

ФГБОУ ВПО
"Воронежский государственный
технический университет"

Кафедра автоматизированного оборудования
машиностроительного производства

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим работам
по дисциплине "Механика жидкостей и газов"
для студентов направления подготовки 15.03.01
«Машиностроение», профиля «Технологии, оборудование,
автоматизация машиностроительных производств»
всех форм обучения

Воронеж 2015

Составитель д-р техн. наук Ю.С. Ткаченко,
УДК 621.01

Методические указания к практическим работам по дисциплине "Механика жидкостей и газов" для студентов направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение», профилю «Технологии, оборудование, автоматизация машиностроительных производств» всех форм обучения / ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет"; сост. Ю.С. Ткаченко. Воронеж, 2015. 17 с.

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 150700.62 «Машиностроение», профиля «Технологии, оборудование, автоматизация машиностроительных производств» всех форм обучения, выполняющих практические работы при изучении дисциплины «Механика жидкостей и газов».

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MSWORD и содержатся в файле ПР МЖиГ 2015.doc.

Табл. 11. Ил. 16. Библиогр.: 3 назв.

Рецензент канд.техн. наук, доц. В.И. Корнеев

Ответственный за выпуск зав. кафедрой профессор
С.В. Сафонов

Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО

"Воронежский государственный
технический университет", 2015

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Режимы течения вязкой жидкости

Одной из основных характеристик реальных жидкостей является вязкость - способность к сопротивлению усилиям сдвига частиц жидкости. Благодаря подвижности молекул, свойство вязкости проявляется при относительном перемещении смежных слоев жидкости, при этом возникают силы трения. Физически вязкость жидкости связана с силами взаимодействия молекул (притяжения и отталкивания). Следует отметить, что в жидкостях имеет место диффузия молекул. В вязких средах происходит явление сдвига одних слоев по отношению к другим, соседним, движущимися с переменными скоростями. Напряжение сдвига, возникающее между слоями, характеризует силы внутреннего трения в жидкости.

Различают кинематическую вязкость - ν , мм²/с и динамическую вязкость - $\eta = \nu\rho$, мм² г/де ρ - плотность жидкости.

Кинематическая вязкость $\nu = c \cdot t$, где c - постоянная вискозиметра, t - время протекания жидкости.

Значения коэффициентов вязкости и теплопроводности, в основном, зависят от температуры.

Существует два режима течения жидкости. Ламинарный (или параллельный) - имеет место при малых скоростях течения, и турбулентный (или беспорядочный) - при больших скоростях.

При движении жидкости в замкнутом трубопроводе ламинарный режим течения может переходить в турбулентный и наоборот.

1.2. Критерий (число) Рейнольдса

Режим течения жидкости зависит от средней скорости, вязкости жидкости и характерных геометрических размеров трубопровода. Безразмерная величина, связывающая эти параметры, называется критерием Рейнольдса (Re).

Критерий Рейнольдса для круглого (в сечении) трубопровода

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

где V - скорость жидкости, D - диаметр трубы.

Критерий Рейнольдса для профильного (в сечении) трубопровода

$$Re = \frac{VR}{\nu}$$

где R - гидравлический радиус.

$$Re = \frac{\omega}{\chi}$$

где ω - живое сечение (плоскость в пределах потока жидкости, проведенная перпендикулярно потоку), χ - смоченный периметр (окружность, профиль), по которому живое сечение соприкасается с ограничивающими поверхностями трубы.

Значение числа Рейнольдса, при котором жидкость из одного режима течения переходит в другой, называется критическим ($Re_{кр}$). При значении $Re < (2300)$ имеет место ламинарный режим, при $Re > Re_{кр}$. (2300) имеет место турбулентный режим.

Экспериментально доказано наличие при турбулентном режиме заторможенного тонкого (пристеночного) слоя жидкости (δ), величину которого рассчитывают по формуле

$$\delta = \frac{300\nu}{V}, \text{ мкм.}$$

Толщина пристеночного слоя является малой величиной и уменьшается с увеличением скорости течения жидкости.

1.3. Зоны турбулентного течения жидкости

Различают три зоны движения жидкости в трубопроводах. Первая - если высота выступов шероховатости внутренней поверхности трубы меньше толщины пристеночного слоя. В этом случае шероховатость практически не оказывает влияния на режим движения жидкости и трубы называются гидравлически гладкими.

Вторая - если шероховатость трубы больше пристеночного слоя, то движение жидкости зависит от шероховатости трубы и незначительно зависит от вязкости жидкости. В этом случае трубы называются гидравлически шероховатыми.

Третья - если величина шероховатости внутренней поверхности трубы, и толщина пристеночного слоя соизмеримы, то трубопровод работает в переходном режиме.

1.4. Потери напора жидкости по длине трубопровода

Потери напора определяются по формуле Дарси - Вейсбаха

$$h_1 = \lambda \frac{l}{D} \cdot \frac{V^2}{2g},$$

где l - длина трубопровода, D - внутренний диаметр трубы, V - средняя скорость потока, λ - коэффициент Дарси.

Для ламинарного режима

$$\lambda = \frac{64}{Re},$$

Для турбулентного режима

Для гидравлически шероховатых труб

где Δ - шероховатость трубы.

Коэффициент Дарси определяется по таблицам и графически. Для некруглых (профильных) трубопроводов в вышеприведенных формулах используют соотношение $D = 4R$, где R - гидравлический радиус.

Для определения коэффициента Дарси графическим методом применяют зависимость трех параметров, числовые значения которых определяют по трем осям (рис. 1). По двум известным параметрам определяется третий, неизвестный.

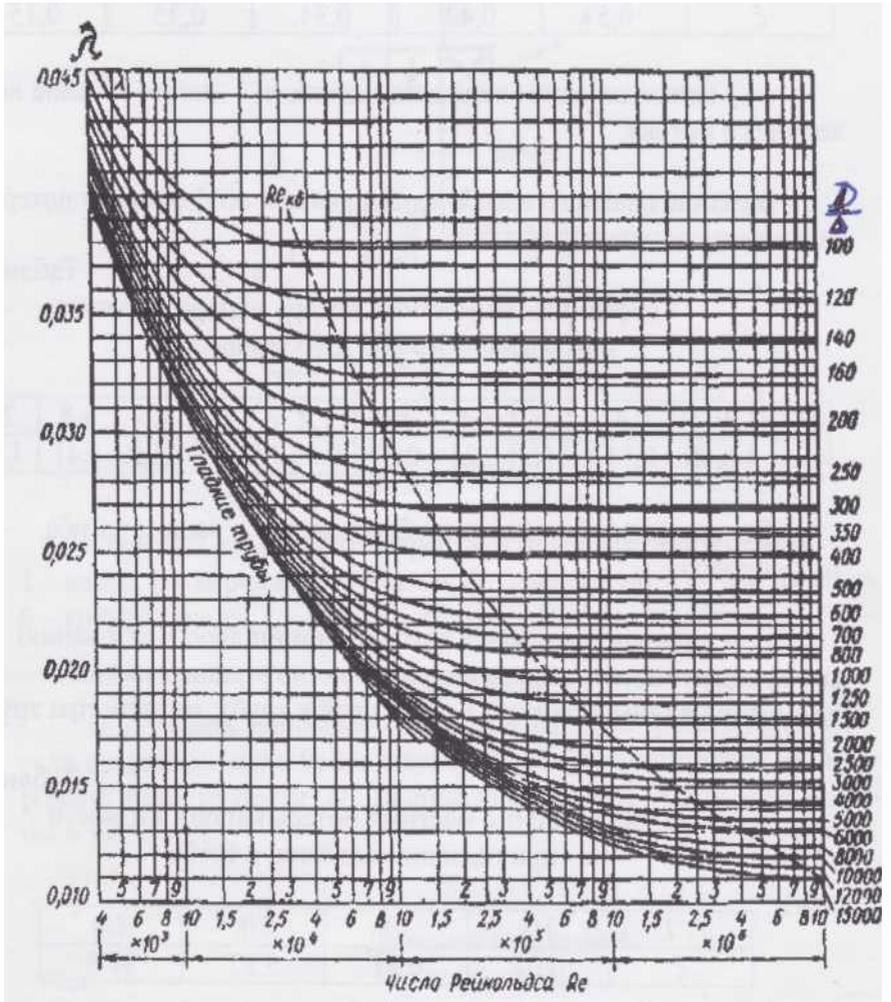


Рис. 1. Номограмма для определения коэффициента Дарси (λ),
числа Рейнольдста ($\frac{\lg VD}{v}$), шероховатости ($\frac{\lg D}{\Delta}$).

1.5. Местные потери напора жидкости

Практически трубопровод состоит из труб различного диаметра, соединяемых переходами. В гидросистему могут быть включены тройники, угольники, отводы, задвижки, вентили, расходомеры, дроссели, датчики, фильтры и т. п. Каждый из перечисленных элементов вызывает местные потери напора жидкости, которые необходимо учитывать в конкретных случаях.

Потери напора при расширении трубы

$$h_p = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

где V_1 - скорость потока, входящего в трубу, V_2 - скорость потока, выходящего из трубы.

Потери напора в других случаях определяются по формуле Вейсбаха

$$h = \xi \frac{V^2}{2g},$$

где ξ - коэффициент местных потерь.

При сужении трубопровода коэффициент потерь можно определить из табл. 1, где ω_1 - живое сечение входящего потока, ω_2 - живое сечение выходящего потока.

Таблица 1

Коэффициенты местных потерь напора жидкости при сужении трубопровода

$\frac{\omega_1}{\omega_2}$	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
ξ	0,5	0,42	0,34	0,25	0,15

В случае плавного изгиба трубопровода, коэффициент потерь можно определить из табл. 2, где D - внутренний диаметр трубопровода, r - радиус изгиба трубопровода.

Таблица 2

Коэффициенты местных потерь напора жидкости при плавном изгибе трубопровода

$\frac{D}{r}$	0,2	0,4	0,6	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
ξ	0,13	0,14	0,16	0,21	0,29	0,44	0,66	0,98	1,98

При наличии задвижки в трубе (принцип дросселирования) коэффициент потерь определяется таблично в зависимости от отношения длины задвижки/заходящей в трубу, от диаметра трубы D (табл. 3).

Таблица 3

Коэффициенты местных потерь напора жидкости при наличии задвижки в трубе

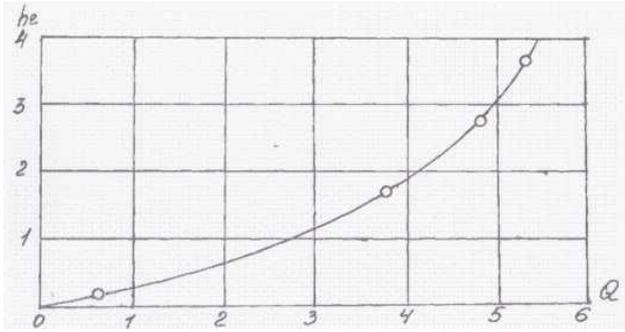
f/D	1/8	3/8	5/8	7/8
ξ	0,07	0,81	5,52	97,8

1.6. Характеристика трубопровода

Характеристикой трубопровода называется зависимость потерь напора жидкости по длине трубопровода от объёмного расхода жидкости Q и графически представлена на рис.2.

1.7. Удельная энергия жидкости

В принципе под энергией (E) понимается способность рабочего тела совершать работу. Удельной называется энергия (e), приходящаяся на единицу силы тяжести $e = E / G$, где E - энергия рабочего тела, G - сила тяжести.



Удельная энергия жидкости состоит:

Рис. 2. Характеристика трубопровода:
 Q - объемный расход жидкости,
 h_l - потери напора по длине трубопровода

а) для жидкости, находящейся в состоянии равновесия, из энергии положения ($e_{\text{пол}}$) и энергии давления ($e_{\text{давл}}$), т. е.

$$E = e_{\text{пол}} + e_{\text{давл}} = z + \frac{P}{\rho g}$$

где z - геометрическая высота точки жидкости над координатной плоскостью, P - величина давления жидкости в данной точке (измеряется пьезометром);

б) для движущейся жидкости

$$e = \frac{V^2}{2g}$$

где V - скорость потока жидкости.

1.8. Основные законы (уравнения) гидродинамики

Уравнение неразрывности потока жидкости. Рассматривается установившийся поток между живыми сечениями 1 и 2.

Так как вытекаемый объемный расход Q_1 равен вытекаемому Q_2 , то

$$V_1 \omega_1 = V_2 \omega_2 .$$

Уравнение Бернулли. Из рассмотрения составляющих удельной энергии в сечениях 1 и 2 получим

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_{1-2} ,$$

где α - коэффициент Кориолиса (для турбулентного потока $\alpha = 1,02 \dots 1,1$; для ламинарного потока $\alpha = 2$); h_{1-2} - потери напора между сечениями 1 и 2.

Уравнение Вентури. Рассматриваются уравнения неразрывности и Бернулли

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} ,$$

При уменьшении площади живого сечения давление уменьшается, скорость увеличивается. При увеличении площади живого сечения давление увеличивается, скорость уменьшается.

Число Рейнольдса - безразмерная величина, критерий режима течения жидкости

$$Re = \frac{Vl}{\nu} ,$$

где ν - кинематическая вязкость, l - линейный размер, D - внутренний размер труб, R - гидравлический радиус.

2. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К ПРАКТИЧЕСКИМ РАБОТАМ

Задача № 1

Определить величину H , необходимую для подачи по трубопроводу жидкости (рис. 3). Рабочая жидкость: вода, керосин. Температура жидкости: 18 °С, 20 °С, 22 °С. Трубы стальные. Расход жидкости: $Q = 12$ л/с, 15 л/с, 18 л/с. Остальные данные для решения даны в табл. 4.

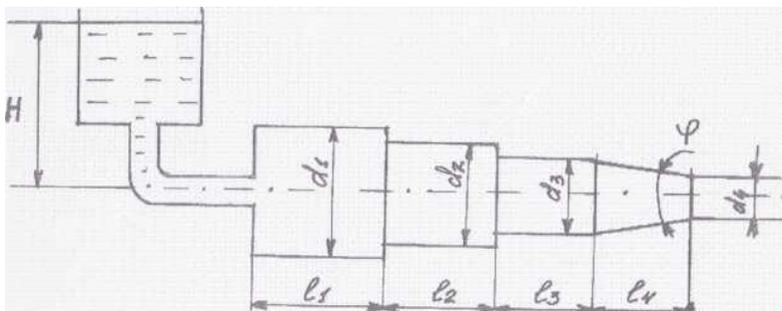


Рис. 3. Схема трубопровода

Задача № 2

Определить основные параметры шестеренного насоса (диаметр шестеренного колеса, ширину зуба, мощность привода насоса). Представить эскиз шестеренного насоса, описать конструкцию и принцип работы. Рабочие параметры представлены в табл. 5.

Задача № 3

Представить гидросхему шлифовального станка (рис. 4), описать конструкцию и принцип работы. При расчетах гидроцилиндр рассматривать как местные сопротивления. Рабочая жидкость - индустриальное масло. Определить давление масла на выходе насоса (P_n), объемный расход ($Q_{ж}$). Рабочие параметры представлены в табл. 6, где ν - вязкость, ρ - плотность, τ - время хода поршня, $S_{п}$ - площадь поршня цилиндра, $S_{ш}$ - площадь штока, $l_{цил}$ - длина цилиндра, $P_{цил}$ - давление масла в цилиндре; $l_{ас}$, $l_{вд}$ - длина трубопроводов; $D_{ас}$, $D_{вд}$ - диаметры трубопроводов.

Таблица 4

Данные к задаче № 1

Парам	Варианты
-------	----------

етры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
l_1 , см	1000	950	900	850	800	750	700	650	600	550	500	1200
l_2 , см	800	750	700	650	600	550	500	420	480	490	390	980
l_3 , см	600	450	400	350	300	250	300	320	250	520	420	750
l_4 , см	400	250	200	150	100	150	200	250	320	600	650	350
d_1 , мм	30	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	16
d_2 , мм	28	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	15
d_3 , мм	26	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	14
d_4 , мм	24	18	16	14	12	10	8	6	4	4	5	13

Таблица 5

Данные к задаче №2

Параметры	Варианты											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q, л/мин	20	21	22	23	24	19	18	17	21	23	22	20
P, МПа	1	0,8	0,85	0,9	1,1	1,2	1,3	1	0,8	0,9	1,2	1,3
n, об/мин	1500	1600	1400	1350	1450	1600	1420	1350	1350	1650	1450	1350
Z, число зубьев	10	9	8	10	11	12	6	8	10	12	8	10
η^1 ,	0,95	0,93	0,94	0,96	0,95	0,93	0,94	0,93	0,92	0,96	0,95	0,94

Таблица 6

Параметры	Варианты											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ρ , кг/м ³	876	878	880	884	888	890	880	882	884	886	888	900
ν , мм ² /с	10	11	12	13	14	17	18	19	20	21	22	23
τ , сек	6	7	8	9	10	11	12	7	8	6	9	10
S_{II} , см ²	25	22	23	24	26	27	26	25	24	23	26	28
S_{III} , см ²	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	3,5

$L_{\text{цил}}, \text{ см}$	6	7	8	8,5	9	10	9	7	6	7	7,5	8
$P_{\text{цил}}, \text{ Н}$	1000	1080	1050	1060	1070	1090	1100	980	960	940	920	900
$l_{\text{АС}}, \text{ см}$	500	480	482	486	488	510	512	514	516	518	490	520
$L_{\text{ВД}}, \text{ см}$	400	380	382	386	388	390	394	396	416	420	408	410
$D_{\text{АС}}, \text{ мм}$	10	11	12	13	13,5	14	12	10	8	9	7,5	6,8
$D_{\text{ВД}}, \text{ мм}$	12	14	16	18	20	18	16	14	12	10	8	20

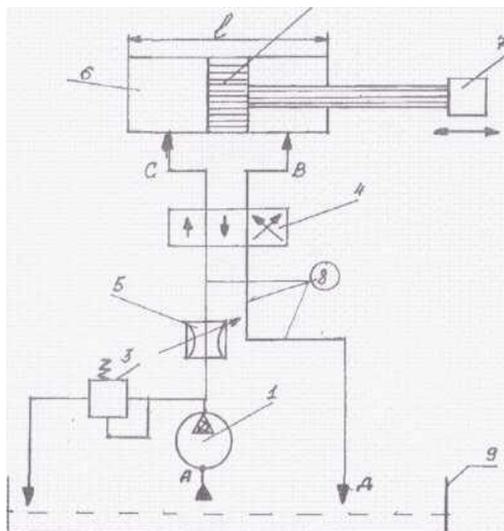


Рис. 4. Структурная гидросхема шлифовального станка:
 1 - насос, 2 - поршень, 3 - клапан, 4 - распределитель,
 5 - дроссель, 6 - гидроцилиндр, 7 - стол, 8 - трубопровод,
 9 - гидробак

Задача № 4

Определить эквивалентную шероховатость трубопровода (Δ), если известны: число Рейнольдса (Re), коэффициент Дарси (λ), внутренний диаметр трубы (D). Данные для решения задачи представлены в табл. 7.

Таблица 7

Данные к задаче № 4

Параметры	Варианты											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$Re \times 1000$	180	100	150	200	250	300	350	400	500	600	400	300
Δ	0,012	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,016	0,018	0,022	0,025	0,030	0,040
D , мм	80	75	72	68	65	62	60	58	70	75	78	84

Задача № 5

Вычислить потери напора жидкости в трубопроводе (h_l), если даны: длина трубы (l), внутренний диаметр эквивалентная шероховатость (Δ), средняя скорость потока (V), вязкость (ν). Данные для решения задачи представлены в табл. 8

Таблица 8

Данные к задаче № 5

Параметры	Варианты											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
l , м	400	200	230	260	300	340	360	380	450	500	550	600
D , мм	100	50	70	90	120	135	150	160	165	170	180	200
Δ , мм	0,2	0,1	0,12	0,15	0,18	0,22	0,23	0,25	0,27	0,28	0,29	0,3
V , м/с	1,2	0,6	0,8	0,9	1,0	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,4
ν , мм ² /с	14	15	16	17	18	19	20	20,5	21	22	23	24

Задача № 6

Определить потери напора воды в трубопроводе (h_l), если даны: длина трубопровода (l), внутренний диаметр (D), средняя скорость потока (V), вязкость (ν). Данные для решения задачи представлены в табл. 9.

Таблица 9

Данные к задаче № 6

Параметры	Варианты											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

$l, \text{м}$	20	24	26	28	30	33	36	40	42	44	46	48
$D, \text{мм}$	10	5	7	6	8	9	11	13	12	15	14	16
$V, \text{м/с}$	1,2	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
$\nu, \text{мм}^2/\text{с}$	6,0	6,2	6,4	6,6	6,8	7,0	7,2	7,4	7,6	7,8	8,0	8,2

Задача № 7

Построить характеристику трубопровода, если даны: длина трубопровода (l), эквивалентная шероховатость (Δ), внутренний диаметр трубопровода (D), вязкость жидкости (ν). Данные для решения задачи представлены в табл. 10.

Таблица 10

Данные к задаче № 7

Параметры	Варианты											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$l, \text{м}$	400	100	130	160	180	200	250	270	300	350	390	450
$\Delta, \text{мм}$	0,2	0,1	0,15	0,25	0,3	0,35	0,22	0,36	0,18	0,24	0,4	0,5
$D, \text{мм}$	100	50	60	70	80	90	55	65	75	85	95	120
$\nu, \text{мм}^2/\text{с}$	12	8	6	4	5	7	9	11	13	14	15	16

Задача № 8

Выполнить расчет простого трубопровода (рис. 5).

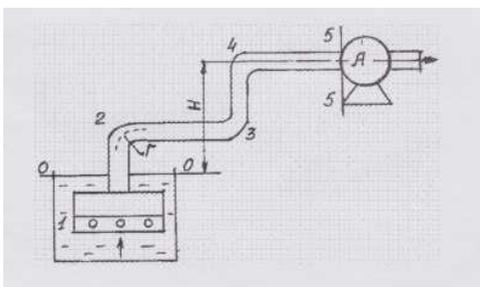


Рис. 5. Схема простого трубопровода

Насос А качает жидкость из резервуара. Даны: расход жидкости (Q), вязкость жидкости (ν), длина всасывающей жидкости, (l), внутренний диаметр трубы (D), эквивалентная шероховатость (Δ), радиус закругления колен трубопровода r .

Вычислить H высоту центра насоса над уровнем жидкости), если допускаемая для насоса $H_{\text{вак}} = 8$ м вод. ст. Данные для решения задачи представлены в табл. 11.

Таблица 11

Данные к таблице №8

Параметры	Варианты											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q , л/с	20	19	18	17	16	15	14	13	12,5	12	11	10
ν , мм ² /с	1,2	1,4	1,6	2,0	2,4	3,0	3,2	3,4	3,6	3,7	3,8	4,0
l , м	30	32	34	36	38	40	42	44	46	47	48	50
D , мм	200	190	180	170	160	150	144	140	130	120	110	100
Δ , мм	1,0	0,8	0,75	0,9	0,8	0,7	0,5	0,6	0,65	0,3	0,4	0,5
r , мм	260	250	256	230	240	230	250	240	230	220	210	200

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ткаченко Ю.С. Механика жидкостей и газов: учеб. пособие [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. данные (2,03 МБ) / Ю.С. Ткаченко, В.М. Пачевский. –

Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2015.

СОДЕРЖАНИЕ

Теоритические сведения

1

Варианты заданий к практическим работам	10
Библиографический список	16

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим работам
по дисциплине "Механика жидкостей и газов"
для студентов направления подготовки 15.03.01
«Машиностроение», профиля «Технологии, оборудование,
автоматизация машиностроительных производств»
всех форм обучения

Составитель
Ткаченко Юрий Сергеевич

В авторской редакции

Подписано к изданию 25.06.2015.

Уч.-изд. л. 1,1. «С»

ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный
технический университет"
394026 Воронеж, Московский просп., 14