



Сибирская пожарно-спасательная академия

Кафедра пожарной и аварийно-спасательной техники

Практическое занятие

Тема № 9.2

«Истечение жидкостей через отверстия и насадки»

ЛИТЕРАТУРА

ОСНОВНАЯ:

1. Ю.Г. Абросимов, В.В. Жучков, Е.Н. Болдырев, А.А. Пименов, Ю.Л. Карасев ГИДРАВЛИКА: учебник: Академия ГПС МЧС России, Москва 2017 – 312 с.
Гриф: *Допущено МЧС России в качестве учебника для курсантов, студентов и слушателей образовательных организаций МЧС России*
Режим доступа: *Электронная Библиотека МЧС России*
2. Гидравлика: Учеб. Пособие / В.А. Кудинов, Э.М. Карташов 3-е изд., стер.- М.: Высшая школа, 2008. 199 с
3. Сборник задач по курсу гидравлики с решениями: Учеб. пособие для ВУЗов / В.Н. Метревели.- 2-е изд., стер.-М.: Высш. Шк., 2008.- 192 с.

ЛИТЕРАТУРА

ОСНОВНАЯ:

4. Ю.Г. Баскин, В.В. Подмарков, Е.С. Иванова, А.М. Филановский / СБОРНИК ЗАДАЧ по гидравлике. / СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2015.
5. В.П. Малый ПРАКТИКУМ ПО ГИДРАВЛИКЕ: Учебное пособие / Малый В.П., Масаев В.Н. – Железногорск: ФГБОУ ВО СПСА ГПС МЧС России, 2017. – 121 с. –
Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/912712>
6. Малашкина Валентина Александровна ГИДРАВЛИКА. Учебное пособие для проведения практических занятий и самостоятельной работы студентов / Малашкина В.А., – 2-е изд., стер. – М.: Горная книга, 2012. – 102 с.: ISBN 978-5-98672-127-9 -
Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/994442>

ЛИТЕРАТУРА

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ :

1. Юдаев Василий Федорович ГИДРАВЛИКА: учеб. пособие / В. Ф. Юдаев. – М.: ИНФРА-М, 2018. – 301 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). –

www.dx.doi.org/10.12737/textbook_58eb3186a6c224.2782521.

– Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/967866>

2. Карама Е.А. «ГИДРАВЛИКА В ПОЖАРНОМ ДЕЛЕ»:

Учебное пособие. – Екатеринбург: УрИ ГПС МЧС России, 2012.
– 113 с.

3. Плаксицкий А.Б., Кочегаров А.В., Конорев Д.В.

СПРАВОЧНИК ПО ГИДРАВЛИКЕ.

Издательство ФГБОУ ВО ВИ ГПС МЧС России, Воронеж 2017

г.

УЧЕБНЫЕ ВОПРОСЫ:

ЧАСТЬ 1

1. Истечение жидкости из малого отверстия в тонкой стенке.
2. Типы насадок. Внешний цилиндрический насадок. Вакуум в цилиндрическом насадке.
3. Практическое применение насадок.
4. Особенности опорожнения резервуаров при переменном напоре.

ЧАСТЬ 2

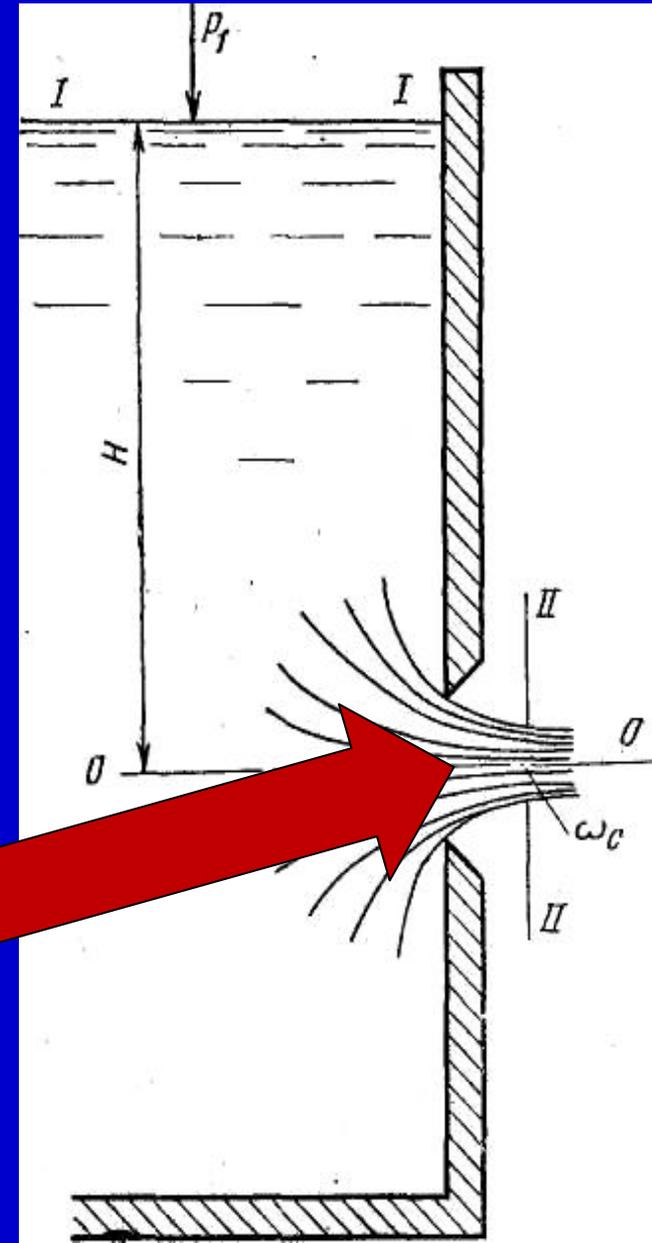
5. Контрольные вопросы
6. Тестирование
7. Решение задач

Истечение жидкости из круглого отверстия в тонкой стенке

Малое отверстие - такое отверстие, наибольший размер которого в 10 раз меньше уровня его заглубления в жидкости H .

Тонкая стенка - внутренние края отверстия скошены под острым углом; толщина стенки не влияет на условия истечения струи.

Имеют место только местные потери напора на внезапное сужение потока



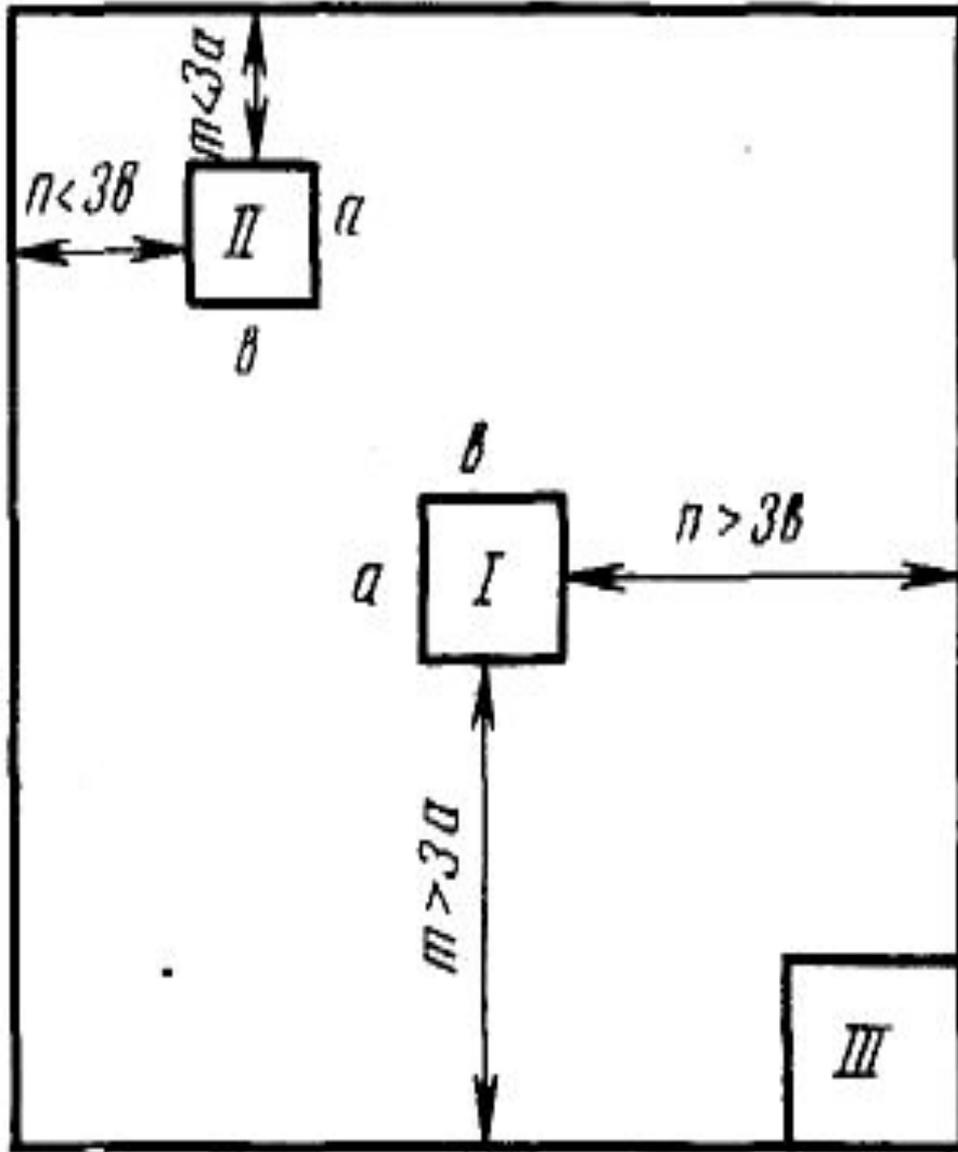
В наиболее близко расположенном к отверстию на расстоянии $0,5 d$ сечении струи II – II, в котором движение струи после искривления приобретает параллельно-струйный характер, называется сжатым.

Отношение площади сжатого сечения ω_c к площади отверстия ω называется коэффициентом сжатия:

$$\varepsilon = \frac{\omega_c}{\omega}$$

Для малого круглого отверстия в тонкой стенке $\varepsilon = 0,64$.

СОВЕРШЕННОЕ СЖАТИЕ $m > 3a$; $n > 3b$.



Виды сжатия при
различном
расположении
отверстий:

I – совершенное
полное;

II – несовершенное
полное;

III – несовершенное
неполное

После преобразования уравнения Бернулли для двух сечений: I-I (уровень свободной поверхности) и II-II (сжатое сечение), O-O через центр тяжести отверстия

Скорость в сжатом сечении II-II :

$$V_2 = \varphi \sqrt{2gH_0}$$

φ - коэффициент скорости (для малого отверстия в тонкой стенке при $\xi_{отв} = 0,06$ составляет $\varphi = 0,97$.

$\xi_{отв}$ - коэффициент сопротивления отверстия

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_{отв}}}$$

Расход жидкости из отверстия:

$$Q = \omega_2 V_2 = \varepsilon \omega V_2$$

подставляя значение скорости:

μ_0 - коэффициент расхода

$$Q = \varepsilon \omega \varphi \sqrt{2gH_0} = \mu_0 \omega \sqrt{2gH}$$

$$\mu_0 = \varepsilon \varphi$$

$$Q = \mu_0 \omega \sqrt{2gH}$$

(9.4)

Определение дальности полета струи, высоты падения струи

Струя, выходя из отверстия, движется

1. равномерно: $L = v t$ $V_2 = \varphi \sqrt{2gH_0}$

L – дальность полета струи;

2. равноускоренно: $Z = gt^2/2$

Z – высота падения струи;

Отсюда: $t = \sqrt{2z/g}$, подставляя в формулу для L :

$$Z = L^2/4\varphi^2H$$

H – напор (заглубление отверстия под уровень свободной поверхности)

__Типы насадков. Внешний цилиндрический насадок. Вакуум в цилиндрическом насадке.

Насадок -
присоединенный к
отверстии отрезок
трубы длиной 3-4 d

Типы насадков:

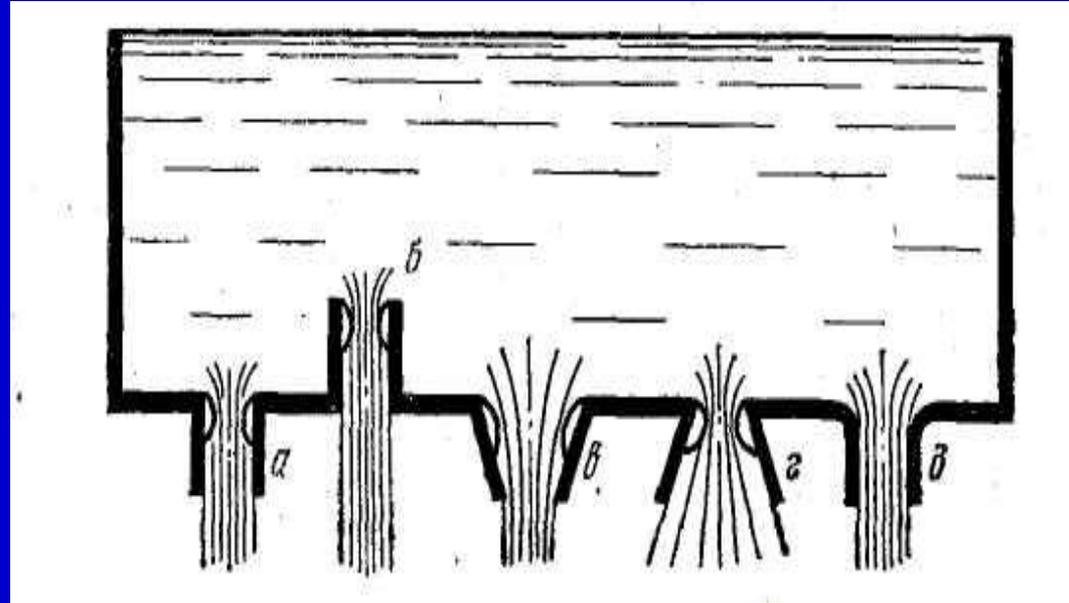
а- цилиндрический
внешний;

б - цилиндрический
внутренний;

в - конический
сходящийся;

г - конический
расходящийся;

д - коноидальный



$$v = \varphi \sqrt{2gH}$$

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_H}}$$

$$Q = \mu_0 \varphi \sqrt{2gH}$$

Цилиндрический внешний насадок

Давление на выходе из насадка равно атмосферному, скорость меньше чем в сжатом сечении.

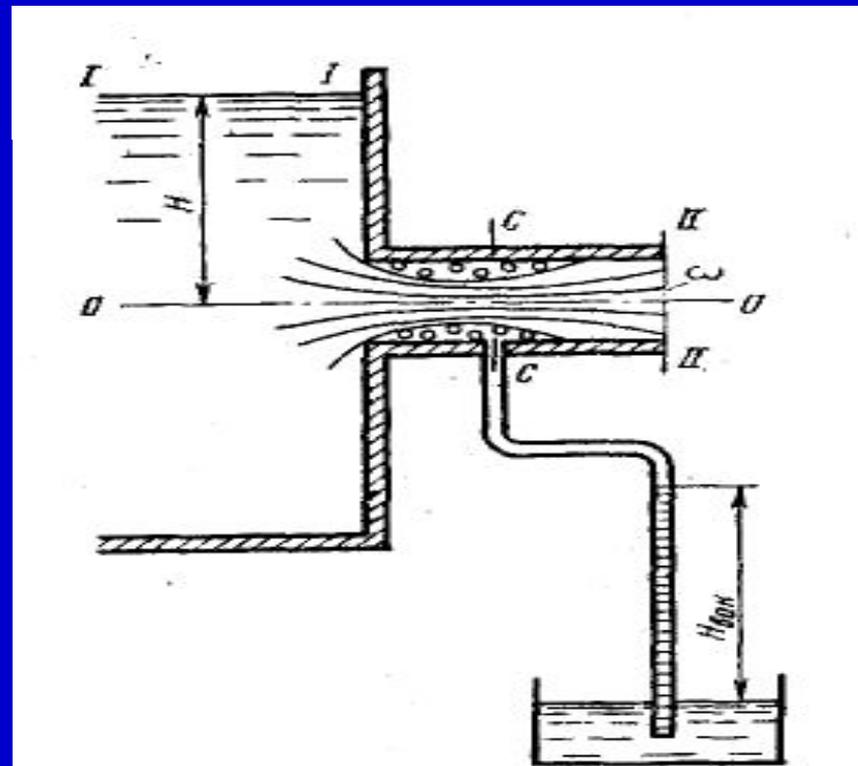
По уравнению Бернулли: давление в сжатом сечении (на расстоянии $0,5 d$) меньше атмосферного (вакуум)

$$\sum h = \xi_{m.c} \frac{v_c^2}{2g} + \xi_{в.р} \frac{v_2^2}{2g}$$

Для цилиндрического насадка:

$$\sum \xi_H = 0,5.$$

$$\varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + 0,5}} = 0,82 = \mu$$



μ

Сопоставляя значения коэффициентов истечения для цилиндрического насадка и отверстия в тонкой стенке, видно, что расход жидкости из насадка больше, чем из отверстия:

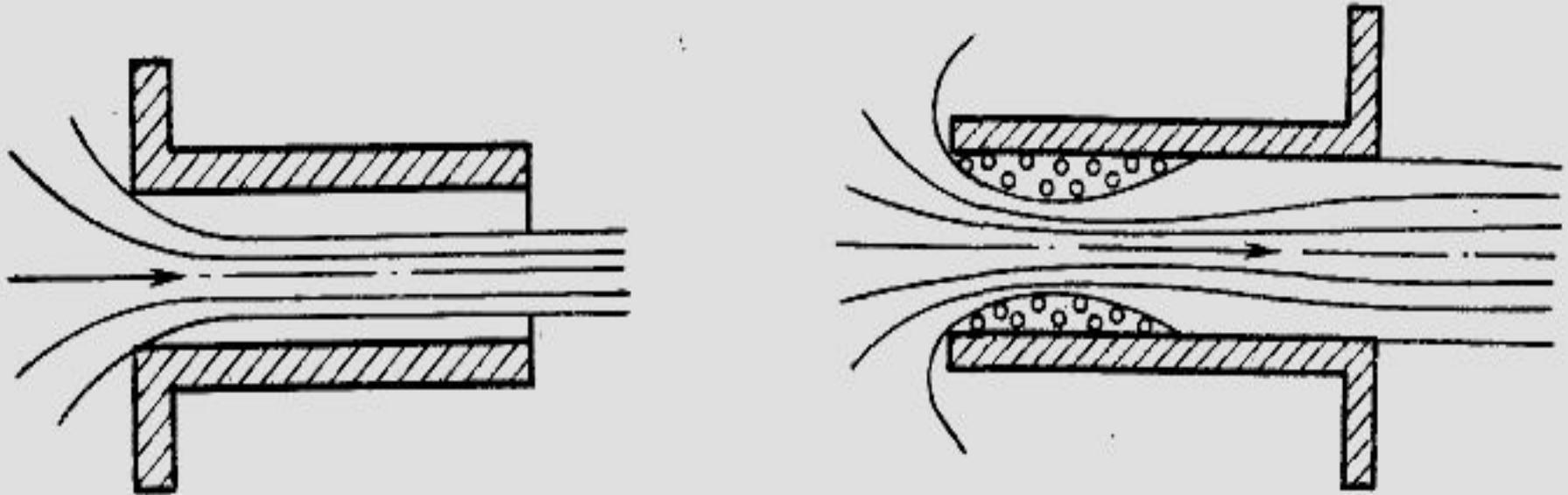
$$\frac{\mu_n}{\mu_{отв}} = \frac{0,82}{0,62} = 1,32$$

скорость истечения из цилиндрического насадка значительно меньше, чем при истечении из отверстия:

$$\frac{\varphi_n}{\varphi_{отв}} = \frac{0,82}{0,97} = 0,845$$

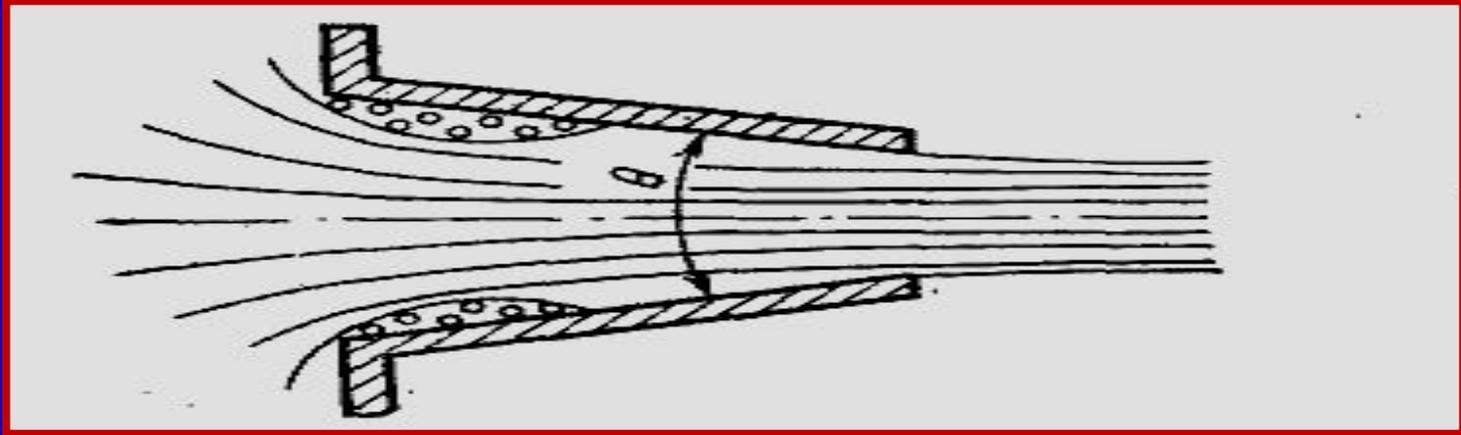
Внутренний цилиндрический насадок

Применяются редко, так как гидравлические сопротивления больше из-за большого сжатия струи на входе, вакуум и расход меньше



$$\mu_0 = \varphi = 0,71$$

Конический сходящийся насадок



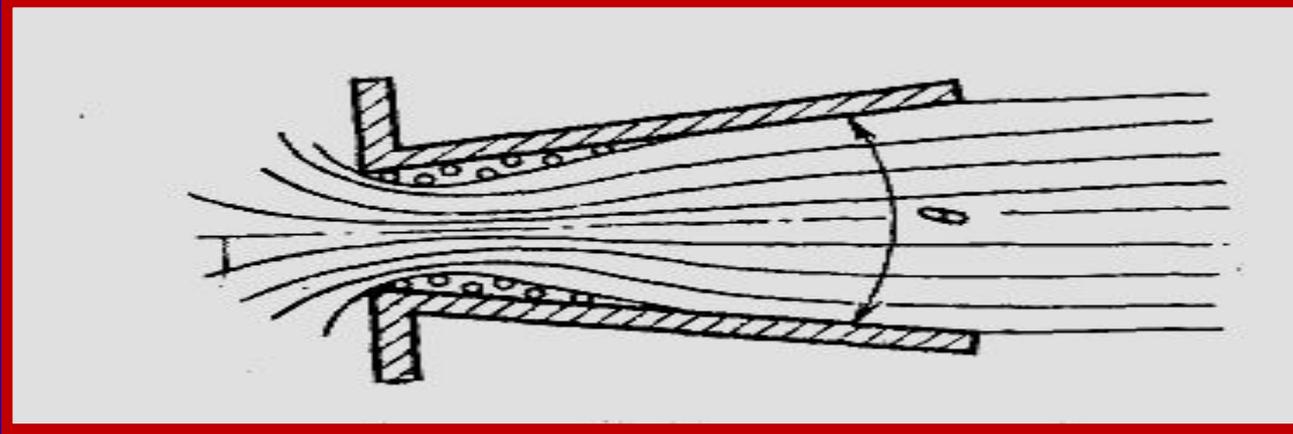
При углах конусности 12 - 14° (конфузоры)

$$\varepsilon = 0,98; \quad \varphi = 0,96; \quad \mu_0 = 0,94.$$

Внутреннего сжатия струи меньше, чем в цилиндрическом насадке, но появляется сжатие струи на выходе из насадка.

Насадки применяются когда необходимы большая скорость истечения, значительная дальность полета струи и большая сила ее удара (в пожарных стволах, гидромониторах и т. д.).

Конический расходящийся насадок



При углах конусности 6 - 8°(диффузоры)

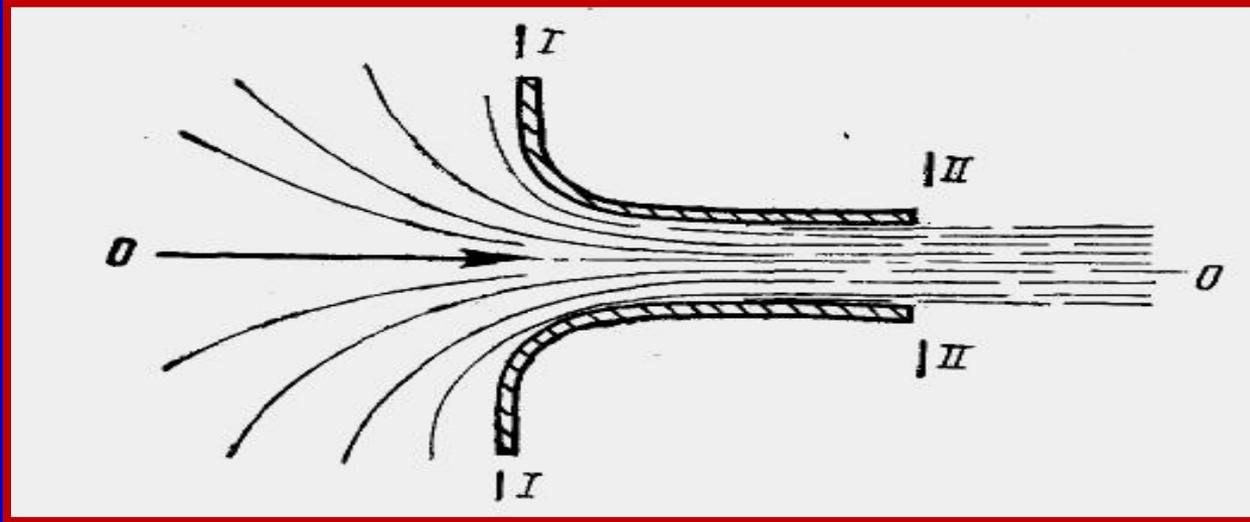
$$\varepsilon = 1; \quad \varphi = \mu_0 = 0,475$$

Расширение струи в насадке происходит более резко, чем в цилиндрическом, поэтому гидравлическое сопротивление больше, коэффициент скорости и расхода меньше.

**Насадки применяются в насосах,
гидроэлеваторах, где требуется**

минимизировать энергию в отводящем потоке

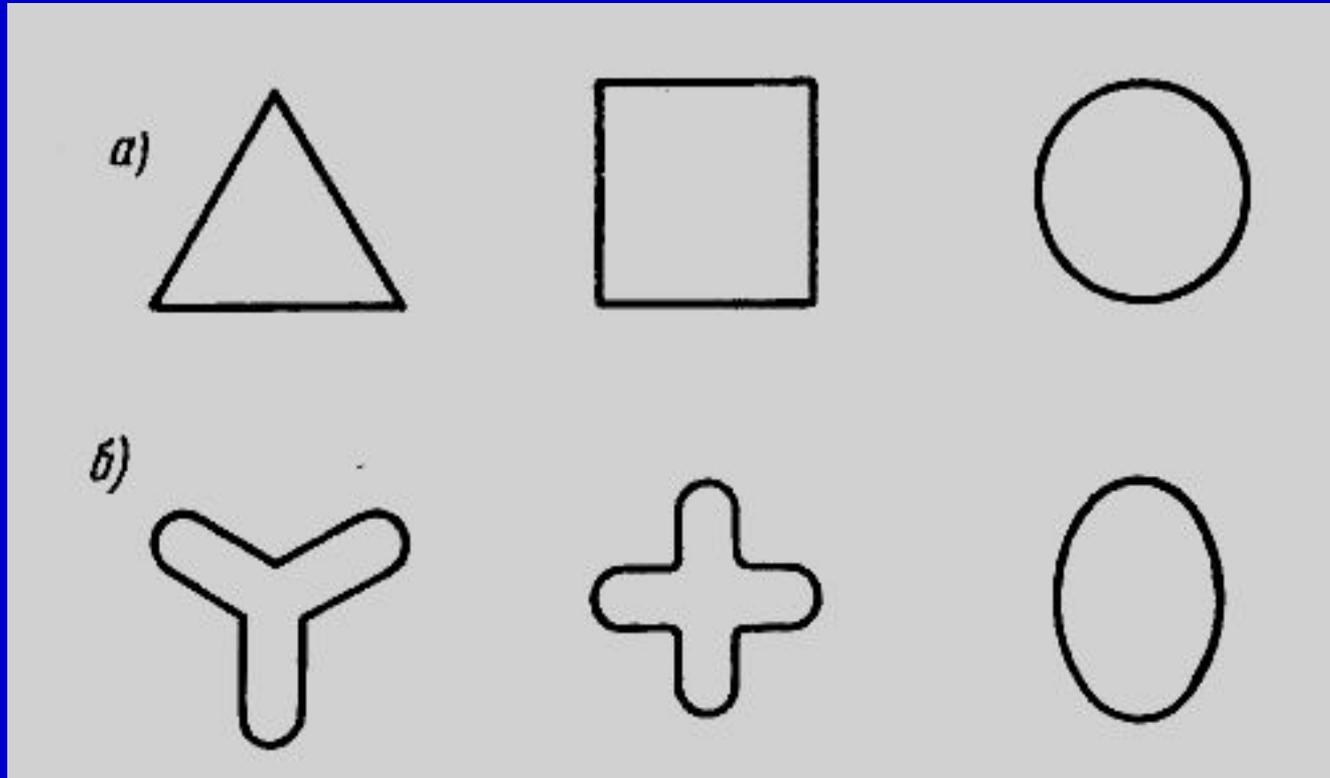
Конусидальный насадок



наименьшее сопротивление ($\phi = \mu_0 = 0,97 \div 0,99$), что способствует получению дальнобойных струй с большой начальной скоростью полета.

В насадке в 1,5 раза увеличивается расход жидкости по сравнению с расходом из отверстия. В пожарном деле применение не широкое из-за сложности изготовления насадка с плавным входом по форме струи

Инверсия струи

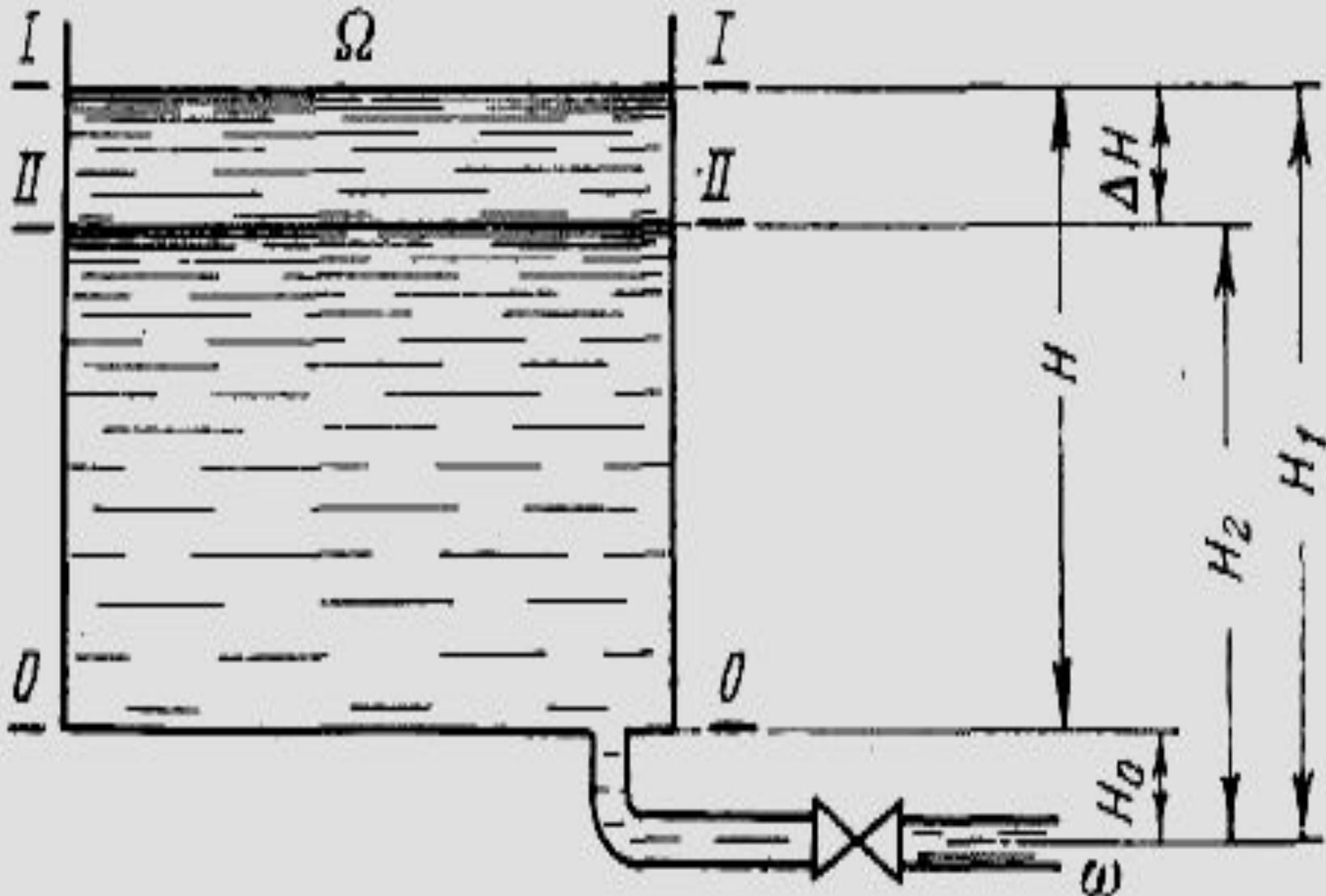


**Изменение формы струи при истечении из
отверстий под действием сил
поверхностного натяжения - инверсия**

Таблица коэффициентов для отверстий и различных типов насадок

Тип отверстия или насадка	ζ	ϵ	φ	μ_0
Круглое отверстие в тонкой стенке	0,06	0,64	0,97	0,62
Внешний цилиндрический насадок	0,50	1,00	0,82	0,82
Внутренний цилиндрический насадок	1,00	1,00	0,71	0,71
Конический сходящийся насадок, $\theta = 13^{\circ}24'$	0,09	0,98	0,96	0,94
Конический расходящийся насадок, $\theta = 5^{\circ}$	3,45	1,00	0,475	0,475
Конoidalный насадок	0,06	1,00	0,98	0,98

Опорожнение резервуаров при постоянном и переменном напоре



Время опорожнения резервуара емкостью W при начальном расходе Q в два раза больше времени истечения такого же количества жидкости при постоянном напоре H и расходе Q .

$$t_{оп} = \frac{2\Omega H}{\mu_c \omega \sqrt{2gH}} = \frac{2W}{Q}$$

$$t_{оп}^{пост} = \frac{W}{\mu_c \omega \sqrt{2gH}} = \frac{W}{Q}$$

$$t_{оп} = 2t_{оп}^{пост}$$

Контрольные вопросы

1. Что понимается под тонкой стенкой, малым отверстием.
2. Какие существуют виды сжатия струи при истечении из отверстий.
3. Какими коэффициентами характеризуется истечение жидкости из отверстий и какова между ними аналитическая связь.

Контрольные вопросы

4. Чем отличается формула расхода жидкости для незатопленного и затопленного отверстий.
5. Какая задача решается при опорожнении резервуаров и от каких факторов зависит ее решение.
6. Что называется насадком, назначение различных насадок.
7. При каких условиях образуется сжатое сечение при истечении из отверстий и насадок и на каком расстоянии от входа.
8. Назовите область применения цилиндрических и конически сходящихся насадок.

Тестирование

1. Какое отверстие принято считать малым:
 - а) размещенное в тонкой стенке;
 - б) размер которого в 10 раз меньше заглубления его в жидкость;
 - в) круглое отверстие малого диаметра;
 - г) в котором отсутствуют местные потери.

2. Какой вид сжатия из отверстия, примыкающего к боковой стенке резервуара:
 - а) полное и совершенное;
 - б) полное и несовершенное;
 - в) неполное и совершенное;
 - г) неполное и несовершенное.

Тестирование

3. Чем обусловлена инверсия струи:

- а) силой поверхностного натяжения;
- б) вязкостью;
- в) силой давления;
- г) силой тяжести.

2. Какой вид насадка дает более мощную струю:

- а) конический расходящийся;
- б) конический сходящийся;
- в) цилиндрический внешний;
- г) цилиндрический внутренний.

Тестирование

5. Как изменяется время опорожнения резервуара из отверстия с переменным напором по сравнению с опорожнением с постоянным напором:

- а) одинаковое;**
- б) в два раза меньше;**
- в) зависит от места расположения отверстия;**
- г) в два раза больше.**

Решение задач

Задача № 1

Вода вытекает из малого незатопленного отверстия при постоянном напоре H . Высота расположения отверстия над полом $Z = 1$ м, струя достигает пол на расстоянии $l = 1,2$ м. Диаметр d мм = 50 мм, $\varphi = 0,97$, $\mu = 0,62$.

Определить расход воды Q .

Рекомендации: определить 1. H через дальность полета струи, 2. Q по известной формуле для отверстий

Задача № 2

Определить расход воды Q и скорость ее истечения v через круглое незатопленное отверстие диаметром $d = 200$ мм, если $H = 4$ м, $\varphi = 0,97$, $\mu = 0,62$.

Рекомендации: определить 1. v скорость истечения, 2. ω площадь отверстия, 3. Q расход- по известной формуле истечения из отверстия

Задача № 3

Определить расход и скорость истечения воды из круглого отверстия диаметром $d = 100$ мм в боковой стенке резервуара. Напор воды над центром отверстия $H = 1$ м, $\varphi = 0,95$, $\mu = 0,62$.
Рекомендации: определить 1. v скорость истечения, 2. ω площадь отверстия, 3. Q расход- по известной формуле истечения из отверстия



**Министерство Российской Федерации
по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации
последствий стихийных бедствий**

Сибирская пожарно- спасательная академия

**Кафедра аварийной и пожарно-
спасательной техники**

Спасибо за внимание