

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева»

**Д. А. Лапин, А. П. Абрамов**

## **ТЕОРИЯ ТУРБОМАШИН**

**методические указания к практическому занятию**

Рекомендовано учебно-методической комиссией  
направления подготовки бакалавров  
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»  
в качестве электронного издания  
для практического занятия

Кемерово 2017

## Рецензенты:

Темникова Е.Ю. – доцент кафедры теплоэнергетики

Богомолов А. Р. – председатель учебно-методической комиссии  
направления подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

**Лапин Дмитрий Александрович. Теория турбомашин** [Электронный ресурс]: методические указания к практическому занятию по дисциплине «Тепловые двигатели и нагнетатели» для студентов направления подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» / Д. А. Лапин, А. П. Абрамов. – Электрон. дан. – Кемерово: КузГТУ, 2017. – Систем. требования: Pentium IV ; ОЗУ 8 Гб ; Windows 2003. - Загл. с экрана.

Методические указания к практическому занятию составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Тепловые двигатели и нагнетатели» и предназначены для бакалавров направления подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

© КузГТУ

© Лапин Д. А.

© Абрамов А.П.

Для успешного освоения прикладных разделов дисциплины следует вдумчиво проработать и запомнить основные положения теории турбомашин. Эти положения являются базой для успешного решения типовых инженерных задач по вентиляторным и дымососным, насосным и компрессорным установкам, паровым и газовым турбинам.

Тематика задач для самостоятельного решения и текущего контроля успеваемости студентов по разделу «Теория турбомашин» дисциплины «Тепловые двигатели и нагнетатели»:

- |  |        |
|--|--------|
| 1 – производительность рабочего колеса осевой турбомашин       | ТТМ-1; |
| 2 – производительность рабочего колеса центробежной турбомашин | ТТМ-2; |
| 3 – напор рабочего колеса осевой турбомашин                    | ТТМ-3; |
| 4 – напор рабочего колеса центробежной турбомашин              | ТТМ-4; |
| 5 – удельная быстроходность рабочего колеса турбомашин         | ТТМ-5; |
| 6 – законы пропорциональности турбомашин                       | ТТМ-6. |

## ТТМ-1

Определить производительность осевого вентилятора для заданных конструктивных и кинематических характеристик:

$D$  – диаметр рабочего колеса;

$D_B$  – диаметр втулки рабочего колеса;

$\beta_1'$  – действительный угол входа потока на лопасти рабочего колеса;

$\beta_2'$  – действительный угол выхода потока с лопаток рабочего колеса;

$C_{U2}$  – скорость закручивания потока на выходной кромке лопатки;

$n$  – частота вращения рабочего колеса;

$n_p$  – число рабочих колес.

Таблица 1

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8
$D$ , мм	400	500	1100	1600	600	800	1800	2100
$D_B$ , мм	200	200	600	800	300	400	900	1100
$\beta_1'$ , градус	30	27	25	22	20	17	15	12
$\beta_2'$ , градус	35	36	37	38	39	40	41	42
$C_{U2}/U$	0,45	0,40	0,35	0,30	0,45	0,40	0,35	0,50
$n$ , об/мин	2950	2980	1470	1450	2970	2980	1450	1480
$n_p$ , ШТ	1	1	2	2	1	1	2	2
тип вентилятора	ВО	ВО	ВОД	ВОД	ВО	ВО	ВОД	ВОД
№ вар.	9	10	11	12	13	14	15	16
$D$ , мм	900	1000	2400	2600	1100	1200	2800	3000
$D_B$ , мм	400	400	1200	1300	500	500	1400	1500
$\beta_1'$ , градус	20	22	23	22	20	17	15	12
$\beta_2'$ , градус	35	36	37	36	35	40	41	42
$C_{U2}/U$	0,45	0,40	0,35	0,30	0,45	0,40	0,35	0,60
$n$ , об/мин	950	980	475	470	970	980	450	480
$n_p$ , ШТ	1	1	2	2	1	1	2	2
тип вентилятора	ВО	ВО	ВОД	ВОД	ВО	ВО	ВОД	ВОД

Продолжение табл. 1

№ вар.	17	18	19	20	21	22	23	24
D, мм	1300	1400	3200	3400	1600	1800	3600	3800
D <sub>В</sub> , мм	600	700	1500	1600	700	800	1700	1800
$\beta_1'$ , градус	20	22	23	22	20	17	15	12
$\beta_2'$ , градус	35	36	37	36	35	40	41	42
C <sub>U2</sub> /U	0,45	0,40	0,35	0,30	0,45	0,40	0,35	0,55
n, об/мин	450	480	270	280	470	480	230	230
n <sub>р</sub> , ШТ	1	1	2	2	1	1	2	2
тип вентил- лятора	ВО	ВО	ВОД	ВОД	ВО	ВО	ВОД	ВОД

№ вар.	25	26	27	28	29	30	31	32
D, мм	2000	2200	4000	4200	2500	2700	4400	5000
D <sub>В</sub> , мм	1000	1000	2000	2200	1300	1400	2500	3000
$\beta_1'$ , градус	20	22	23	22	20	17	15	12
$\beta_2'$ , градус	35	36	37	36	35	40	41	42
C <sub>U2</sub> /U	0,45	0,40	0,35	0,30	0,45	0,40	0,35	0,65
n, об/мин	950	980	270	250	470	290	250	280
n <sub>р</sub> , ШТ	1	1	2	2	1	1	2	2
тип вентил- лятора	ВО	ВО	ВОД	ВОД	ВО	ВО	ВОД	ВОД

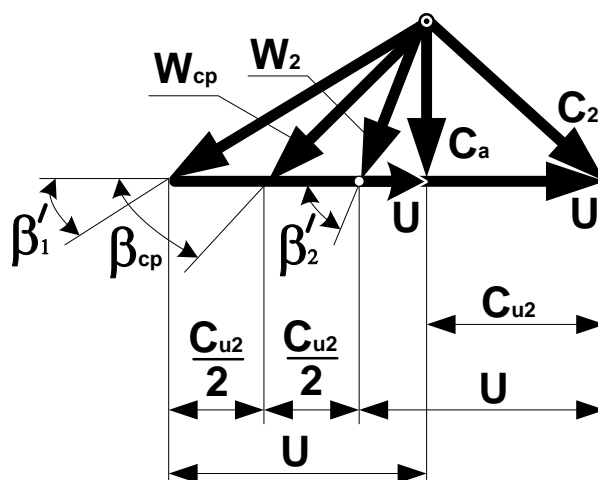


Рис. 1. Совмещенный план скоростей осевого рабочего колеса

## ТТМ-2

Определить производительность центробежного насоса для заданных конструктивных характеристик:

$D_2$  – диаметр рабочего колеса по выходным кромкам лопаток;

$\alpha_2$  – угол между окружной и абсолютной скоростью потока на выходе из рабочего колеса;

$\beta_2$  – угол закручивания лопаток рабочего колеса по выходным кромкам;

$Z$  – число лопаток рабочего колеса;

$b_2$  – ширина лопаток рабочего колеса по выходным кромкам;

$\delta_2$  – толщина лопаток рабочего колеса (по всей длине постоянная);

$n$  – частота вращения рабочего колеса;

$n_p$  – число рабочих колес в насосе;

К, Д, ЦН, ЦНС – тип насоса.

Таблица 2

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8
$D_2$ , мм	128	350	129	280	168	325	174	405
$\alpha_2$ , градус	18	19	20	21	14	15	16	17
$\beta_2$ , градус	30	27	25	22	20	17	15	12
$Z$ , шт	5	6	7	8	9	10	11	12
$b_2$ , мм	80	8	10	15	20	25	12	30
$\delta_2$ , мм	10	12	8	8	6	10	6	12
$n$ , об/мин	2950	980	1470	1450	1470	980	1480	980
$n_p$ , шт	1	1	2	3	1	1	2	4
ТИП насоса	К	Д	ЦН	ЦНС	К	Д	ЦН	ЦНС

№ вар.	9	10	11	12	13	14	15	16
$D_2$ , мм	128	350	129	280	168	325	174	405
$\alpha_2$ , градус	18	19	20	21	14	15	16	17
$\beta_2$ , градус	30	27	25	22	20	17	15	12
$Z$ , шт	9	10	11	12	5	6	7	8
$b_2$ , мм	10	15	80	8	12	30	20	25
$\delta_2$ , мм	10	12	8	8	6	10	6	12
$n$ , об/мин	2950	980	1470	1450	1470	980	1480	980
$n_p$ , шт	1	1	2	3	1	1	2	4
ТИП насоса	К	Д	ЦН	ЦНС	К	Д	ЦН	ЦНС

Продолжение табл. 2

№ вар.	17	18	19	20	21	22	23	24
D <sub>2</sub> , мм	228	250	329	180	268	225	274	305
$\alpha_2$ , градус	18	19	20	21	14	15	16	17
$\beta_2$ , градус	30	27	25	22	20	17	15	12
Z, шт	5	6	7	8	9	10	11	12
b <sub>2</sub> , мм	80	8	10	15	20	25	12	10
$\delta_2$ , мм	10	12	8	8	6	10	6	12
n, об/мин	2950	2980	1470	2950	1470	980	1480	980
n <sub>p</sub> , шт	1	1	2	5	1	1	2	7
ТИП насоса	К	Д	ЦН	ЦНС	К	Д	ЦН	ЦНС
№ вар.	25	26	27	28	29	30	31	32
D <sub>2</sub> , мм	268	274	225	305	228	250	329	180
$\alpha_2$ , градус	18	19	20	21	14	15	16	17
$\beta_2$ , градус	30	27	25	22	20	17	15	12
Z, шт	11	12	7	8	9	10	5	6
b <sub>2</sub> , мм	80	8	10	15	20	25	12	30
$\delta_2$ , мм	10	12	8	8	6	10	6	12
n, об/мин	950	980	1470	1450	1485	985	1480	1490
n <sub>p</sub> , шт	1	1	2	4	1	1	2	8
ТИП насоса	К	Д	ЦН	ЦНС	К	Д	ЦН	ЦНС

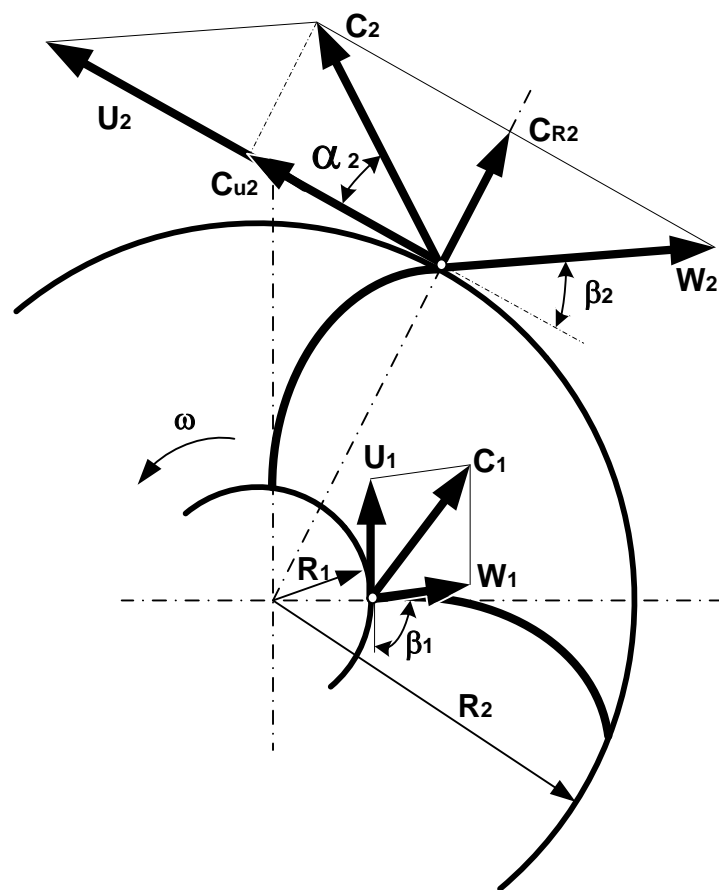


Рис. 2. План скоростей центробежного рабочего колеса



### ТТМ-3

Определить теоретический напор рабочего колеса осевой турбомашины для заданных конструктивных и кинематических характеристик:

$D$  – диаметр рабочего колеса;

$D_B$  – диаметр втулки рабочего колеса;

$\beta_1$  и  $\beta_2$  – угол входа и выхода потока с лопаток рабочего колеса, установленный по средней линии профиля;

$C_{U1}$  и  $C_{U2}$  – скорость закручивания потока на входных и выходных кромках лопаток рабочего колеса;

$n$  – частота вращения рабочего колеса;

$Q$  – производительность турбомашин.

Таблица 2

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8
$D$ , мм	1,00	0,80	0,60	0,50	0,40	0,30	0,25	0,20
$D_B$ , мм	0,50	0,50	0,30	0,30	0,20	0,20	0,15	0,10
$Q$ , м <sup>3</sup> /с	30	15	7	3,5	2,5	1,5	0,9	0,5
$\beta_1$ , градус	30	35	40	45	30	35	40	45
$\beta_2$ , градус	60	65	70	55	60	65	70	55
$C_{U1}/C_{U2}$	0	0,10	–0,10	0,15	–0,15	0,20	–0,20	0,25
$n$ , об/мин	1450	1470	1480	1500	2950	2970	2980	3000
№ вар.	9	10	11	12	13	14	15	16
$D$ , мм	1,10	0,90	0,70	0,65	0,55	0,45	0,35	0,15
$D_B$ , мм	0,50	0,40	0,30	0,30	0,25	0,20	0,15	0,07
$Q$ , м <sup>3</sup> /с	40	22	11	8	7	5	2,5	0,2
$\beta_1$ , градус	30	35	40	45	30	35	40	45
$\beta_2$ , градус	60	65	70	55	60	65	70	55
$C_{U1}/C_{U2}$	0	0,10	–0,10	0,15	–0,15	0,20	–0,20	0,25
$n$ , об/мин	1450	1470	1480	1500	2950	2970	2980	3000

Продолжение табл. 3

№ вар.	17	18	19	20	21	22	23	24
D, мм	1,50	1,45	1,40	1,35	1,30	1,25	1,20	1,15
D <sub>В</sub> , мм	0,70	0,70	0,70	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50
Q, м <sup>3</sup> /с	65	60	55	50	45	40	35	40
β <sub>1</sub> , градус	40	45	35	30	40	45	35	30
β <sub>2</sub> , градус	70	55	65	60	70	55	65	60
C <sub>U1</sub> /C <sub>U2</sub>	–0,15	0,20	–0,20	0,25	0	0,10	–0,10	0,15
n, об/мин	950	970	980	980	950	970	1000	1500
№ вар.	25	26	27	28	29	30	31	32
D, мм	1,50	1,45	1,40	1,35	1,30	1,25	1,20	1,15
D <sub>В</sub> , мм	0,50	0,50	0,50	0,45	0,45	0,45	0,45	0,40
Q, м <sup>3</sup> /с	65	60	55	50	45	40	35	40
β <sub>1</sub> , градус	45	40	40	35	40	45	35	30
β <sub>2</sub> , градус	70	55	65	60	75	60	70	50
C <sub>U1</sub> /C <sub>U2</sub>	–0,15	0,20	–0,20	0,25	0	0,10	–0,10	0,15
n, об/мин	950	970	980	980	950	970	1000	1500

Расчеты скоростей выполнять по среднему диаметру решетки колеса.

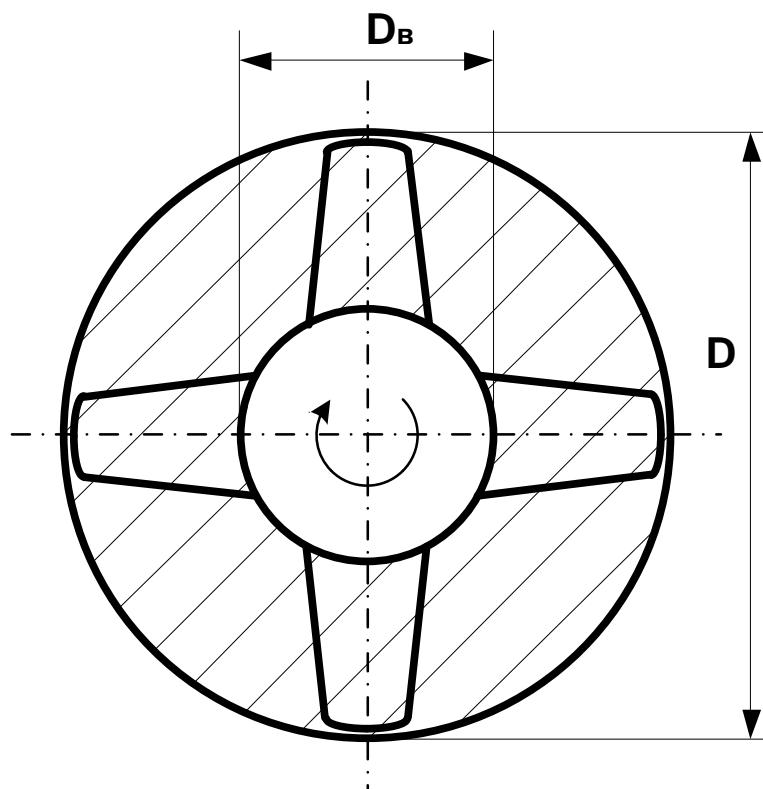


Рис. 3. Поперечное сечение осевой турбомашины

#### ТТМ-4

Определить теоретический напор рабочего колеса центробежной турбомашины для заданных конструктивных и кинематических характеристик:

$D_1$  и  $D_2$  – диаметр рабочего колеса по входным и выходным кромкам лопаток;

$b_2$  – ширина лопаток рабочего колеса по выходным кромкам;

$\beta_2$  – угол выхода потока с лопаток рабочего колеса;

$C_{U1}$  и  $C_{U2}$  – скорость закручивания потока на входных и выходных кромках лопаток рабочего колеса;

$n$  – частота вращения рабочего колеса;

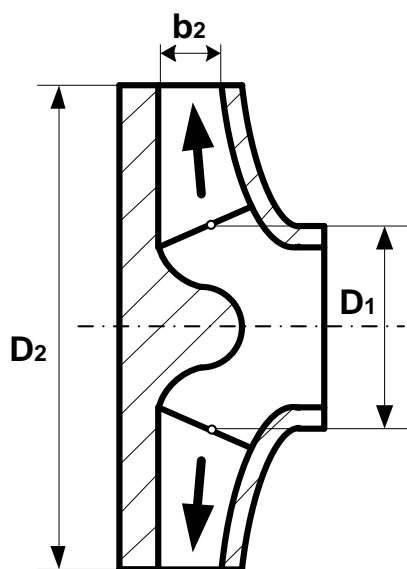
$Q$  – производительность турбомашин.

Таблица 4

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8
$D_2$ , мм	1,00	0,80	0,60	0,50	0,40	0,30	0,25	0,20
$D_1$ , мм	0,50	0,50	0,30	0,30	0,20	0,20	0,15	0,10
$b_2$ , мм	20	25	30	35	10	15	20	25
$Q$ , м <sup>3</sup> /ч	30	150	500	320	250	150	125	50
$\beta_2$ , градус	60	65	70	55	60	65	70	55
$C_{U1}/U_1$	0,10	–0,05	–0,10	0,20	–0,15	0,25	–0,20	0,30
$n$ , об/мин	730	740	980	1450	2950	2970	2980	3000
№ вар.	9	10	11	12	13	14	15	16
$D_2$ , мм	1,00	0,80	0,60	0,50	0,40	0,30	0,25	0,20
$D_1$ , мм	0,75	0,60	0,50	0,40	0,30	0,25	0,20	0,15
$b_2$ , мм	20	25	30	35	10	15	20	25
$Q$ , м <sup>3</sup> /ч	300	300	1000	650	500	300	250	100
$\beta_2$ , градус	60	65	70	55	60	65	70	55
$C_{U1}/U_1$	0,10	–0,05	–0,10	0,20	–0,15	0,25	–0,20	0,30
$n$ , об/мин	730	740	980	1450	2950	2970	2980	3000

Продолжение табл. 4

№ вар.	17	18	19	20	21	22	23	24
$D_2$ , мм	1,00	0,80	0,60	0,50	0,40	0,30	0,25	0,20
$D_1$ , мм	0,80	0,65	0,50	0,44	0,35	0,27	0,21	0,17
$b_2$ , мм	20	25	30	35	20	15	20	25
$Q$ , м <sup>3</sup> /ч	300	300	1000	650	500	300	250	100
$\beta_2$ , градус	20	35	40	25	20	35	40	25
$C_{U1}/U_1$	0,10	-0,05	-0,10	0,20	-0,15	0,25	-0,20	0,30
$n$ , об/мин	730	740	980	1450	2950	2970	2980	3000
№ вар.	25	26	27	28	29	30	31	32
$D_2$ , мм	1,00	0,80	0,60	0,50	0,40	0,30	0,25	0,20
$D_1$ , мм	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,08	0,07	0,07
$b_2$ , мм	20	25	30	35	20	15	20	25
$Q$ , м <sup>3</sup> /ч	300	300	1000	650	500	300	250	100
$\beta_2$ , градус	15	15	35	35	20	40	30	40
$C_{U1}/U_1$	0,10	-0,05	-0,10	0,20	-0,15	0,25	-0,20	0,30
$n$ , об/мин	730	740	980	1450	2950	2970	2980	3000

Рис. 4. Сечение вдоль оси рабочего колеса  
центробежной турбомашины

## ТТМ-5

Определить удельную быстроходность рабочего колеса турбомашин с заданными характеристиками:

$n$  – частота вращения коренного вала насоса;

$D_2$  – диаметр рабочего колеса насоса по выходным кромкам лопаток.

Таблица 5

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8
модель насоса	К 20/18	К 20/18	К 45/30	К 45/30	К 8/18	К 8/18	К 8/18	К 20/18
$D_2$ , мм	118	106	168	143	128	115	105	129
$n$ , об/мин	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900
№ вар.	9	10	11	12	13	14	15	16
модель насоса	К 160/30	К 290/30	К 290/30	Д 200-36	Д 200-36	Д 200-36	Д 200-95	Д 200-95
$D_2$ , мм	290	315	300	350	325	300	280	265
$n$ , об/мин	1450	1450	1450	2950	2950	2950	1450	1450
№ вар.	17	18	19	20	21	22	23	24
модель насоса	К 160/20	К 160/20	К 160/30	К 160/30	К 90/35	К 90/35	К 90/85	К 90/85
$D_2$ , мм	254	240	320	310	174	163	272	250
$n$ , об/мин	1450	1450	1450	1450	2900	2900	2900	2900
№ вар.	25	26	27	28	29	30	31	32
модель насоса	Д 320-50	Д 320-70	Д 320-70	Д 500-36	Д 250-130	Д 250-130	Д 320-50	Д 320-50
$D_2$ , мм	360	265	242	525	325	300	405	380
$n$ , об/мин	1450	2950	2950	980	2950	2950	1450	1450

Напор определять при номинальной производительности насоса по паспорту

## ТТМ-6

Выполнить расчеты и построить напорно-расходную характеристику турбомашин с заданными характеристиками:

$n_1$  – начальная частота вращения коренного вала насоса;

$n_2$  – новая частота вращения коренного вала насоса;

$D_2$  – диаметр рабочего колеса насоса по выходным кромкам лопаток.

Таблица 6

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8
модель насоса	К 8/18	К 8/18	К 8/18	К 20/18	К 20/18	К 20/18	К 45/30	К 45/30
$D_2$ , мм	128	115	105	129	118	106	168	143
$n_1$ , об/мин	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900
$n_2$ , об/мин	2500	2000	1500	2500	2000	1500	2000	1500
№ вар.	9	10	11	12	13	14	15	16
модель насоса	К 90/35	К 90/35	К 90/85	К 90/85	К 160/20	К 160/20	К 160/30	К 160/30
$D_2$ , мм	174	163	272	250	254	240	320	310
$n_1$ , об/мин	2900	2900	2900	2900	1450	1450	1450	1450
$n_2$ , об/мин	2500	2000	1500	2500	1250	1000	1200	900
№ вар.	17	18	19	20	21	22	23	24
модель насоса	К 160/30	К 290/30	К 290/30	Д 200-36	Д 200-36	Д 200-36	Д 200-95	Д 200-95
$D_2$ , мм	290	315	300	350	325	300	280	265
$n_1$ , об/мин	1450	1450	1450	2950	2950	2950	1450	1450
$n_2$ , об/мин	750	1000	725	2500	2000	1500	1000	725
№ вар.	25	26	27	28	29	30	31	32
модель насоса	Д 250-130	Д 250-130	Д 320-50	Д 320-50	Д 320-50	Д 320-70	Д 320-70	Д 500-36
$D_2$ , мм	325	300	405	380	360	265	242	525
$n_1$ , об/мин	2950	2950	1450	1450	1450	2950	2950	980
$n_2$ , об/мин	2500	2000	1200	1000	725	2500	2000	490