

Учреждение «Павлодарский нефтегазовый колледж»

Методическая разработка урока по дисциплине  
«ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ»

# ТЕМА: ПРОЦЕССЫ ПАРООБРАЗОВАНИЯ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЯНОГО ПАРА

Разработала преподаватель Лобко Ирина Николаевна  
город Павлодар  
2015 год



**ТЕМА: ПРОЦЕССЫ  
ПАРООБРАЗОВАНИЯ И  
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ  
СВОЙСТВА ВОДЯНОГО  
ПАРА**

# ПЛАН:

- 1. Основные понятия и определения**
- 2. Схема парогенератора**
- 3. Таблицы водяного пара**
- 4. IS-диаграмма водяного пара**
- 5. Применение водяного пара**

# ОЦЕНОЧНЫЙ ЛИСТ:

задания	1	2 (схема)	3 (ответы)	4 (лото)	5 (по таблице)	6 (по диаграмме)	ИТОГО
Максимальный балл	3	5	10	6	3	5	32
Полученные баллы							
Дополнительные баллы							
ИТОГО							

# Вопросы для повторения:

1. Идеальный газ
2. Параметры состояния
3. Энтальпия
4. Энтропия
5. Уравнение Клапейрона
6. Изопроцессы идеального газа

# ОТВЕТЫ:

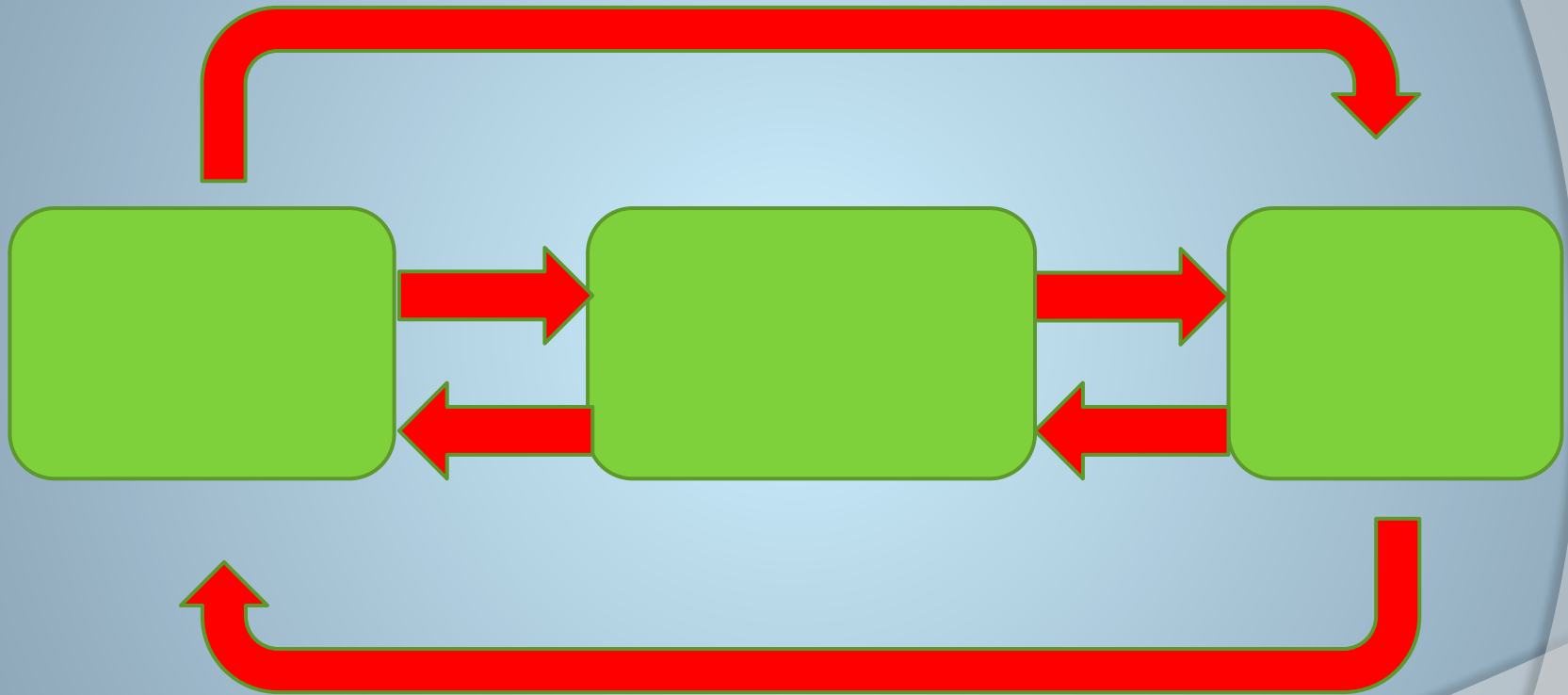
1. **Идеальный газ** — математическая модель газа, в которой предполагается, что: 1) потенциальной энергией взаимодействия молекул можно пренебречь по сравнению с их кинетической энергией; 2) суммарный объем молекул газа пренебрежимо мал.
2. **Параметры состояния** – плотность, давление, объем, температура;
3. **Энтальпия** это сумма внутренней энергии тела и произведения давления на объем:  $I = U + PV$ ; это свойство вещества, указывающее количество энергии, которую можно преобразовать в теплоту.
4. **Энтропия** – функция состояния системы, равная в равновесном процессе количеству теплоты, сообщённой системе или отведённой от системы, отнесённому к термодинамической температуре системы
5. **Уравнение Клапейрона** –  $p \cdot V = R \cdot T$
6. **Изопроцессы идеального газа** – процессы, при которых один из параметров остаётся неизменным: изобарный, изотермический, изохорный, адиабатный (изоэнтропийный), политропный.

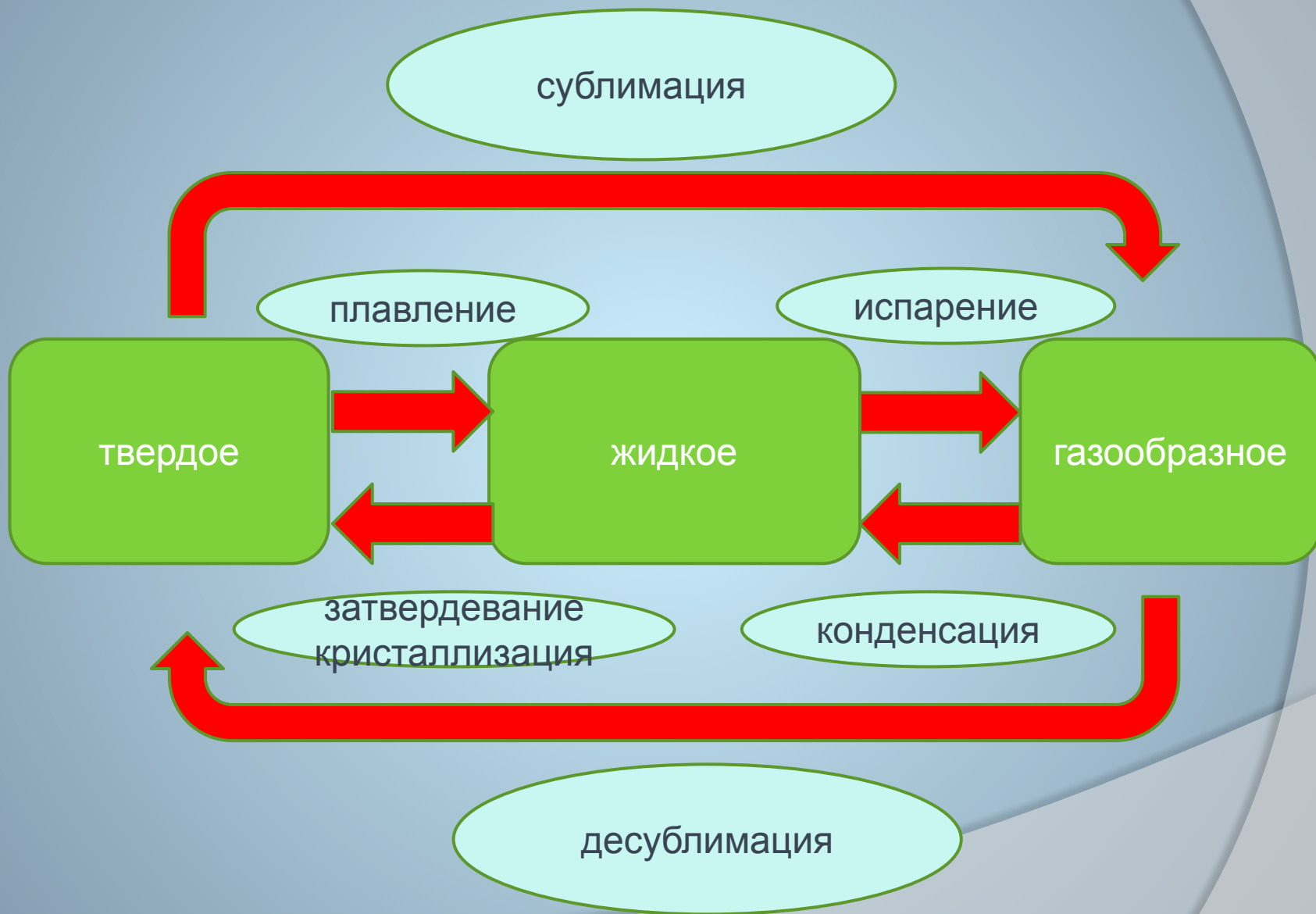
Задание 1: Работа с опорным конспектом (найти и подчеркнуть определения понятий):

1. *Фазовый переход (фазовое превращение);*
2. *Плавление;*
3. *Испарение;*
4. *Кипение;*
5. *Сублимация;*
6. *Затвердевание или кристаллизация;*
7. *Конденсация;*
8. *Де-сублимация.*



# Задание 2: Заполнить схему





# Парообразование

Переход вещества из жидкого состояния в газообразное



Испарение – парообразование, происходящее с поверхности жидкости при любой температуре



Кипение-парообразование, происходящее по всему объему жидкости при температуре кипения



# Задание 3: Найти ответы на вопросы (по опорному конспекту):

1. От чего зависит температура насыщения ?
2. Как называют давление, соответствующее температуре насыщения?
3. Как называют пар, который образовался в процессе кипения и находится в динамическом равновесии с жидкостью?
4. Как называют пар, не содержащий капель жидкости и имеющий температуру насыщения ( $t=t_H$ ) при данном давлении?
5. Как называют равновесную смесь, состоящую из капель жидкости, находящейся при температуре кипения, и сухого насыщенного пара?
6. Как называют отношение массы сухого насыщенного пара  $m_{с.п.}$  к массе влажного насыщенного пара  $m_{в.п.}$  ?
7. Чему равна степень сухости для жидкости?
8. Чему равна степень сухости для сухого насыщенного пара?
9. Как называется пар, температура которого при данном давлении больше, чем температура насыщения ( $t>t_H$ )?
10. Как называется величина превышения температурой пара температуры кипения жидкости?

# Ответы на вопросы к заданию

## 3:

1. *от природы вещества и давления*
2. *давление насыщения*
3. *насыщенный пар*
4. *сухой насыщенный пар*
5. *влажный насыщенный пар*
6. *степень сухости*
7. *степень сухости  $x=0$*
8. *степень сухости  $x=1...$*
9. *перегретый пар*
10. *степень перегрева пара*

# Задание 4: Сложить лото

<b>Бурное парообразование по всей массе жидкости при температуре кипения</b>	<b>Пар, который образовался в процессе кипения и находится в динамическом равновесии с жидкостью</b>	<b>Величина превышения температурой пара температуры кипения жидкости</b>
Пар, не содержащий капель жидкости и имеющий температуру насыщения при данном давлении	Пар, температура которого при данном давлении больше, чем температура насыщения	Равновесная смесь, состоящая из капель жидкости, находящейся при температуре кипения, и сухого насыщенного пара

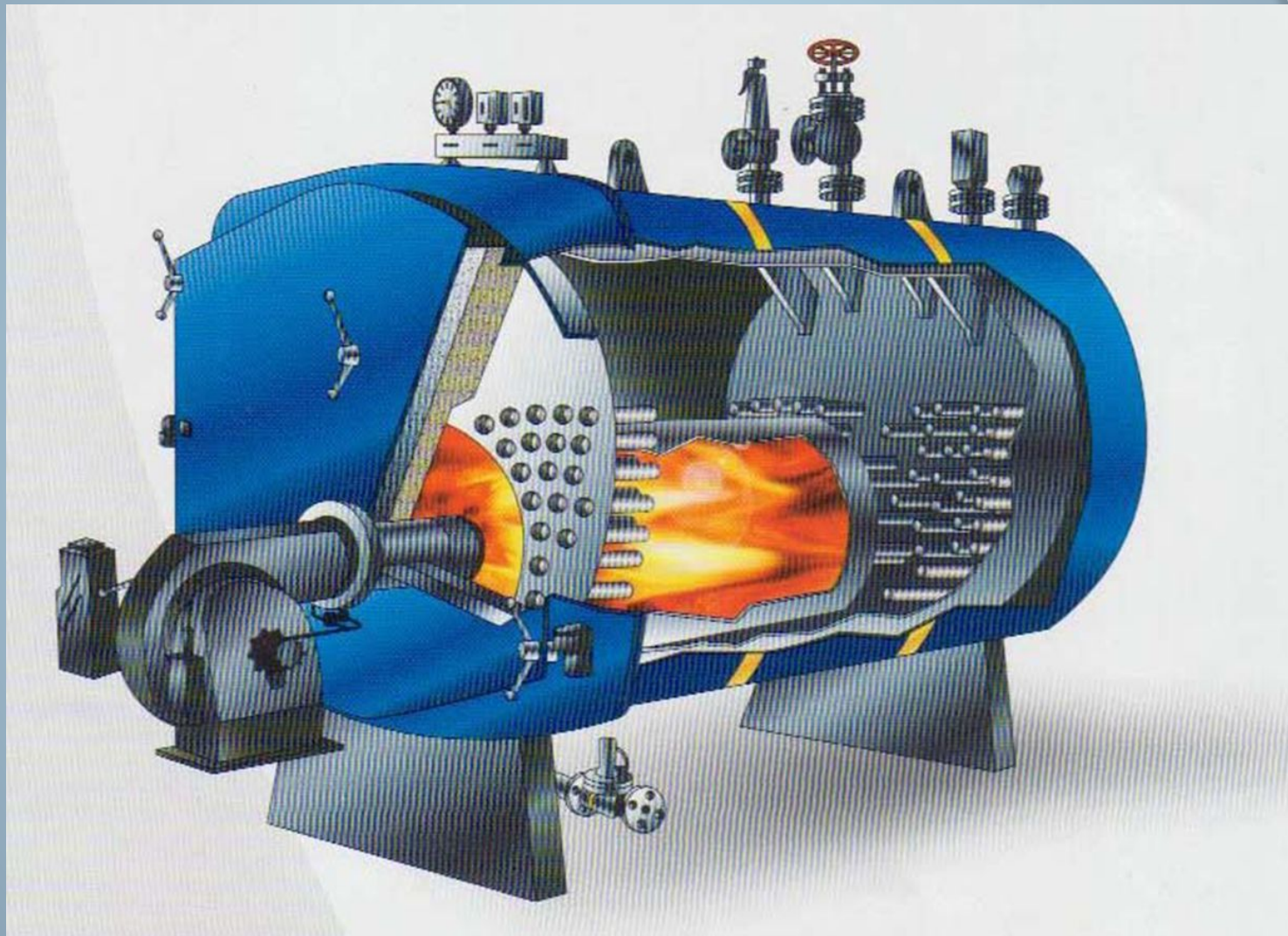
# ОТВЕТЫ:

КИПЕНИЕ	НАСЫЩЕННЫЙ ПАР	СТЕПЕНЬ ПЕРЕГРЕВА ПАРА
СУХОЙ НАСЫЩЕННЫЙ ПАР	ПЕРЕГРЕТЫЙ ПАР	ВЛАЖНЫЙ НАСЫЩЕННЫЙ ПАР

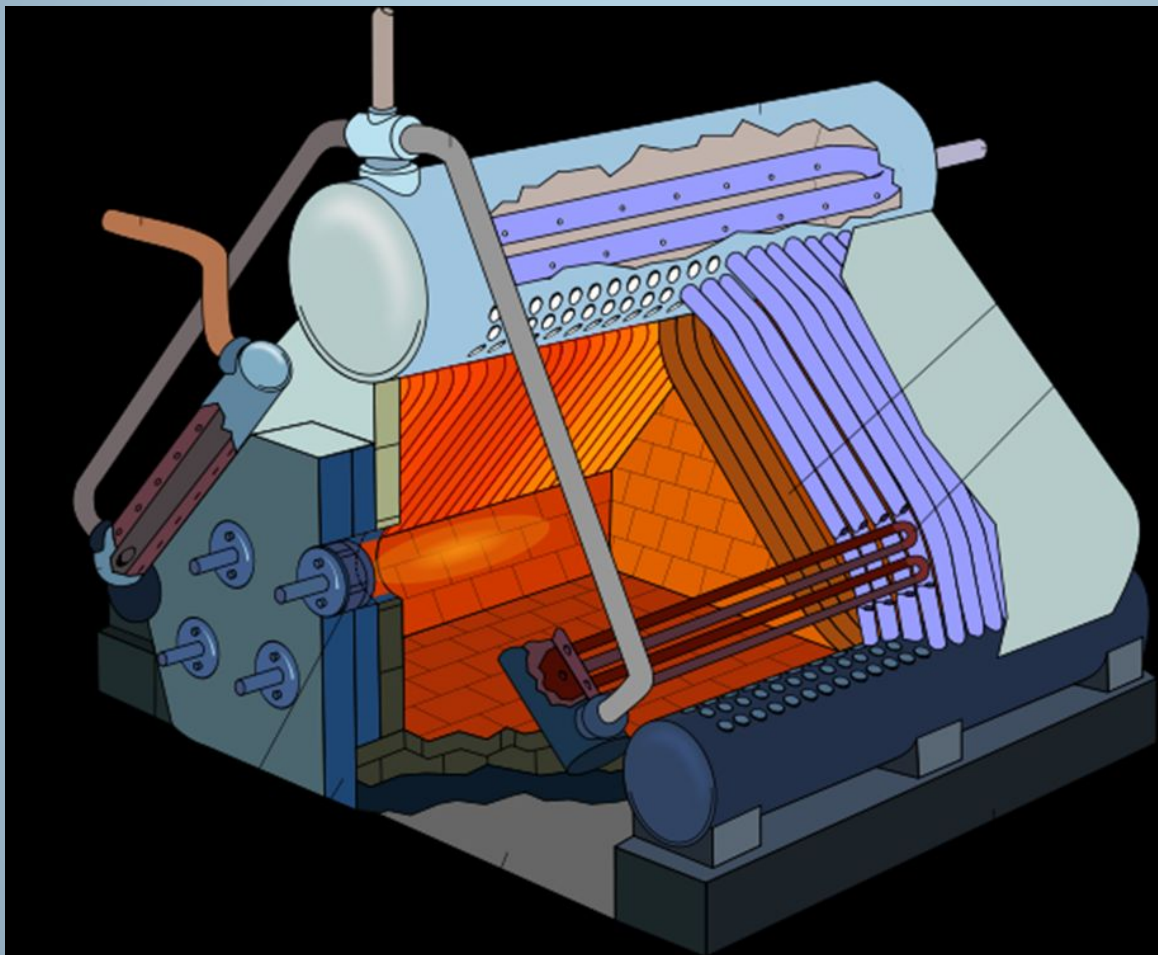
- В каких состояниях может находиться водяной пар как рабочее тело?
- В каких установках получают водяной пар для технических нужд?



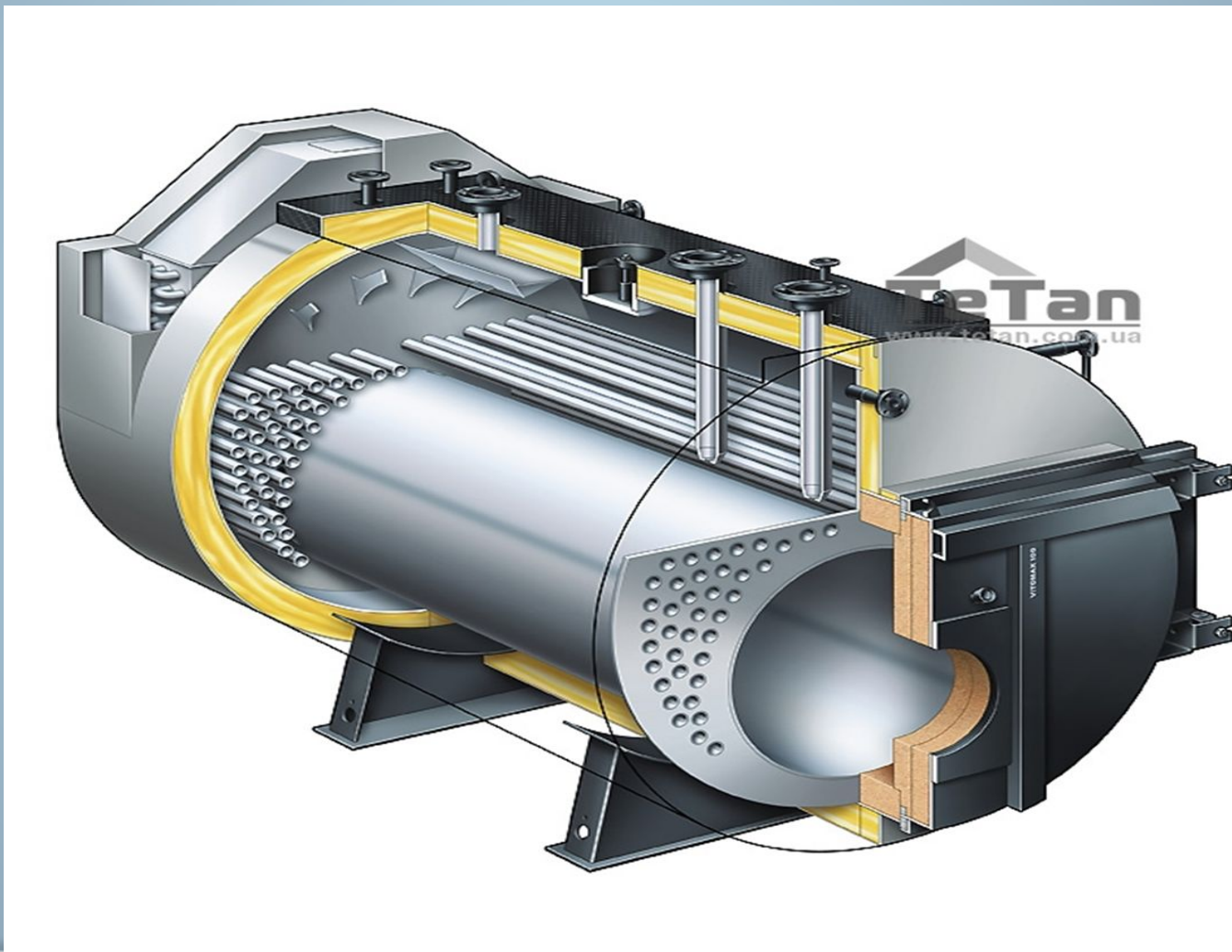
# УСТРОЙСТВА ГЕНЕРИРОВАНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА



# УСТРОЙСТВА ГЕНЕРИРОВАНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА



# УСТРОЙСТВА ГЕНЕРИРОВАНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА



# УСТРОЙСТВА ГЕНЕРИРОВАНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА

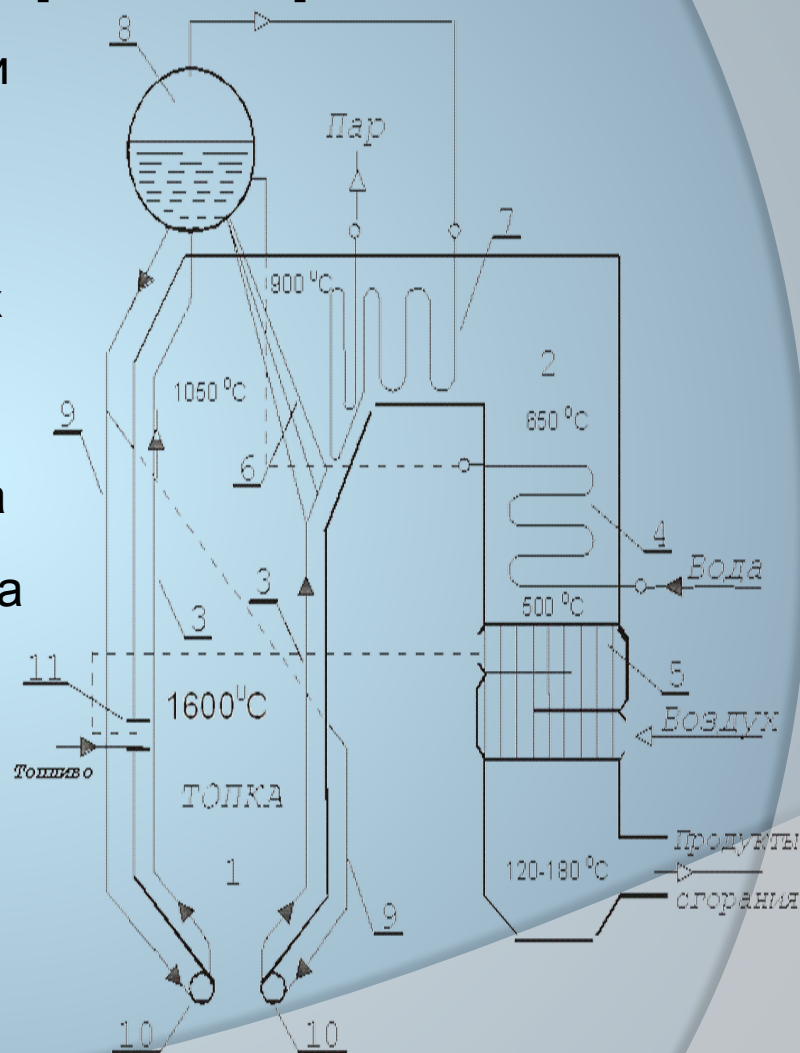


# Схема парогенератора

Котельный агрегат П-образной компоновки состоит из подъёмного 1 и опускного газоходов. Подъёмный газоход 2 представляет собой топку для сжигания топлива, на стенках которой установлены испарительные поверхности нагрева 3 в виде плоских трубчатых панелей, называемых экранами.

В опускном газоходе расположены водяной экономайзер 4 для подогрева питательной воды и воздухоподогреватель 5 для подогрева воздуха, идущего на горение в топку. На выходе из подъёмного газохода расположен фестон 6, представляющий собой разреженный пучок труб - продолжение заднего экрана.

В горизонтальной части газохода расположен пароперегреватель 7, обеспечивающий нагрев пара до заданной температуры.



# Таблицы водяного пара

- *В настоящее время составлены подробные таблицы для перегретых и насыщенных водяных паров до температур 1000 °С и давления 98 МПа. Таблицы составлены с высокой степенью точности. Известны три вида таблиц:*
- *1) термодинамические свойства воды и водяного пара в состоянии насыщения (по температуре);*
- *2) термодинамические свойства воды и водяного пара в состоянии насыщения (по давлению);*
- *3) термодинамические свойства воды и перегретого пара.*

В первой таблице указывают температуры сухого насыщенного пара и кипящей воды и соответствующие им давление, энтальпии, энтропии, теплоту парообразования и удельные объёмы

ПРИЛОЖЕНИЕ 10

Вода и водяной пар на линии насыщения (по температурам)

$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{МПа}$	$v', \text{м}^3/\text{кг}$	$v'', \text{м}^3/\text{кг}$	$i', \text{кДж/кг}$	$i'', \text{кДж/кг}$	$s', \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$	$s'', \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$
0,01	0,0006108	0,0010002	206,3	0	2501	0	9,1544
5	0,0008719	0,0010001	147,2	21,05	2510	0,0762	9,0241
10	0,0012277	0,0010004	106,42	42,04	2519	0,1510	8,8994
15	0,0017041	0,0010010	77,97	62,97	2528	0,2244	8,7806
20	0,002337	0,0010018	57,84	83,90	2537	0,2964	8,6665
25	0,003166	0,0010030	43,40	104,81	2547	0,3672	8,5570
30	0,004241	0,0010044	32,93	125,71	2556	0,4366	8,4523
40	0,007375	0,0010079	19,55	167,50	2574	0,6723	8,2559
60	0,019917	0,0010171	7,678	251,1	2609	0,8311	7,9084
80	0,04736	0,0010290	3,408	334,9	2643	1,0753	7,6116
100	0,10132	0,0010435	1,673	419,1	2676	1,3071	7,3547
120	0,19854	0,0010603	0,8917	503,7	2706	1,5277	7,1298
140	0,3614	0,0010798	0,5087	589,0	2734	1,7392	6,9304
160	0,6180	0,0011021	0,3068	675,5	2758	1,9427	6,7508
180	1,0027	0,0011275	0,1939	763,1	2778	2,1395	6,5858
200	1,5551	0,0011565	0,1272	852,4	2793	2,3308	6,4318
220	2,3201	0,0011900	0,08606	943,7	2802	2,5179	6,2849
240	3,3480	0,0012291	0,05967	1037,5	2803	2,7021	6,1425
260	4,694	0,0012755	0,04215	1135,1	2796	2,8851	6,0013
280	6,491	0,0013322	0,03013	1236,9	2780	3,0681	5,8573
300	8,592	0,0014036	0,02164	1344,9	2749	2,2548	5,7049
320	11,290	0,001499	0,01545	1462,1	2700	3,4495	5,5353
340	14,608	0,001639	0,01078	1594,7	2622	3,6605	5,3361
360	18,674	0,001894	0,006943	1762	2481	3,9162	5,0530
374	22,122	0,00280	0,00347	485,3	512,7	1,0332	1,0755

Примечание. Параметры критического состояния:  $t_{кр} = 374,15^\circ\text{C}$ ;  $p_{кр} = 22,129 \text{ МПа}$ ;  $v_{кр} = 0,00326 \text{ м}^3/\text{кг}$ .

Во второй таблице указывают давление сухого насыщенного пара и кипящей воды и соответствующие им температуру, энтальпии, энтропии, теплоту парообразования и удельные объёмы.

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Вода и водяной пар на линии насыщения (по давлениям)

$p$ , МПа	$t$ , °С	$v'$ , м <sup>3</sup> /кг	$v''$ , м <sup>3</sup> /кг	$i'$ , кДж/кг	$i''$ , кДж/кг	$s'$ , кДж/(кг·К)	$s''$ , кДж/(кг·К)
0,0010	6,92	0,0010001	129,9	29,32	2513	0,1054	8,975
0,0020	17,514	0,0010014	66,97	73,52	2533	0,2609	8,722
0,0030	24,097	0,0010028	45,66	101,04	2545	0,3546	8,576
0,0040	28,979	0,0010041	34,81	121,42	2554	0,4225	8,473
0,0050	32,88	0,0010053	28,19	137,83	2561	0,4761	8,393
0,0100	45,84	0,0010103	14,68	191,9	2584	0,6492	8,149
0,020	60,08	0,0010171	7,647	251,4	2609	0,8321	7,907
0,030	69,12	0,0010222	5,226	289,3	2625	0,9441	7,769
0,050	81,35	0,0010299	3,239	340,6	2645	1,0910	7,593
0,100	99,64	0,0010432	1,694	417,4	2675	1,3026	7,360
0,200	120,23	0,0010605	0,8854	504,8	2707	1,5302	7,127
0,30	133,54	0,0010733	0,6057	561,4	2725	1,672	6,992
0,50	151,84	0,0010927	0,3747	640,1	2749	1,860	6,822
1,00	179,88	0,0011273	0,1946	762,7	2778	2,138	6,587
1,50	198,28	0,0011539	0,1317	844,6	2792	2,314	6,445
2,00	212,37	0,0011766	0,09958	908,5	2799	2,447	6,340
2,50	223,93	0,0011972	0,07993	951,8	2802	2,554	6,256
3,00	233,83	0,0012163	0,06665	1008,3	2804	2,646	6,186
4,00	250,33	0,0012520	0,04977	1087,5	2801	2,796	6,070
5,00	263,91	0,0012857	0,03944	1154,4	2794	2,921	5,973
6,00	275,56	0,0013185	0,03243	1213,9	2785	3,027	5,890
8,00	294,98	0,0013838	0,02352	1317,0	2758	3,208	5,745
10,00	310,96	0,0014521	0,01803	1407,7	2725	3,360	5,615
15,06	342,11	0,001658	0,01035	1610	2611	3,684	5,310
20,00	365,71	0,00204	0,00585	1827	2410	4,015	4,928
22,00	373,7	0,00273	0,00367	2016	2168	4,303	4,591

Примечание. Параметры критического состояния:  $t_{кр} = 374,15^\circ\text{C}$ ;  $p_{кр} = 22,129$  МПа;  $v_{кр} = 0,00326$  м<sup>3</sup>/кг.



В третьей таблице для различных сочетаний температур и давлений приводятся соответствующие им энтальпия, энтропия и удельный объём воды или перегретого пара.

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

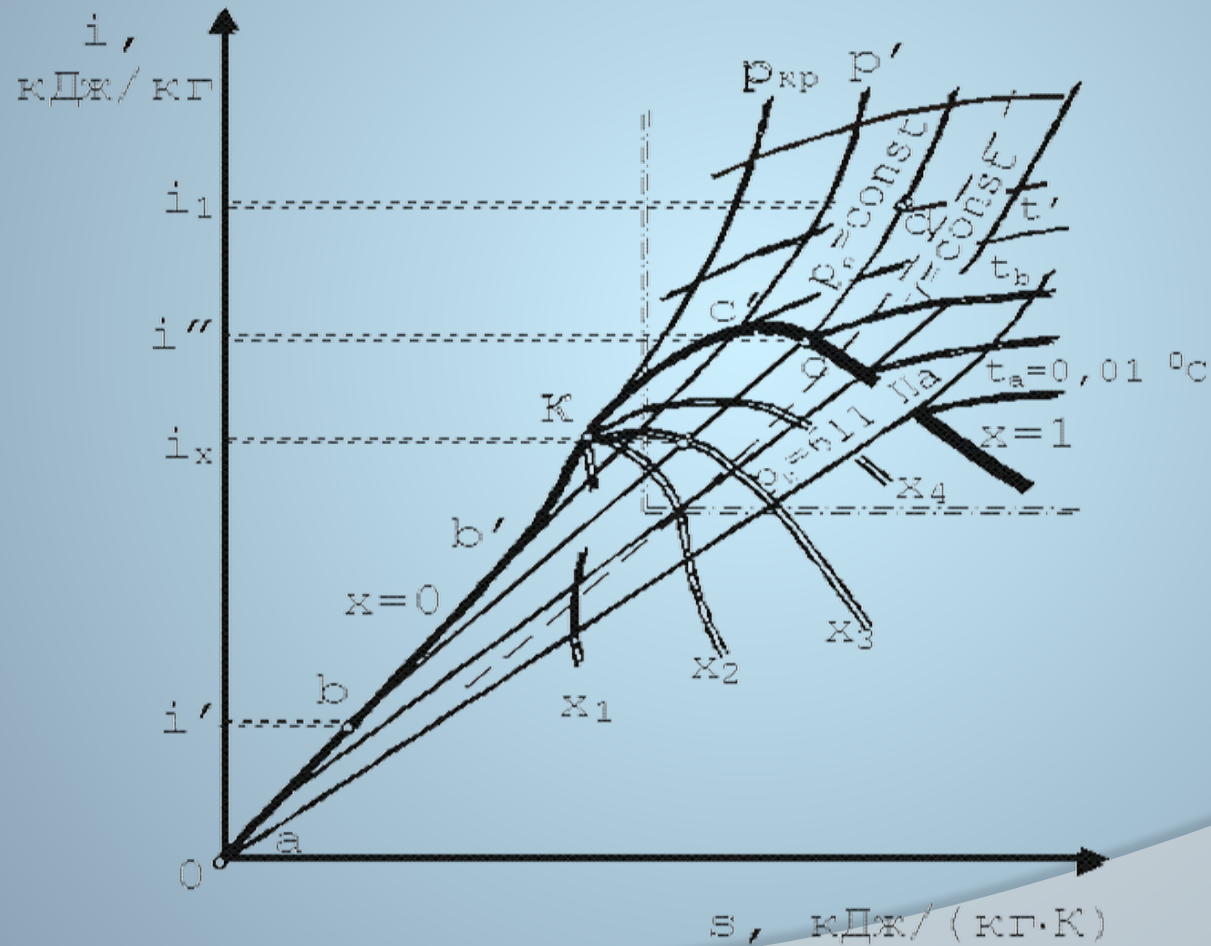
Физические характеристики воды на линии насыщения

$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{МПа}$	$c_p, \text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	$\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	$\mu \cdot 10^6, \text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$	$\text{Pr}$	$\nu \cdot 10^3, \text{м}^2/\text{кг}$
0,01	0,00061	4,218	55,13	1786,5	13,67	1,0002
10	0,00123	4,193	57,56	1304,4	9,52	1,0004
20	0,00234	4,182	59,9	1003,5	7,02	1,0018
30	0,00424	4,178	61,8	800,7	5,42	1,0044
40	0,00738	4,179	63,4	652,7	4,31	1,0079
50	0,01234	4,181	64,8	548,8	3,54	1,0121
60	0,01992	4,184	65,9	469,4	2,98	1,0171
70	0,03117	4,189	66,8	405,7	2,55	1,0228
80	0,04736	4,196	67,5	354,8	2,21	1,0290
90	0,07011	4,205	68,0	314,6	1,95	1,0359
100	0,10132	4,217	68,3	282,2	1,75	1,0435
110	0,14326	4,230	68,5	258,7	1,60	1,0515
120	0,19854	4,245	68,6	237,6	1,47	1,0603
130	0,27011	4,264	68,6	217,6	1,36	1,0697
140	0,3614	4,286	68,5	200,9	1,26	1,0798
150	0,4760	4,311	68,4	186,2	1,17	1,0906
160	0,6180	4,346	68,3	173,5	1,10	1,1021
170	0,7920	4,372	67,9	162,7	1,04	1,1144
180	1,0027	4,409	67,5	152,9	1,00	1,1275
190	1,2553	4,451	67,0	144,1	0,96	1,1415
200	1,5551	4,498	66,3	136,2	0,93	1,1565
210	1,9080	4,552	65,5	130,3	0,91	1,1726
220	2,3201	4,614	64,5	124,5	0,89	1,1900
230	2,7979	4,686	63,7	119,6	0,88	1,2087
240	3,3480	4,769	62,8	114,7	0,87	1,2291
250	3,9776	4,866	61,8	108,8	0,86	1,2512
260	4,694	4,981	60,5	105,8	0,87	1,2755
270	5,505	5,118	59,0	101,9	0,88	1,3023
280	6,419	5,28	57,5	98,0	0,90	1,3321
290	7,445	5,49	55,8	94,1	0,93	1,3655
300	8,592	5,75	54,0	91,1	0,97	1,4036
310	9,870	6,10	52,3	88,2	1,03	1,447
320	11,290	6,56	50,6	85,3	1,11	1,499
330	12,865	7,21	48,4	81,3	1,22	1,562
340	14,608	8,16	45,7	77,4	1,39	1,639
350	16,537	9,80	43,0	72,5	1,60	1,741
360	18,674	13,98	39,5	66,6	2,35	1,894
370	21,053	40,32	33,7	56,8	6,79	2,22

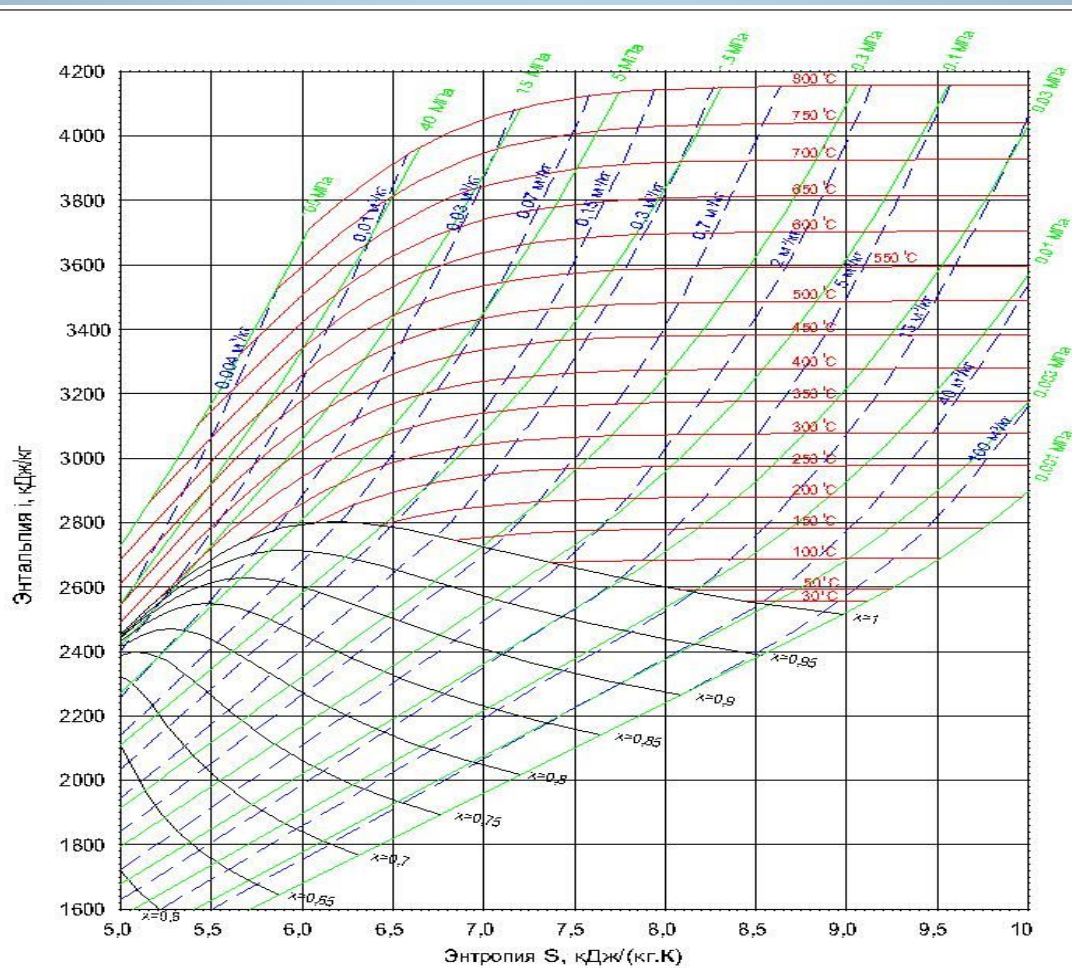
# Задание 5:

По таблицам определить параметры водяного пара по исходным данным.

# Is-диаграмма состояния водяного пара



# Учебная I-S-диаграмма состояния водяного пара



Рабочая часть  $i$ - $s$  диаграммы водяного пара

# ВЫВОД:

- *I*S-диаграмма обладает рядом важных свойств: по ней можно быстро определить параметры пара и разность энтальпий в виде отрезков, наглядно изобразить адиабатный процесс, имеющий большое значение при изучении работы паровых двигателей, и решать другие задачи.

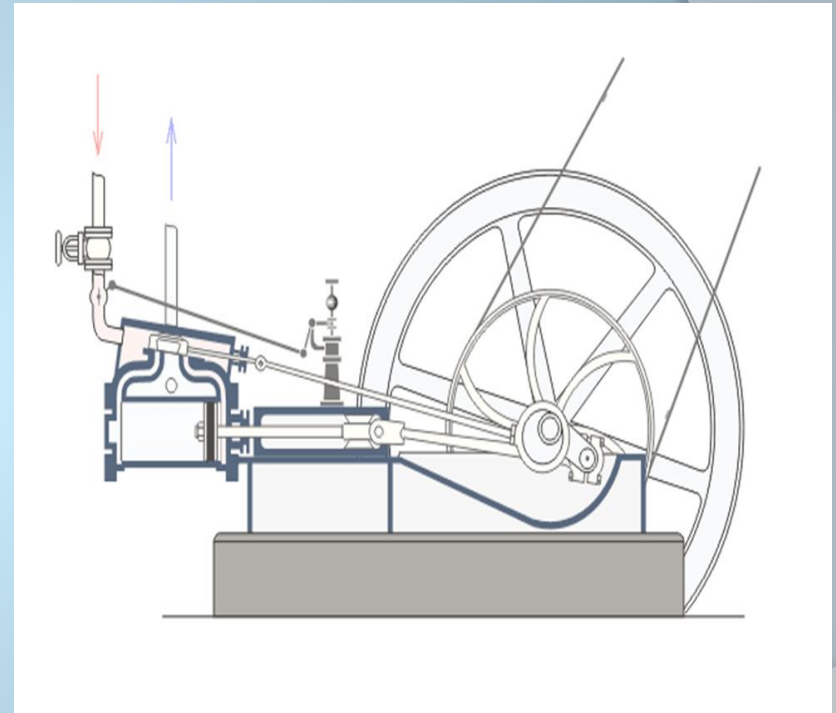
# Задание 6:

- Определить параметры состояния водяного пара по  $i$ - $s$ -диаграмме, начертить схему процесса.

	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
$P, \text{ бар}$	2	5	10	20
$T, \text{ }^\circ\text{C}$	200	300	400	500

# Применение водяного пара

Паровая машина — тепловой двигатель внешнего сгорания, преобразующий энергию водяного пара в механическую работу возвратно-поступательного движения поршня, а затем во вращательное движение вала.



# Из истории паровых машин

- Первая паровая машина построена в XVII в. Папеном и представляла цилиндр с поршнем, который поднимался действием пара, а опускался давлением атмосферы после сгущения отработавшего пара. На этом же принципе были построены в 1705 паровые машины Севери и Ньюкомена для выкачивания воды из копей. Окончательные усовершенствования в паровой машине были сделаны Ваттом (Уатт) в 1769.



# Применение водяного пара

Паровая турбина — тепловой двигатель, в котором энергия пара преобразуется в механическую работу.

В лопаточном аппарате паровой турбины потенциальная энергия сжатого и нагретого водяного пара преобразуется в кинетическую, которая в свою очередь преобразуется в механическую работу — вращение вала турбины.



# Использование водяного пара в нефтегазовой отрасли:

- Подогрев нефтепродуктов перед сливом из ж/д цистерн;
- Прогрев неподвижных нефтепродуктов при хранении в резервуарах;
- Промыв и пропарка цистерн и танкеров для перевозки нефти и нефтепродуктов;
- В компрессорах установки первичной перегонки нефти ЛК-6У;
- Трубчатые печи;
- Теплообменные аппараты (рибойлеры);
- Паровая завеса на случай пожара.

# Параметры оценки

- Оценка «5»: 29-32 балла
- Оценка «4»: 26-28 баллов
- Оценка «3»: 19-25 баллов
- Оценка «2»: менее 19 баллов

# Домашнее задание:



## Обязательное:

- Опорный конспект, повторить;
- В.Е.Егорушкин «Основы гидравлики и теплотехники», §11, стр 124-131, читать;
- Составить 10 вопросов по теме.

## На выбор:

- Составить кроссворд;
- Подобрать видеоматериал по использованию водяного пара.