления воды на вертикальный прямоугольный щит шириной $b = 2$ м. Высота воды перед щитом $h = 3$ м. Плотность воды $\rho = 1000$ кг/м³.

Ответ:

1. Гидростатическое давление распределяется по закону треугольника. Равнодействующая сила давления жидкости $F = p_c \times S$.
2. Давление в центре тяжести смоченной поверхности $p_c = \rho \times g \times h_c$. Центр тяжести находится на середине высоты: $h_c = 3 / 2 = 1.5$ м.
 $p_c = 1000 \times 9.8 \times 1.5 = 14\,700$ Па.
3. Площадь щита $S = b \times h = 2 \times 3 = 6$ м².
4. Сила давления $F = 14\,700 \times 6 = 88\,200$ Н (≈ 88.2 кН).
5. Точка приложения (центр давления) находится на глубине $h_d = 2/3 \times h = 2$ м от поверхности.

20. Задание комбинированного типа (выбор одного ответа + обоснование расчета)

Для моделирования обтекания автомобильного кузова масштаб модели 1:20. В аэродинамической трубе достигнут критерий подобия Re . Какова должна быть скорость потока в трубе V_m , если скорость реального автомобиля $V_n = 100$ км/ч, и используется та же среда (воздух, $\nu_m = \nu_n$)?

- А) 100 км/ч
Б) 2000 км/ч (сверхзвук)
В) 5 км/ч
Г) 500 км/ч

Ответ: Б

Обоснование: Из равенства $Re: V_m \times L_m / \nu = V_n \times L_n / \nu$.

$$V_m = V_n \times (L_n / L_m) = 100 \text{ км/ч} \times 20 = 2000 \text{ км/ч.}$$

Это показывает проблему моделирования крупных объектов в воздухе: достичь полного подобия Re механически невозможно (скорость становится гиперзвуковой и меняется модель газа, добавляется сжимаемость). На практике прибегают к моделированию с частичным подобием (автомодельность по Re).

Уровень 3. Высокий (5 вопросов)

21. Задание открытого типа (комплексный анализ и синтез)

Проектируется газоотводящий тракт от дуговой сталеплавильной печи (ДСП). Газ имеет высокую температуру (1200°C) и содержит пыль. При резком охлаждении стенок зимой возможно выпадение конденсата кислот. Как связаны число Рейнольдса, вязкость газа при высоких температурах и выбор скорости в газоходе для обеспечения самоочищения от пыли? Обоснуйте математически.

Ответ:

Скорость витания частиц пыли определяется из условия равновесия сил аэродинамического сопротивления и тяжести. Критическая скорость транспортирования (во избежание забивания газохода) должна быть в 1.5–2 раза выше скорости витания.

При высокой температуре динамическая вязкость газов (μ) растет пропорционально $T^{0.7}$ (закон Сазерленда). Это ведет к росту числа Re , но для мелких частиц (ламинарный режим обтекания) сила сопротивления по Стоксу прямо пропорциональна μ .

Следовательно, при одинаковой скорости горячий газ увлекает частицы лучше, чем холодный, так как сила лобового сопротивления $F = 3\pi \times \mu \times d \times V$ растёт. Это даёт парадоксальный для новичка вывод: при пуске холодного тракта (μ мала) скорость должна быть выше, чтобы избежать осаждения пыли, чем при горячей работе, что обязательно закладывается в математическую модель пусковых режимов.

22. Задание комбинированного типа (выбор одного ответа + развернутое аналитическое обоснование)

При математическом моделировании турбулентного потока в фурме используются «уравнения Рейнольдса» (RANS). Какая математическая проблема возникает при осреднении уравнений Навье-Стокса, порождающая необходимость в моделях турбулентности (k-ε, k-ω SST)?

- А) Неизвестно давление
- Б) Появляется тензор рейнольдсовых напряжений, содержащий дополнительные неизвестные (проблема замыкания)
- В) Уравнения становятся непригодными для газа
- Г) Исчезает вязкость

Ответ: Б

Обоснование: При осреднении по Рейнольдсу нелинейные конвективные члены порождают дополнительные слагаемые — Рейнольдсовы напряжения ($-\rho \times \langle u_i' u_j' \rangle$). Это шесть новых неизвестных компонент симметричного тензора. Система уравнений движения становится незамкнутой (число неизвестных превышает число уравнений). Для ее замыкания применяются полуэмпирические модели турбулентности, связывающие турбулентные напряжения с полями средней скорости, что является классической задачей вычислительной гидродинамики (CFD).

23. Задание открытого типа (расчетно-аналитическая задача)

В трубе Вентури измеряется расход воды. Известны диаметры: $D_1 = 100$ мм, $D_2 = 50$ мм. Показание дифференциального манометра $\Delta h = 200$ мм рт. ст. ($\rho_{\text{рт}} = 13600$ кг/м³). Теоретический расход без учета потерь равен 12 л/с, но фактический расход составляет 11.4 л/с. Вычислите коэффициент расхода μ прибора и объясните физическую причину, почему он меньше 1, задействовав понятие отрывных зон.

Ответ:

1. Коэффициент расхода $\mu = Q_{\text{факт}} / Q_{\text{теор}} = 11.4 / 12.0 = 0.95$.
2. Физическая причина $\mu < 1$: В сужающейся части (конфузоре) потери минимальны благодаря благоприятному градиенту давления. Однако в расширяющейся части (диффузоре) положительный градиент давления приводит к отрыву пограничного слоя от стенок и образованию вихревых зон («мертвых» зон). Эти вихри рассеивают часть кинетической энергии потока, превращая ее в тепло. Это приводит к тому, что восстановление давления в диффузоре происходит не полностью, и перепад давления на самом деле чуть меньше теоретического, что и компенсируется коэффициентом μ .

24. Задание закрытого типа на установление последовательности (стратегия гидродинамического расчета)

Расположите этапы расчета сложного технологического трубопровода подачи СОЖ (смазочно-охлаждающей жидкости) методом последовательных приближений:

- А) Определение режима течения (Re) и уточнение коэффициентов трения λ (по графику Никурадзе или формуле Кольбука)
- Б) Расчет полных потерь напора Σh и сравнение с располагаемым напором насоса
- В) Разбиение трубопровода на участки с постоянным диаметром и расходом
- Г) Предварительное назначение диаметров труб из условия экономической скорости
- Д) Вычисление суммы местных потерь и потерь по длине (Дарси-Вейсбах)

Ответ: В → Г → А → Д → Б

25. Задание открытого типа (синтез и доказательство)

При продувке металла кислородом в конвертере через фурму подается газ под высоким давлением. На срезе сопла Лаваля реализуется сверхзвуковой режим истечения. Докажите, опираясь на закон обращения воздействия (геометрическое и тепловое воздействие), почему для увеличения скорости сверхзвукового потока на срезе сопла необходимо увеличить степень расширения сопла (отношение $F_{\text{среза}} / F_{\text{крит}}$), а не просто поднять давление в ресивере.

Ответ:

Согласно уравнению неразрывности для одномерного сопла (уравнение Гюгонио) в форме связи геометрии и числа Маха: $dF/F = (M^2 - 1) \times dV/V$.

Для дозвукового потока ($M < 1$) сужение канала ($dF < 0$) ведет к ускорению ($dV > 0$).

Для сверхзвукового потока ($M > 1$) скобка ($M^2 - 1$) положительна. Следовательно, ускорение потока ($dV > 0$) требует увеличения площади сечения ($dF > 0$).

Если просто поднять давление в ресивере, не меняя геометрию сопла, на срезе изменится давление (возникнет перерасширение или недорасширение), но скорость потока не сможет значительно возрасти, так как она лимитирована геометрической степенью расширения сопла. Математически из газодинамической функции $q(\lambda)$ скорость жестко привязана к отношению площадей $A/A_{\text{крит}}$ для адиабатического течения. Это фундаментальное свойство сверхзвуковых течений.