

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
(НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ»)



УТВЕРЖДАЮ  
Заместитель директора по УР  
Н.И. Никифорова  
«17» 04 2021г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

по дисциплине (модулю)

**Б1.О.24 «Техническая термодинамика»**

(код и наименование дисциплины (модуля))

**18.03.01 «Химическая технология»**

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

«ХТОВ», «ХТВМС», «ХТПЭУМ»

( наименование профиля/специализации)

бакалавр

(квалификация)

Форма обучения очная, очно-заочная, заочная

Составитель ФОС:

Доцент

(должность)

  
(подпись)

А.А.Сагдеев

(Ф.И.О)

ФОС рассмотрен и одобрен на заседании кафедры ПАХТ,  
протокол от 16.02.2021 г. № 5

Зав. кафедрой

  
(подпись)

Д.Н.Латыпов

(Ф.И.О.)

## **СОГЛАСОВАНО**

Протокол заседания кафедры НХС, реализующей подготовку основной образовательной программы  
от 24.03 2021 г. № 8

Зав. кафедрой

  
(подпись)

Т. Б. Минигалеев

(Ф.И.О.)

Эксперт:

Ответственный за ООП, разработчик доцент кафедры НХС Новожилова А.И.



### **Перечень компетенций с указанием уровней их формирования**

*Компетенция:*

*ОПК-2 Способен использовать математические, физические, физико-химические, химические методы для решения задач профессиональной деятельности*

*ОПК-2.1 Знает основы дифференциального и интегрального исчисления, дифференциальных уравнений, теории вероятностей и математической статистики, технические и программные средства реализации информационных технологий, физические основы механики, физики колебаний волн, электричества и магнетизма, электродинамики, статистической физики и термодинамики, основы химии, принципы строения вещества, основы классификации соединений, основные механизмы протекания химических реакций, основные законы термодинамики*

*ОПК-2.2 Умеет проводить анализ функций, решать основные задачи теории вероятности и математической статистики, решать уравнения и системы дифференциальных уравнений, работать в качестве пользователя персонального компьютера, использовать численные методы решения математических задач, использовать языки и системы программирования, использовать физические законы, химические законы, термодинамические справочные данные, результаты физико-химического эксперимента*

*ОПК-2.3 Владеет навыками использования математического аппарата, навыками поиска и обмена информацией в глобальных и локальных компьютерных сетях, техническими и программными средствами защиты информации, проведения физических измерений, корректной оценки погрешностей, проведения дисперсного анализа и синтеза, экспериментальными навыками определения физических и химических свойств соединений, установления структуры соединений, навыками решения типовых задач в области химической термодинамики*

<b>Индекс Компетенции</b>	<b>Содержание компетенции</b>	<b>Лекции</b>	<b>Практические занятия</b>	<b>Лабораторные занятия</b>	<b>Наименование оценочного средства</b>
ОПК-2.1	Знает основы дифференциального и интегрального исчисления, дифференциальных уравнений, теории вероятностей и математической статистики, технические и программные средства реализации информационных технологий, физические основы механики, физики	<b>Тема 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10</b>	-	<b>Тема 3,5,6,10</b>	Тест. Лабораторные работы. Реферат. Контрольная работа(для заочной формы обучения).

	колебаний волн, электричества и магнетизма, электродинамики, статистической физики и термодинамики, основы химии, принципы строения вещества, основы классификации соединений, основные механизмы протекания химических реакций, основные законы термодинамики				
ОПК-2.2	Умеет проводить анализ функций, решать основные задачи теории вероятности и математической статистики, решать уравнения и системы дифференциальных уравнений, работать в качестве пользователя персонального компьютера, использовать численные методы решения математических задач, использовать языки и системы программирования, использовать физические законы, химические законы, термодинамические справочные данные, результаты физико-химического эксперимента	<b>Тема 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10</b>	-	<b>Тема 3,5,6,10</b>	Тест. Лабораторные работы. Реферат. Контрольная работа(для заочной формы обучения)..

ОПК-2.3.	<p><i>Владеет навыками использования математического аппарата, навыками поиска и обмена информацией в глобальных и локальных компьютерных сетях, техническими и программными средствами защиты информации, проведения физических измерений, корректной оценки погрешностей, проведения дисперсного анализа и синтеза, экспериментальными навыками определения физических и химических свойств соединений, установления структуры соединений, навыками решения типовых задач в области химической термодинамики</i></p>	<p><b>Тема</b> <b>1,2,3,4,5,6,7,8,9,10</b></p>		<p><b>Тема 3,5,6,10</b></p>	<p>Тест. Лабораторные работы. Реферат. Контрольная работа(для заочной формы обучения)..</p>
----------	--	--	--	-----------------------------	---

**Перечень оценочных средств по дисциплине (модулю)**

<b>Форма обучения</b>	<b>Наименование оценочных средств</b>	<b>Количество баллов</b>
очная	Тест	max 20 - min 10
	Реферат	max 20 - min 10
	Лабораторные работы	max 60 - min 40
	итого	max 100 - min 60
	<b>Форма контроля –зачет</b>	
очно-заочная		
	Тест	max 20 - min 10
	Реферат	max 20 - min 10
	Лабораторные работы	max 60 - min 40
	итого	max 100 - min 60
	<b>Форма контроля –зачет</b>	
заочная (заочная на базе ВО)	Тест	max 20 - min 10
	Контрольная работа.	max 20 - min 10
	Лабораторные работы	max 60 - min 40
	итого	max 100 - min 60
	<b>Форма контроля –зачет</b>	

<b>Форма обучения</b>	<b>Наименование оценочных средств</b>	<b>Количество баллов</b>
Очная/очно-заочная /заочная /(заочная на базе ВО)	Курсовая работа	max 100 - min 60

### ***Шкала оценивания***

<b>Цифровое выражение</b>	<b>Выражение в баллах:</b>	<b>Словесное выражение</b>	<b>Критерии оценки индикаторов достижения при форме контроля:</b>	
			<b>экзамен / зачет с оценкой</b>	<b>зачет</b>
5	87 - 100	Отлично (зачтено)	Оценка «отлично» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов; исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний; использует в ответе дополнительный материал все предусмотренные программой задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному; анализирует полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий	Оценка «зачтено» выставляется студенту, если ответы на вопросы по темам дисциплины последовательны, логически изложены, допускаются незначительные недочеты в ответе студента, такие как отсутствие самостоятельного вывода, речевые ошибки и пр
4	74 - 86	Хорошо (зачтено)	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, необходимые практические компетенции в основном сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения достаточно высокое. Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.	
3	60 - 73	Удовлетвори тельно (зачтено)	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, большинство предусмотренных программой заданий выполнено, но в них имеются ошибки, при ответе на поставленный вопрос студент допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, наблюдаются нарушения логической последовательности в изложении программного материала.	
2	Ниже 60	Неудовлетвор ительно (не зачтено)	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы, необходимые практические компетенции не сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному	Оценка «не зачтено» выставляется студенту, если студент не знает основных понятий темы дисциплины, не отвечает на дополнительные и наводящие вопросы преподавателя.

### Краткая характеристика оценочных средства

<i>№ п/п</i>	<i>Наименование оценочного средства</i>	<i>Краткая характеристика оценочного средства</i>	<i>Представление оценочного средства в фонде</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1.	Лабораторная работа	Это вид учебной работы, целью которой является изучение (исследование, измерение) характеристик лабораторного объекта. Цель лабораторных занятий: освоение изучаемой учебной дисциплины; приобретение навыков практического применения знаний учебной дисциплины (дисциплин) с использованием технических средств и (или) оборудования	Темы лабораторных работ, контрольные вопросы по теме лабораторной работы
2.	Реферат	Продукт самостоятельной работы студента, представляющий собой краткое изложение в письменном виде полученных результатов теоретического анализа определенной научной (учебно-исследовательской) темы, где автор раскрывает суть исследуемой проблемы, приводит различные точки зрения	Темы рефератов
3.	Тест	Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.	Фонд тестовых заданий
4.	Курсовая работа	Конечный продукт, получаемый в результате планирования и выполнения комплекса учебных и исследовательских заданий. Позволяет оценить умения обучающихся самостоятельно конструировать свои знания в процессе решения практических задач и проблем, ориентироваться в информационном пространстве и уровень сформированности аналитических, исследовательских навыков, навыков практического и творческого мышления. Может выполняться в индивидуальном порядке или группой обучающихся.	Темы групповых и/или индивидуальных курсовых работ

5.	Контрольная работа	Средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу.	Комплект контрольных заданий по вариантам
----	--------------------	--	---

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет механический*

*Кафедра ПАХТ*

Направление подготовки/специальность: 18.03.01 «Химическая технология»

**Тест**  
**по дисциплине Б1.О.24 «Техническая термодинамика»**

**Вариант 1**

1. Основные параметры состояния тела:

1) абсолютное давление; 2) удельная теплота; 3) удельный объем; 4) абсолютная температура; 5) удельная работа

2. Давление газа в соответствии с молекулярно-кинетической теорией определяется соотношением:

$$1) P = \frac{2}{3} n \cdot \frac{m \omega^2}{2}; \quad 2) P = \frac{3}{2} \frac{m \omega^2}{2} n; \quad 3) P = \frac{2}{3} \frac{m \omega^2}{2} \nu; \quad 4) P = \frac{m \omega^2}{2} n.$$

3. Найти абсолютное давление в случае вакуума:

$$1) P_{абс} = P_{атм} - P_{вак}; \quad 2) P_{абс} = P_{атм} + P_{вак}; \\ 3) P_{абс} = P_{атм} + P_{изб}; \quad 4) P_{абс} = P_{атм} - P_{изб}.$$

4. Укажите соответствие величины давления 20 кПа, записанного в различных системах измерения:

$$1) 0,2 \text{ бар} \quad 2) 2 \text{ МПа} \\ 3) 20 \text{ МПа} \quad 4) 200 \text{ бар}$$

5. Физический смысл газовой постоянной  $R$  – представляет собой удельную работу изменения объема, совершаемую 1 кг рабочего вещества при изменении его температуры на 1 К в:

- 1) изобарном процессе;
- 2) адиабатном процессе;
- 3) изохорном процессе;
- 4) изотермическом процессе.

6. Укажите размерность газовой постоянной  $R$ :

$$1) \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \quad 2) \frac{\text{Дж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}; \quad 3) \frac{\text{Вт}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \quad 4) \frac{\text{Вт}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}.$$

7. Укажите уравнение Клапейрона – Менделеева:

$$1) pV_{\mu} = R_m \cdot T; \\ 2) p\nu = RT; \\ 3) pV = mRT;$$

$$4) \quad RV = RT.$$

8. Отметьте правильное выражение для закона Бойля-Мариотта:

$$1) \frac{v_1}{v_2} = \frac{p_1}{p_2}; \quad 2) \frac{v_1}{v_2} = \frac{p_2}{p_1}; \quad 3) \frac{T_1}{T_2} = \frac{p_2}{p_1}; \quad 4) \frac{T_1}{T_2} = \frac{v_2}{v_1}.$$

9. Чем отличаются реальные газы от идеальных

- 1) молекулы этих газов имеют конечные собственные объемы и связаны между собой силами взаимодействия;
- 2) молекулы этих газов имеют конечные собственные объемы и не связаны между собой силами взаимодействия;
- 3) представляют систему материальных точек, находящихся в беспорядочном движении и не взаимодействующих между собой;
- 4) представляют систему материальных точек, находящихся в беспорядочном движении и взаимодействующих между собой.

10. Какая из перечисленных диаграмм называется диаграммой Эндрюса:

- 1)  $p\nu$  - диаграмма реального вещества;
- 2)  $p\nu$  - диаграмма идеального вещества;
- 3)  $Ts$  - диаграмма влажного пара;
- 4)  $is$  - диаграмма влажного воздуха.

11. Укажите аналитическое выражение I закона термодинамики:

- 1)  $dq = du + dl$ ;      2)  $du = dq + dl$ ;
- 3)  $dq = di - \nu dp$ ;      4)  $dq = di - pd\nu$ .

12. Укажите правильные выражения, устанавливающие связь между теплоемкостями:

$$1) C_p = C'_p \cdot \nu_0 = \frac{\mu C_p}{\mu}; \quad 2) C'_p = \frac{C_p}{\rho};$$

$$3) C_p - C_v = R; \quad 4) C_p = C_v - R;$$

$$5) C_v = \frac{C'_v}{\rho_0} = \frac{\mu C_v}{\mu}; \quad 6) C'_v = \frac{\mu C_v}{22,4}$$

13. Укажите какие из перечисленных выражений являются уравнениями 1-го закона термодинамики для адиабатического процесса:

- 1)  $dq = p \cdot d\nu$ ;
- 2)  $du = -p \cdot d\nu$ ;
- 3)  $dq = du$ ;
- 4)  $du = -\nu \cdot dp$ .

14. Укажите выражение, определяющее величину холодильного коэффициента обратного термодинамического цикла:

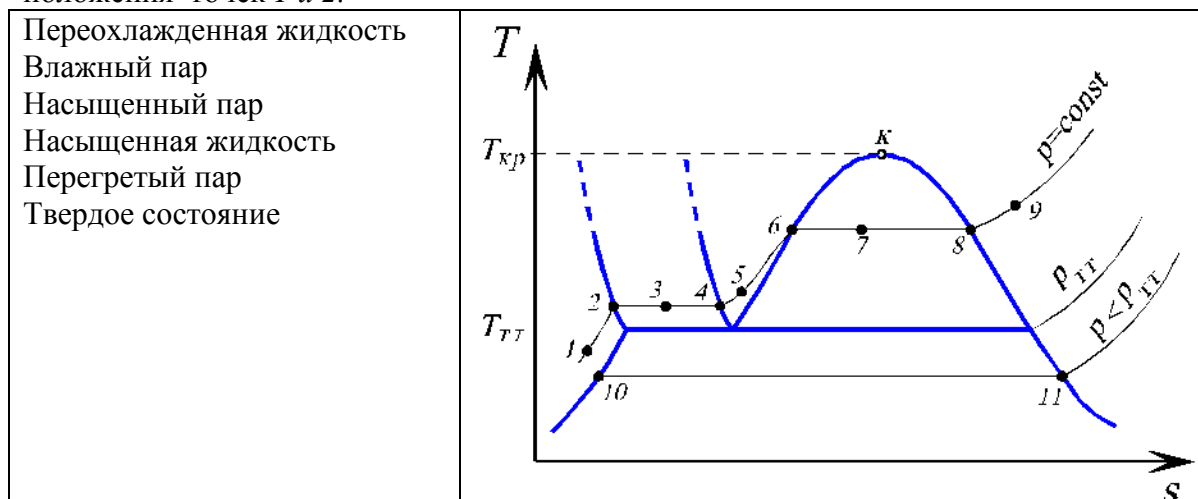
$$1) \varepsilon = \frac{q_2}{l}; \quad 2) \varepsilon = \frac{q_1}{l};$$

$$3) \varepsilon = \frac{l}{q_1}; \quad 4) \varepsilon = \frac{l}{q_2}$$

15. Что такое степень сухости:

- 1) отношение массы сухого пара к массе влажного;
- 2) отношение массы сухого пара к массе жидкости;
- 3) отношение массы влажного пара к массе сухого;
- 4) отношение массы жидкости к массе сухого пара.

16. На  $Ts$  – диаграмме отмечены точки 1, 2, 3, 4, 5. Какому состоянию вещества соответствуют положения точек 1 и 2.



17. Укажите выражение для определения термического коэффициента полезного действия прямого цикла:

- |                                       |                                 |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| 1) $\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1}$ ; | 2) $\eta_t = \frac{l}{q_1}$ ;   |
| 3) $\eta_t = \frac{q_1}{q_1 - q_2}$ ; | 4) $\eta_t = \frac{q_2}{q_1}$ . |

18. Под холодильным коэффициентом обратного термодинамического цикла понимается:

- 1) какое количество теплоты отнимается от холодного источника при затрате одной единицы работы;
- 2) отношение количества теплоты, превращенной в положительную работу за один цикл, по всей теплоте, подведенной к рабочему телу;
- 3) отношение количества теплоты, превращенной в положительную работу к количеству теплоты, отнимаемого от холодного источника;
- 4) отношение количества теплоты, отнимаемое от холодного источника, ко всей теплоте, подведенной к рабочему телу.

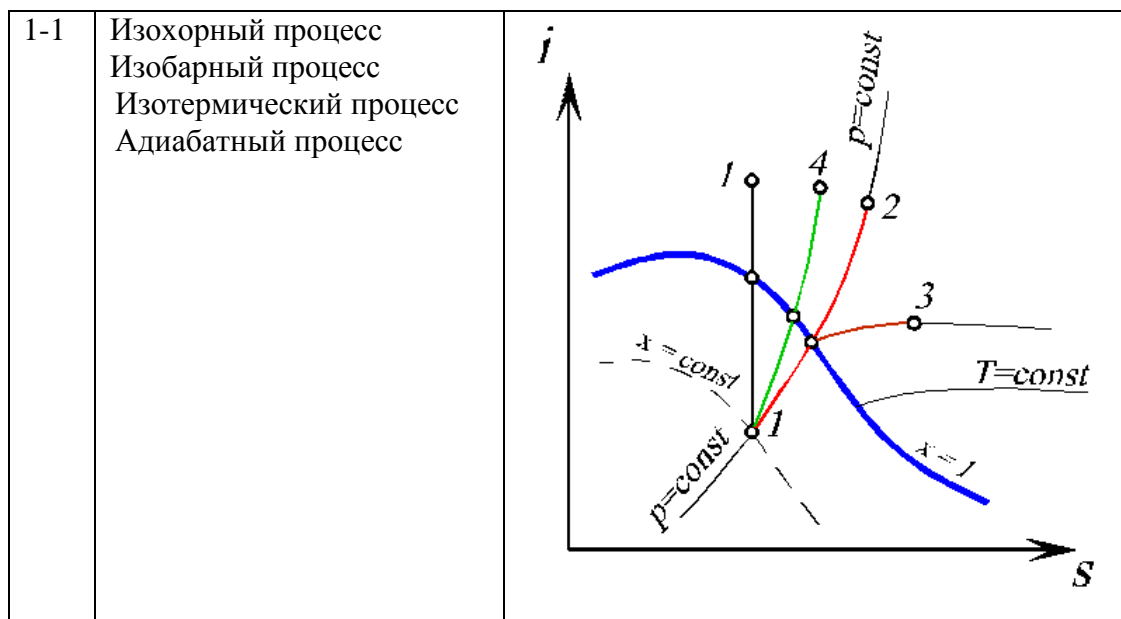
19. Что происходит в критической точке:

- а) исчезает различие между жидкостью и паром;
- б) находятся в равновесии три фазы однородного вещества;
- в) осуществляется переход твердого вещества непосредственно в пар;
- г) процесс превращения вещества из жидкого состояния в парообразное

20. На  $p_v$ -диаграмме водяного пара изображено четыре различных процесса:

1-1; 1-2; 1-3 и 1-4. Укажите соответствие между процессом 1-1 и его названием.



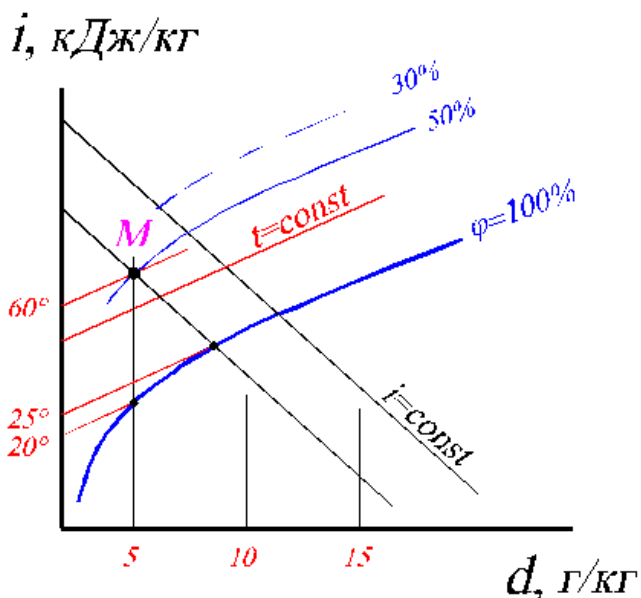


24. Укажите, как определяется количество теплоты в изохорном процессе.

- 1)  $q = u_2 - u_1 = i_2 - i_1 - \nu(p_2 - p_1)$ ;
- 2)  $q = i_2 - i_1$ ;
- 3)  $q = T(s_2 - s_1)$ ;
- 4)  $q = 0$

25. На  $id$ - диаграмме влажного воздуха отмечена точка М, укажите значения параметров влажного воздуха в этой точке.

- 1) температура сухого термометра (температура воздуха);
- 2) температура мокрого термометра.



Вариант 2

1. Единицей измерения количества энергии является:

- 1) Вт;
- 2) Дж;
- 3)  $\frac{H}{m^2}$ ;
- 4)  $\frac{Дж}{с}$ .

2. Удельный объем есть величина, обратная:

- 1) давлению;
- 2) плотности;
- 3) объему;
- 4) температуре.

3. Найти абсолютное давление в случае избыточного давления:

- 1)  $P_{абс} = P_{атм} - P_{вак}$ ;
- 2)  $P_{абс} = P_{атм} + P_{вак}$ ;
- 3)  $P_{абс} = P_{атм} + P_{изб}$ ;
- 4)  $P_{абс} = P_{атм} - P_{изб}$ .

4. Укажите соответствие величины давления 20 бар, записанного в различных системах измерения:

- 1) 0,2 МПа;                      2) 20 МПа;  
3) 2 МПа;                        4) 200 кПа.

5. Универсальная газовая постоянная  $R_m$  есть работа 1 кмоль идеального газа, совершаемая при изменении температуры на 1 °С при постоянном значении!

- 1) объема;                        2) давления;  
3) энтропии;                      4) энтальпии.

6. Укажите размерность универсальной газовой постоянной  $R_m$ :

- 1)  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ ;    2)  $\frac{\text{Вт}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ ;    3)  $\frac{\text{Дж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}$ ;    4)  $\frac{\text{Вт}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ .

7. Температура при нормальных физических условиях равна:

- 1) 273,15 К;                      2) 283,15 К;  
3) 293,15 К;                      4) 303,15 К.

8. Отметьте правильное выражение для закона Гей-Люссака:

- 1)  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{p_1}{p_2}$ ; 2)  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{p_2}{p_1}$ ; 3)  $\frac{T_1}{T_2} = \frac{p_2}{p_1}$ ; 4)  $\frac{T_1}{T_2} = \frac{v_2}{v_1}$ .

9. Какое определение подходит к понятию идеального газа.

- 1) молекулы этих газов имеют конечные собственные объемы и связаны между собой силами взаимодействия;  
2) молекулы этих газов имеют конечные собственные объемы и не связаны между собой силами взаимодействия;  
3) представляют систему материальных точек, находящихся в беспорядочном движении и не взаимодействующих между собой;  
4) представляют систему материальных точек, находящихся в беспорядочном движении и взаимодействующих между собой.

10. Закон Дальтона справедлив для

- 1) идеального газа;  
2) газовой смеси идеальных газов;  
3) реального газа;  
4) газовой смеси реальных газов

11. Точка, в которой исчезает различие между газообразной и жидкой фазами, называют:

- 1) тройной;                      2) критической;  
3) плавления;                    4) кипения.

12. Укажите уравнение Майера:

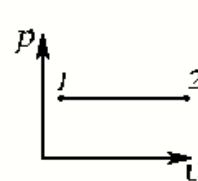
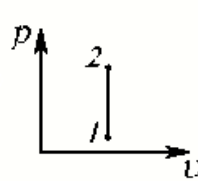
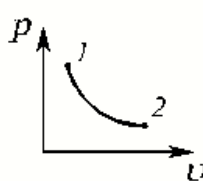
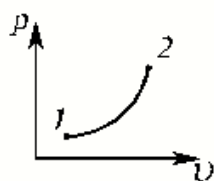
- 1)  $C_p = C_v + R$ ;                      2)  $R = C_p + C_v$ ;  
3)  $C_v = C_p + R$ ;                      4)  $C_p = C_v - R$ ;

13. Укажите какие из перечисленных выражений являются уравнениями 1-го закона термодинамики для изотермического процесса:

- 1)  $dq = p \cdot dv$ ;  
2)  $du = -p \cdot dv$ ;  
3)  $dq = du$ ;  
4)  $du = -v \cdot dp$ .

14. Отметьте правильное графическое изображение для закона Бойля-Мариотта.

- 1)                                      2)                                      3)                                      4)



15. Укажите уравнения, отображающие поведение реального газа.

- 4) Ван-дер-Ваальса;
- 5) Клапейрона;
- 6) Клапейрона-Менделеева;
- 4) Вукаловича и Новикова.

16. Отметьте, какие из ниже перечисленных суждений описывают 2-й закон термодинамики:

- 1) теплота не может переходить от холодного тела к более нагретому сама собой;
- 2) не вся теплота, полученная в тепловом двигателе от источника теплоты, может перейти в работу;
- 3) осуществление вечного двигателя второго рода не возможно;
- 4) количество теплоты подведенное к телу, или отводимое от него, зависит от характера процесса.

17. Какой из ниже перечисленных термодинамических циклов является прямым?

- 1) в результате которого получается положительная работа (в нем работа расширения больше работы сжатия);
- 2) в результате которого получается положительная работа (работа расширения меньше работы сжатия);
- 3) в результате которых расходуется работа (в нем работа сжатия больше работы расширения);
- 4) в результате которых расходуется работа (в нем работа сжатия меньше работы расширения).

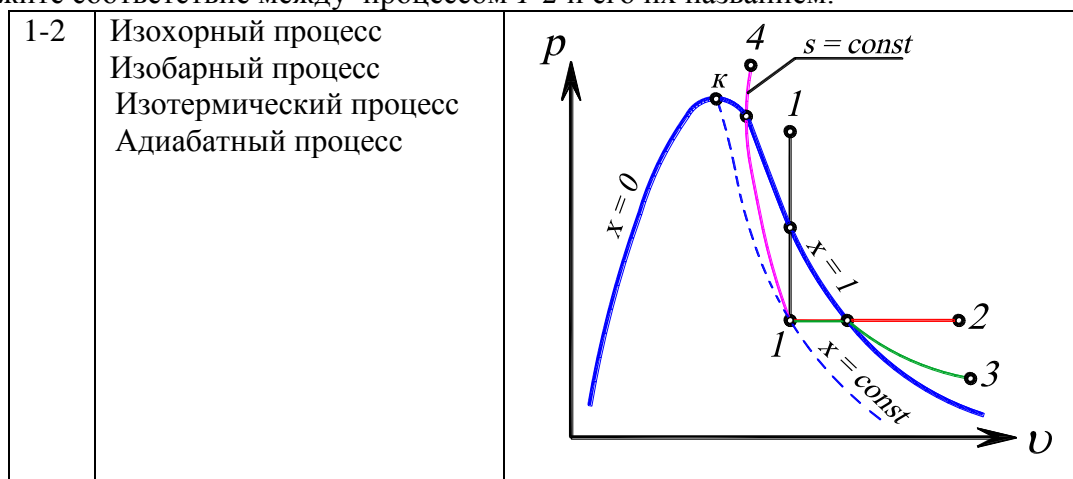
18. Переход вещества из твердого состояния в жидкое называют:

- 1) сублимацией;
- 2) плавлением;
- 3) парообразованием;
- 4) конденсацией.

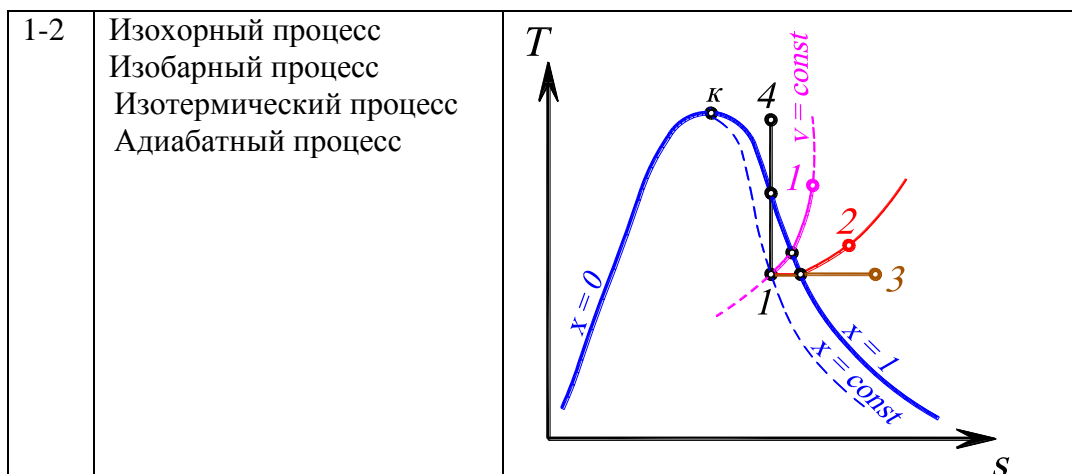
19. Цикл Карно состоит из  $2^x$  адиабатных процессов и  $2^x$ :

- 1) изохорных;
- 2) изотермических;
- 3) изобарных;
- 4) политропных.

20. На  $p-v$ -диаграмме водяного пара изображено четыре различных процесса: 1-1; 1-2; 1-3 и 1-4. Укажите соответствие между процессом 1-2 и его названием.



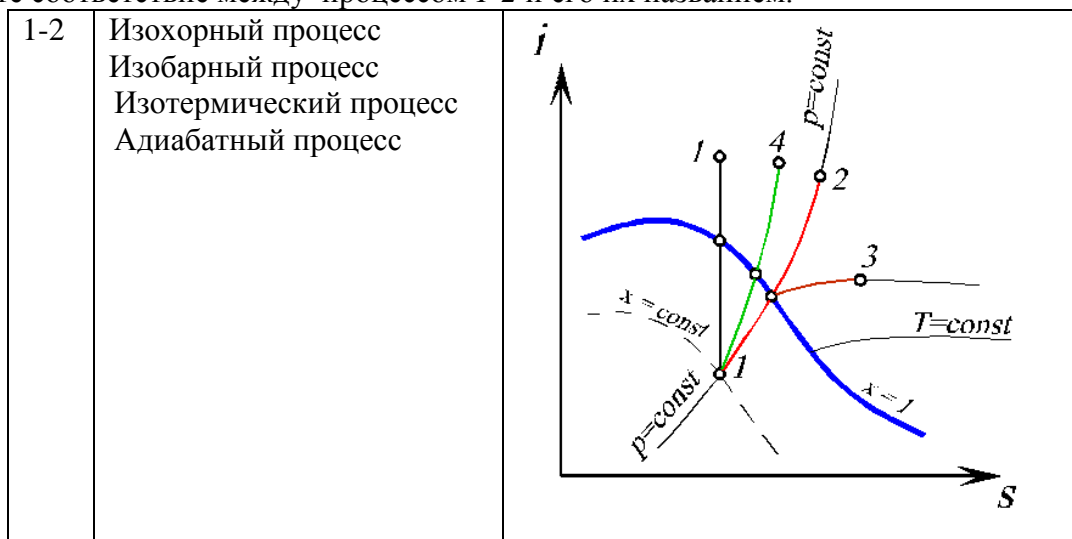
21. На  $Ts$ -диаграмме водяного пара изображено четыре различных процесса: 1 - 1; 1 - 2; 1 - 3 и 1 - 4. Укажите соответствие между процессом 1-2 и его названием.



22. Как называют машину, предназначенную для сжатия различных газов?

- 1) насосом;
- 2) компрессором;
- 3) детандером;
- 4) конденсатором.

23. На  $is$ -диаграмме водяного пара изображено четыре различных процесса: 1-1; 1-2; 1-3; 1-4. Укажите соответствие между процессом 1-2 и его названием.



24. Укажите, как определяется количество теплоты в изобарном процессе.

- 1)  $q = u_2 - u_1 = i_2 - i_1 - v(p_2 - p_1)$ ;
- 2)  $q = i_2 - i_1$ ;
- 3)  $q = T(s_2 - s_1)$ ;
- 4)  $q = 0$

25. Выберите четыре основных элемента паровой компрессорной холодильной установки.

- 1) компрессор;
- 2) детандер;
- 3) конденсатор;
- 4) дроссельный вентиль;
- 5) испаритель;
- 6) генератор.

### Вариант 3

1. С точки зрения молекулярно-кинетической теории средний результат ударов молекул газа, находящихся в непрерывном хаотическом движении, о стенки сосуда есть :

- 1) температура;
- 2) давление;
- 3) удельный объем;
- 4) плотность.

2. Способ передачи энергии, который осуществляется при непосредственном контакте тел, имеющих различную температуру, путем обмена кинетической энергией между молекулами соприкасающихся тел называют:

- 1) работой;
- 2) теплотой;
- 3) энтальпией;
- 4) энтропией.

3. Общее давление смеси газов, равно сумма парциальных давлений отдельных газов, составляющих смесь согласно закону:

- 1) Фурье;            2) Дальтона;  
3) Ньютона;        4) Рихмана.

4. Укажите соответствие величины давления 3 МПа, записанного в различных системах измерения:

- 1) 300 бар;                      2) 30 бар;  
3) 300 кПа;                    4) 30 кПа.

5. Укажите уравнение Ван-дер-Ваальса:

- 1)  $PV = RT$ ;                                      2)  $\left(P + \frac{a}{V^2}\right) \cdot V = RT$ ;  
3)  $\left(P + \frac{a}{V^2}\right) \cdot (V - b) = RT$ ;                      4)  $P \cdot (V - b) = RT$

6. Аналитическое выражение I закона термодинамики для изохорного процесса:

- 1)  $dq = di - Vdp$ ;    2)  $dq = di$ ;    3)  $dq = du + pdV$ ;    4)  $dq = du$ .

7. Изменение энтальпии, выраженное через теплоемкость:

- 1)  $di = c_v dT$ ;                      2)  $di = c_p dT$ ;  
3)  $di = c_v + R$ ;                      4)  $di = c_p + R$

8. Отметьте правильное выражение для закона Шарля:

- 1)  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{p_1}{p_2}$ ; 2)  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{p_2}{p_1}$ ; 3)  $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$ ; 4)  $\frac{T_1}{T_2} = \frac{v_2}{v_1}$ .

9. Процесс, протекающий без подвода и отвода теплоты, т.е. при отсутствии теплообмена с окружающей средой называют:

- 1) изотермическим;                      2) изохорным;  
3) изобарным;                              4) адиабатным.

10. Отношение удельного количества теплоты, превращенного в положительную удельную работу за один цикл, ко всему количеству теплоты, подведенному к рабочему телу называют:

- 1) термический коэффициент полезного действия;  
2) холодильный коэффициент;  
3) показатель адиабаты;  
4) показатель политропы.

11. Переход вещества из газообразного состояния в жидкое называют:

- 1) плавлением;                              2) сублимацией;  
3) кристаллизацией;                      4) конденсацией.

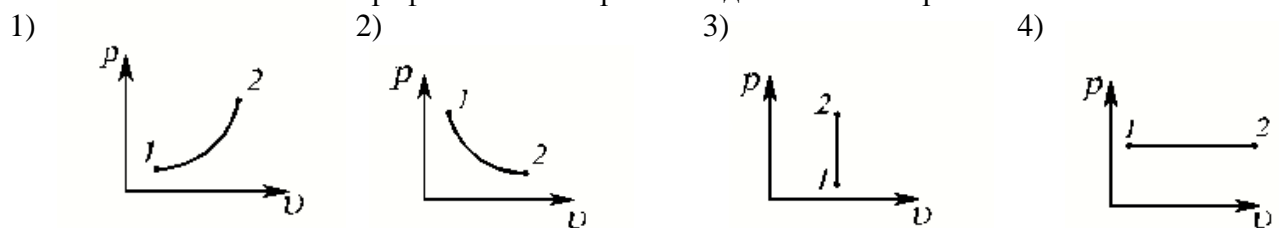
12. Укажите уравнение Клапейрона-Клаузиуса:

- 1)  $r = T(V_2 - V_1) \cdot \frac{dP}{dT}$ ;                      2)  $r = T(P_2 - P_1) \cdot \frac{dV}{dT}$ ;  
3)  $r = V(T_2 - T_1) \cdot \frac{dP}{dV}$ ;                      4)  $r = P(T_2 - T_1) \cdot \frac{dT}{dP}$ ;

13. Укажите какие из перечисленных выражений являются уравнениями 1-го закона термодинамики для изохорного процесса:

- 1)  $dq = p \cdot dv$ ;  
2)  $du = -p \cdot dv$ ;  
3)  $dq = du$ ;  
4)  $du = -v \cdot dp$ .

14. ~ : графическое изображение для закона Шарля.

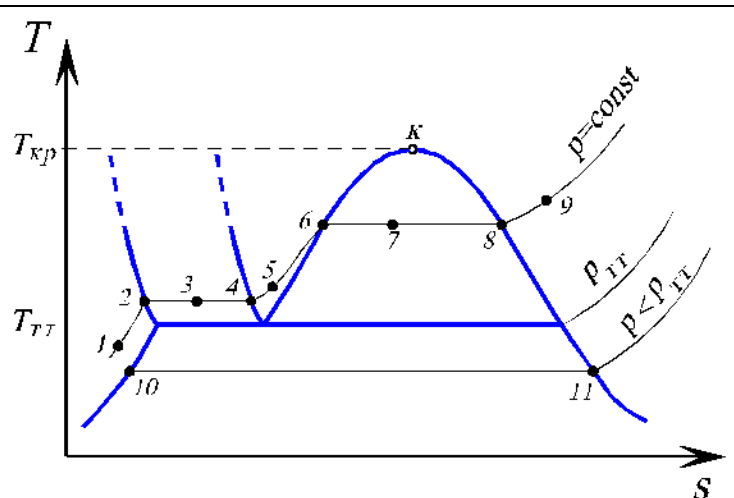


15. пар, имеющий при данном давлении более высокую температуру, чем сухой насыщенный пар называют

- 7) насыщенным;
- 8) перегретым;
- 9) влажным;
- 4) сухим.

16. На  $Ts$  – диаграмме отмечены точки 1,2,3,4,5. Какому состоянию вещества соответствуют положения точек 3 и 4.

Переохлажденная жидкость  
Влажный пар  
Насыщенный пар  
Насыщенная жидкость  
Перегретый пар  
Твердое состояние



17. Какой из ниже перечисленных термодинамических циклов является обратным?

- 1) в результате которого получается положительная работа (в нем работа расширения больше работы сжатия);
- 2) в результате которого получается положительная работа (работа расширения меньше работы сжатия);
- 3) в результате которых расходуется работа (в нем работа сжатия больше работы расширения);
- 4) в результате которых расходуется работа (в нем работа сжатия меньше работы расширения).

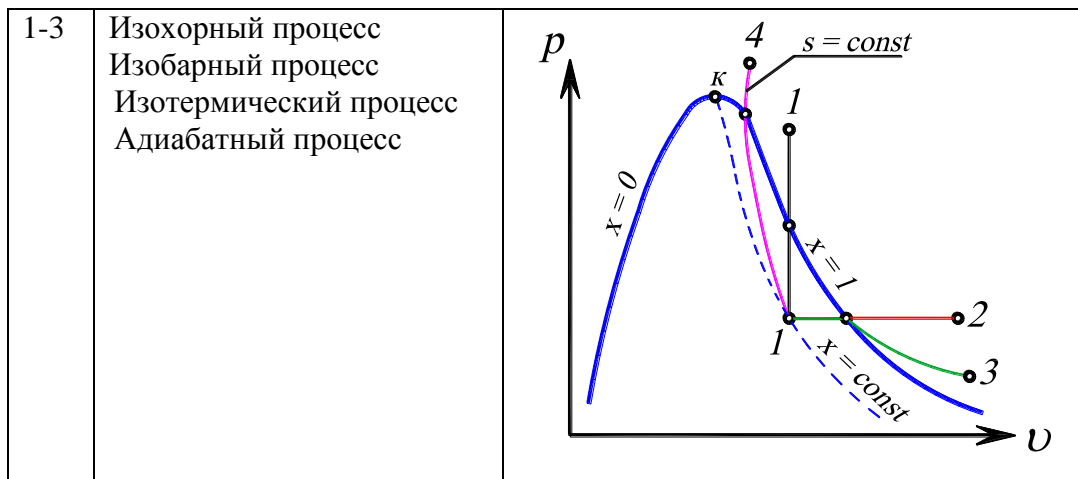
18. Отношение массы водяного пара во влажном воздухе к массе сухого воздуха в нем называют:

- 1) абсолютной влажностью;
- 2) влагосодержанием;
- 3) относительной влажностью;
- 4) насыщением.

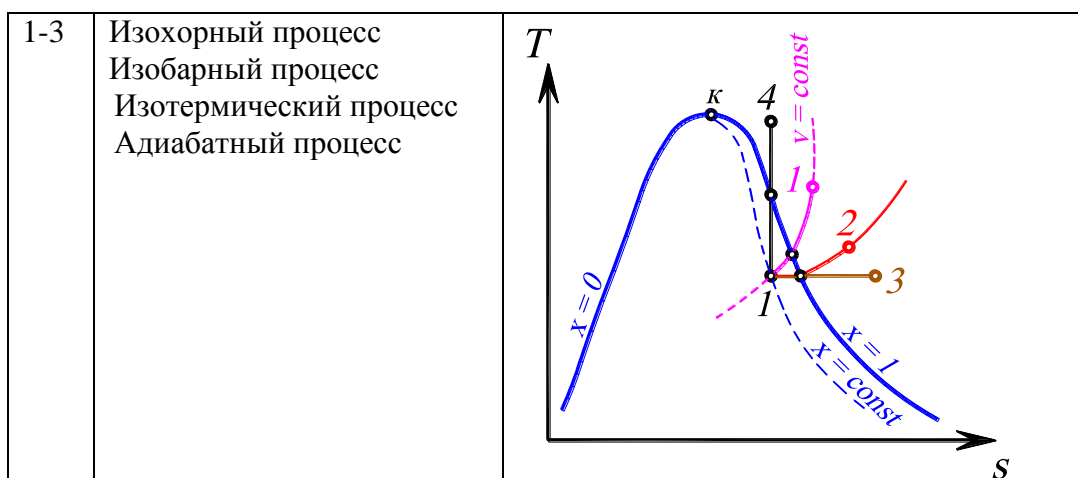
19. За основной цикл в паротурбинной установке принят идеальный цикл

- 1) Карно;
- 2) Ренкина;
- 3) Отто;
- 4) Дизеля.

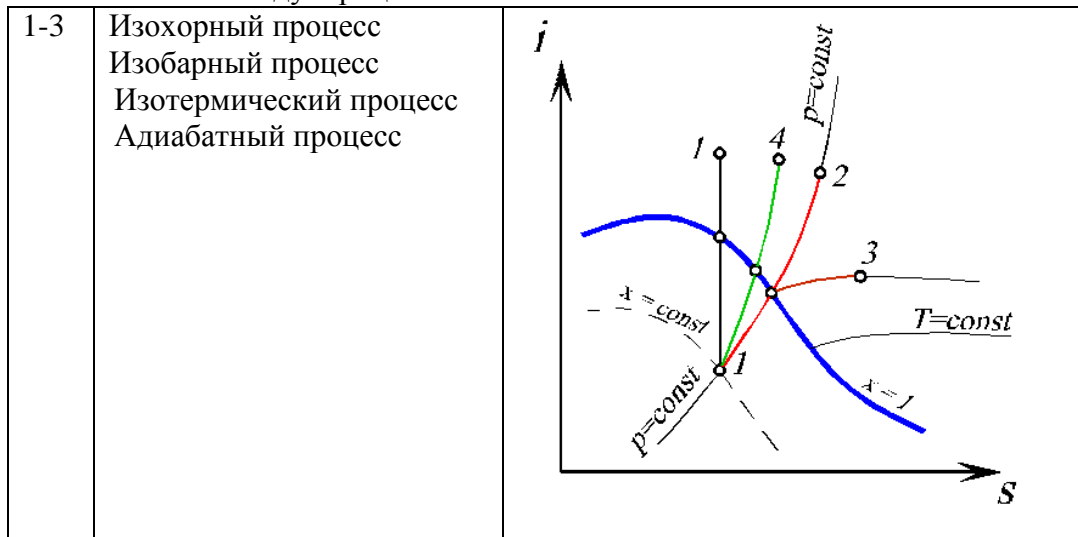
20. На  $p-v$ -диаграмме водяного пара изображено четыре различных процесса: 1-1; 1-2; 1-3 и 1-4. Укажите соответствие между процессом 1-3 и его названием.



21. На Ts-диаграмме водяного пара изображено четыре различных процесса: 1 - 1; 1 - 2; 1 - 3 и 1 - 4. Укажите соответствие между процессом 1-3 и его их названием.



22. На is-диаграмме водяного пара изображено четыре различных процесса: 1-1; 1-2; 1-3; 1-4. Укажите соответствие между процессом 1-3 и его их названием.



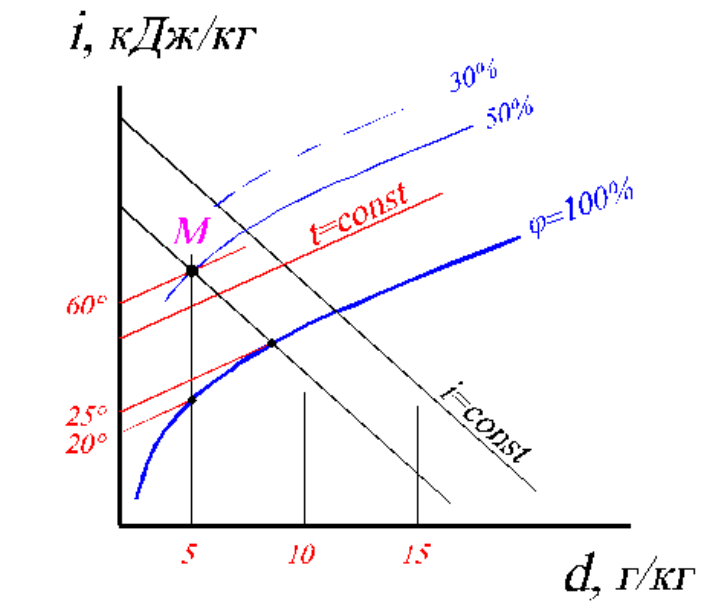
23. Идеальный цикл воздушной холодильной установки состоит из  $2^x$  адиабатных процессов и  $2^x$ :

- |                    |                 |
|--------------------|-----------------|
| 1) изохорных;      | 2) изобарных;   |
| 3) изотермических; | 4) политропных. |

24. Основные характеристики цикла двигателя внутреннего сгорания:

- |                    |                                |
|--------------------|--------------------------------|
| 1) степень сжатия; | 2) степень повышения давления; |
|--------------------|--------------------------------|

- 3) степень предварительного расширения; 4) степень сухости.
25. На  $id$ - диаграмме влажного воздуха отмечена точка М, укажите значения параметров влажного воздуха в этой точке.
- 1) относительная влажность;
  - 2) влагосодержание,



#### Вариант 4

1. Совокупность изменений состояния термодинамической системы при переходе из одного равновесного состояния в другое называют:

- 1) термодинамическим процессом;
  - 2) работой;
  - 3) циклом;
  - 4) теплотой.
2. Согласно закону Авогадро:

- 1)  $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{M_1}{M_2}$ ;
- 2)  $PV = RT$ ;
- 3)  $R = \frac{8,314}{\mu}$ ;
- 4)  $C_p = C_v + R$ .

3. Средняя молярная масса смеси газов равна:

- 1)  $M = \sum z_i M_i$ ;
- 2)  $M = \bar{Z} g_i M_i$ ;
- 3)  $M = 8,314 \cdot R$ ;
- 4)  $M = \frac{1}{\sum g_i M_i}$ .

4. Укажите соответствие величины давления 5000 Па, записанного в различных системах измерения.

- 1) 50 бар;
- 2) 5 бар;
- 3) 0,5 бар;
- 4) 50 кПа.

5. Аналитическое выражение работы расширения процесса.

- 1)  $l = p(v_2 - v_1)$ ;
- 2)  $l = v(p_2 - p_1)$ ;
- 3)  $l' = l + p_1 v_1 - p_2 v_2$ ;
- 4)  $l' = p_1 v_1 - p_2 v_2$ .

6. Удельная энтальпия представляет собой сложенную функцию вида:

- 1)  $i = S - p v$ ;
- 2)  $i = u + p v$ ;
- 3)  $i = p + S v$ ;
- 4)  $i = S + u$ .

7. Изменение внутренней энергии выраженное через теплоемкость:

- 1)  $du = C_v dT$ ;
- 2)  $du = C_p dT$ ;

$$3) du = C_p R;$$

$$4) du = C_v + R.$$

8. Отметьте правильное выражение для закона Бойля-Мариотта:

$$1) P_1 v_1 = RT_1$$

$$3) P_1 T_1 = R v_1$$

$$2) P_1 v_1 = P_2 v_2$$

$$4) R P_1 = T_1 v_1$$

9. Для обратимого адиабатного процесса:

$$1) S = const;$$

$$2) v = const;$$

$$3) T = const;$$

$$4) P = const.$$

10. Какое количество теплоты отнимается от теплоприемника при затрате одной единицы работы показывает:

1) термический коэффициент полезного действия;

2) холодильный коэффициент;

3) показатель адиабаты;

4) показатель политропы.

11. Переход вещества из твердого состояния в газообразное называют:

1) плавлением;

2) сублимацией;

3) кристаллизацией;

4) конденсацией.

12. Точка, в которой находятся в равновесии все три фазы вещества называют:

1) критической;

2) тройной;

3) насыщения;

4) плавления.

13. Укажите какие из перечисленных выражений являются уравнениями 1-го закона термодинамики для изобарного процесса:

$$1) dq = p \cdot dv;$$

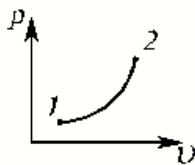
$$2) du = -p \cdot dv;$$

$$3) dq = du;$$

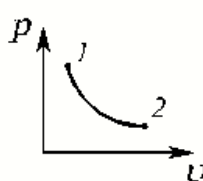
$$4) du = -v \cdot dp.$$

14. Отметьте правильное графическое изображение для закона Гей-Люссака.

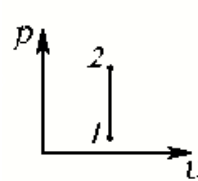
1)



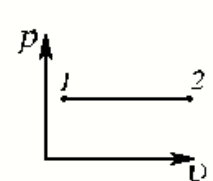
2)



3)



4)



15. Назовите наиболее общее уравнение для идеальных газов:

10) Ван-дер-Ваальса;

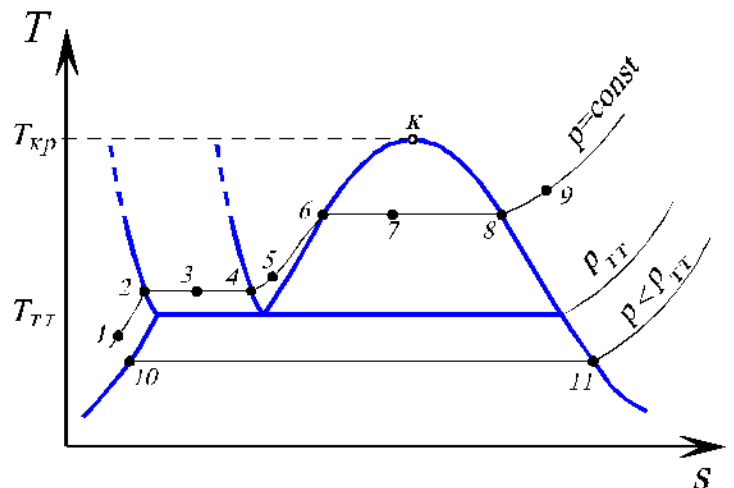
11) Клапейрона;

12) Клапейрона-Менделеева;

4) Вукаловича и Новикова.

16. На Ts – диаграмме отмечены точки 1,2,3,4,5. Какому состоянию вещества соответствуют положения точек 5 и 6.

Переохлажденная жидкость  
 Влажный пар  
 Насыщенный пар  
 Насыщенная жидкость  
 Перегретый пар  
 Твердое состояние



17. Температура, до которой необходимо охладить влажный воздух при постоянном давлении, чтобы он стал насыщенным, называют:

- 1) температурой точки росы;
- 2) температурой мокрого термометра;
- 3) температурой влажного воздуха;
- 4) температурой кипения.

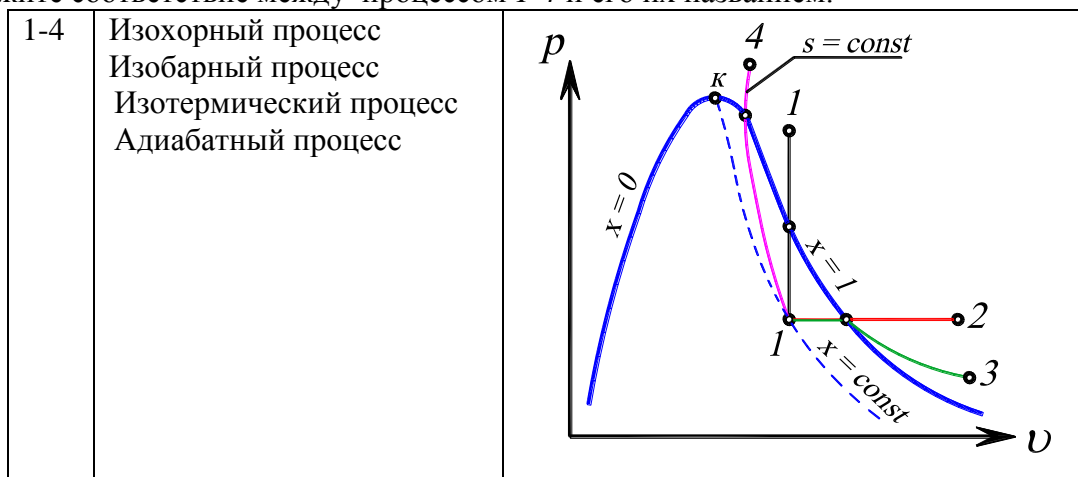
18. Машины, где топливо сжигается непосредственно в цилиндре под поршнем, называются:

- 1) газотурбинными установками;
- 2) двигателями внутреннего сгорания;
- 3) компрессорами;
- 4) насосами.

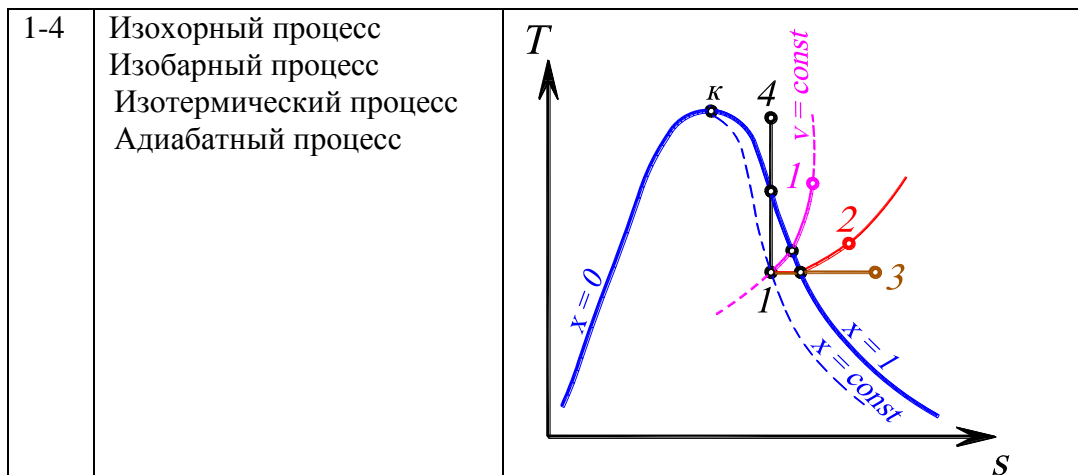
19. Двигатель внутреннего сгорания со смешанным подводом теплоты это есть цикл:

- 1) Отто;
- 2) Дизеля;
- 3) Тринклера;
- 4) Ренкина.

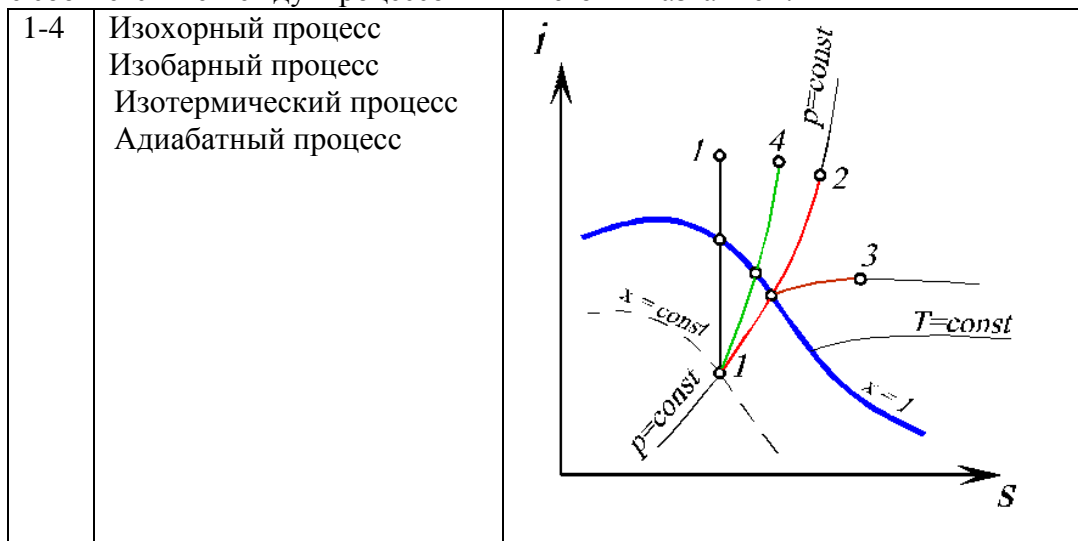
20. На  $p-v$ -диаграмме водяного пара изображено четыре различных процесса: 1-1; 1-2; 1-3 и 1-4. Укажите соответствие между процессом 1-4 и его названием.



21. На  $T-s$ -диаграмме водяного пара изображено четыре различных процесса: 1 - 1; 1 - 2; 1 - 3 и 1 - 4. Укажите соответствие между процессом 1-4 и его названием.



22. На  $is$ -диаграмме водяного пара изображено четыре различных процесса: 1-1; 1-2; 1-3; 1-4. Укажите соответствие между процессом 1-4 и его названием.



23. Цикл, состоящий из  $2^x$  адиабатных и  $2^x$  изобарных процессов, характерен для цикла:

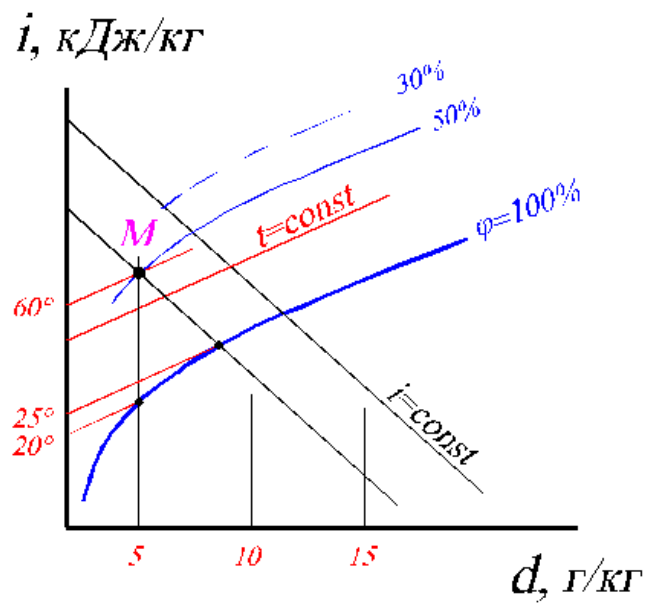
- 1) двигателя внутреннего сгорания;
- 2) воздушной холодильной установки;
- 3) Отто;
- 4) Дизеля.

24. Бескомпрессорный двигатель, в котором сгорание топлива сначала происходит при постоянном объеме, а затем при постоянном давлении:

- 1) Отто;
- 2) Дизеля;
- 3) Тринклера;
- 4) Ренкина.

25. На  $id$ - диаграмме влажного воздуха отмечена точка М, укажите значения параметров влажного воздуха в этой точке.

- 1) температура точки росы.



### Критерии оценки теста:

Ответ оценивается на **«отлично» от 17 до 20 баллов**: если даны правильные ответы на 22 и более вопросов, т.е. правильно выполнено 88-100% работы.

Ответ оценивается на **«хорошо» от 13 до 16 баллов**: если даны правильные ответы на 18 - 21 вопросов, т.е. правильно выполнено 72-84% работы.

Ответ оценивается на **«удовлетворительно» от 10 до 12 баллов**: если даны правильные ответы на 14 - 17 вопросов, т.е. правильно выполнено 56-68% работы.

Ответ оценивается на **«неудовлетворительно»**: если правильно выполнено менее 55 % работы.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал) федерального  
государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет механический*

*Кафедра ПАХТ*

Направление подготовки/специальность: 18.03.01 «Химическая технология»

**Лабораторные работы  
по дисциплине Б1.О.24 «Техническая термодинамика**

Лабораторные занятия по дисциплине проводятся в специально оборудованных лабораториях с применением необходимых средств обучения: лабораторного оборудования, образцов для исследований, методических пособий. Цель проведения лабораторных работ - практическое освоение теоретических положений лекционного материала, а также выработка студентами определенных умений и навыков самостоятельного экспериментирования.

При изучении дисциплины предусматривается выполнение **пяти** лабораторных работ:

**Лабораторная работа 1. Реальные газы.**

1. Чем отличаются реальные газы от идеальных?
2. Что называется коэффициентом сжимаемости?
3. Что положено в основу вывода уравнения Ван-дер-Ваальса?
4. Какой пар называется влажным насыщенным, сухим насыщенным и перегретым?
5. Что такое степень сухости?
6.  $p_v$ ,  $T_s$  и  $i_s$  – диаграммы водяного пара.

**Лабораторная работа 2. Определение теплоемкости воздуха.**

1. Дать определение массовой, объемной и мольной теплоемкостям.
2. Как обозначаются и в каких единицах измеряются теплоемкости?
3. Уравнение, связывающее между собой теплоемкости.
4. Объяснить смысл величин, входящих в уравнение Майера?
5. Какие существуют способы определения теплоемкости?
6. Объяснить теоретический метод определения теплоемкости.

**Лабораторная работа 3. Исследование процессов изменения состояния влажного воздуха.**

1.Определение влажного воздуха, насыщенного и ненасыщенного влажного воздуха.

2.Что называется абсолютной и относительной влажностью?

3.Что называется влагосодержанием воздуха и температурой точки росы?

4.Как определяют плотность и энтальпию влажного воздуха?

5.Какие линии изображаются на  $id$  – диаграмме влажного воздуха?

6.Как изображаются основные процессы влажного воздуха на  $id$  – диаграмме.

#### **Лабораторная работа 4. Исследование кривой насыщения водяного пара.**

1. Что называется кипением, парообразованием, испарением?

2. Какой процесс называют сублимацией и десублимацией?

3. Что называется фазой, фазовым переходом и тройной точкой?

4. Изобразить фазовую  $pT$  – диаграмму.

5. Что такое теплота парообразования?

6. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса.

#### **Лабораторная работа 5. «Изучение устройства и работы бытового компрессорного холодильника».**

1. Что входит в состав холодильного агрегата бытового холодильника?

2. Для чего служит реле температуры испарителя?

3.Что обеспечивает компрессор в системе агрегата и что он определяет у холодильника?

4.Что представляет собой конденсатор?

5.Чем отличаются испарители от конденсаторов?

6.Для чего служит капиллярная трубка?

7.Принцип работы холодильного агрегата.

Материалы лабораторных работ приведены в учебно, учебно-методических пособиях, разработанных на кафедре ПАХТ:

1) Сагдеев А.А., Галимова А.Т. Тепло- хладотехника : учебно-методическое пособие.- – Санкт-Петербург : Свое издательство , 2019 – 128 с.

2)Сагдеев К.А., Хазипов М.Р., Сагдеев А.А., Гумеров Ф.М. «Термодинамика и основы теплопередачи» : учебное пособие.- Нижнекамск : НХТИ 2016- 81с.

#### **Критерии оценки лабораторных работ**

При подготовке к лабораторной работе по дисциплине «Техническая термодинамика» студент должен выполнить следующие виды работ:

<b>Виды работ</b>	<b>Минимальный балл о/оз/з</b>	<b>Максимальный балл о/оз/з</b>
Самостоятельная проработка теоретического материала к	1/2/4	2/4/6

лабораторной работе		
Ознакомление с установкой, прибором, методикой выполнения лабораторной работы	1/2/4	2/4/6
Выполнение необходимого эксперимента	2/3/4	2/4/6
Обработка результатов исследования, построение графиков	2/3/4	3/4/6
Анализ результатов исследования и вывод по работе	2/3/4	3/4/6
<b>ИТОГО :</b>	<b>8/13/20</b>	<b>12/20/30</b>

### Критерии оценки:

При изучении дисциплины **по очной форме** обучения предусматривается выполнение **пяти** лабораторных работ, за эти работы студент может получить максимальное кол-во баллов – 60. **Каждая лабораторная работа оценивается по следующим критериям:**

Оценка «отлично» ставится, если интервал баллов рейтинга студента  $11 \leq R \leq 12$  и студент выполняет работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений; самостоятельно и рационально монтирует необходимое оборудование; все опыты проводит в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов с наибольшей точностью; соблюдает требования правил безопасного труда; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; правильно оценивает точность результатов измерений; умеет выполнять анализ погрешностей прямых и косвенных измерений.

Оценка «хорошо» ставится, если интервал баллов рейтинга студента  $10 \leq R < 11$  и выполнены требования к оценке 5, но было допущено два - три недочета, или не более одной негрубой ошибки и одного недочета.

Оценка «удовлетворительно» ставится, если интервал баллов рейтинга студента  $8 \leq R < 10$  и работа выполнена не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы; если в ходе проведения опыта и измерений были допущены ошибки: а) опыт проводился в нерациональных условиях, что привело к получению результатов с большой погрешностью; б) в отчете допущено не более двух грубых ошибок; в) не выполнен совсем или выполнен неверно анализ погрешностей.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если балл рейтинга студента составляет  $R < 8$  и работа выполнена не полностью и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов; если опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно.

При изучении дисциплины **по очно-заочной форме** обучения предусматривается выполнение **трех** лабораторных работ, за эти работы студент

может получить максимальное кол-во баллов – 60. **Каждая лабораторная работа оценивается по следующим критериям:**

Оценка «отлично» ставится, если интервал баллов рейтинга студента  $18 \leq R \leq 20$  и студент выполняет работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений; самостоятельно и рационально монтирует необходимое оборудование; все опыты проводит в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов с наибольшей точностью; соблюдает требования правил безопасного труда; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; правильно оценивает точность результатов измерений; умеет выполнять анализ погрешностей прямых и косвенных измерений.

Оценка «хорошо» ставится, если интервал баллов рейтинга студента  $16 \leq R < 18$  и выполнены требования к оценке 5, но было допущено два - три недочета, или не более одной негрубой ошибки и одного недочета.

Оценка «удовлетворительно» ставится, если интервал баллов рейтинга студента  $13 \leq R < 16$  и работа выполнена не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы; если в ходе проведения опыта и измерений были допущены ошибки: а) опыт проводился в нерациональных условиях, что привело к получению результатов с большой погрешностью; б) в отчете допущено не более двух грубых ошибок; в) не выполнен совсем или выполнен неверно анализ погрешностей.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если балл рейтинга студента составляет  $R < 13$  и работа выполнена не полностью и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов; если опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно.

При изучении дисциплины **по заочной (заочной на базе ВО) форме** обучения предусматривается выполнение **двух** лабораторных работ, за эти работы студент может получить максимальное кол-во баллов – 60. **Каждая лабораторная работа оценивается по следующим критериям:**

Оценка «отлично» ставится, если интервал баллов рейтинга студента  $27 \leq R \leq 30$  и студент выполняет работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений; самостоятельно и рационально монтирует необходимое оборудование; все опыты проводит в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов с наибольшей точностью; соблюдает требования правил безопасного труда; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; правильно оценивает точность результатов измерений; умеет выполнять анализ погрешностей прямых и косвенных измерений.

Оценка «хорошо» ставится, если интервал баллов рейтинга студента  $24 \leq R < 27$  и выполнены требования к оценке 5, но было допущено два - три недочета, или не более одной негрубой ошибки и одного недочета.

Оценка «удовлетворительно» ставится, если интервал баллов рейтинга студента  $20 \leq R < 24$  и работа выполнена не полностью, но объем выполненной

части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы; если в ходе проведения опыта и измерений были допущены ошибки: а) опыт проводился в нерациональных условиях, что привело к получению результатов с большой погрешностью; б) в отчете допущено не более двух грубых ошибок; в) не выполнен совсем или выполнен неверно анализ погрешностей.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если балл рейтинга студента составляет  **$R < 20$**  и работа выполнена не полностью и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов; если опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал) федерального  
государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет механический*

*Кафедра ПАХТ*

Направление подготовки/специальность: 18.03.01 «Химическая технология»

**Темы рефератов**  
**по дисциплине Б1.О.24 «Техническая термодинамика»**  
для обучающихся по очно/очно-заочной формам обучения

1. Паровая машина Ползунова И.И.
2. Тепловая теорема Нернста.
3. Основы механической теории теплоты (по работам Ломоносова М.В.).
4. Принцип сохранения энергии применительно к химическим процессам (Г. Гесс).
5. Параметры состояния – энтальпия и энтропия.
6. Эффект Джоуля-Томсона.
7. Дросселирование реальных газов.
8. Двигатели внутреннего сгорания (цикл Отто).
9. Двигатели внутреннего сгорания (цикл Дизеля).
10. Двигатели внутреннего сгорания (цикл Тринклера).
11. Газотурбинная установка.
12. Идеальные циклы реактивных двигателей.
13. Воздушная холодильная установка.
14. Пароэжекторная холодильная установка.
15. Абсорбционная холодильная установка.

**Критерии оценки рефератов:**

- актуальность темы;
- соответствие содержания теме;
- глубина проработки материала;
- правильность и полнота использования источников;
- оформление реферата.

**«Отлично» - от 17 до 20 баллов** - присутствие всех вышеуказанных требований; знание изложенного материала, умение грамотно и аргументировано изложить проблемы; умение анализировать фактический материал, свободно беседовать по любому пункту реферата, отвечать на поставленные вопросы по теме реферата.

**«Хорошо» - от 13 до 16 баллов** - мелкие замечания по оформлению реферата; незначительные трудности по одному из вышеперечисленных требований.

**«Удовлетворительно» от 10 до 12 баллов** - тема реферата раскрыта недостаточно полно; неполный список литературы и источников; затруднения в изложении материала.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал) федерального  
государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет механический*

*Кафедра ПАХТ*

Направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология»

**Комплект заданий для контрольных работ  
по дисциплине Б1.О.24 «Техническая термодинамика»**

По изучении дисциплины «**Техническая термодинамика**» студент заочной формы обучения должен выполнить контрольную работу, состоящую из 5 задач.

Номер варианта контрольного задания определяется двумя последними цифрами шифра (личного номера студента). Например, при шифре 2149 (две последние цифры 49). Для первой задачи в контрольной работе студент-заочник получает следующие исходные данные: (по последней цифре шифра 9, по предпоследней цифре шифра 4)

- выписать условия задачи;
- решение сопровождать краткими пояснениями, в которых показать, какая величина определяется и по какой формуле, какие величины подставляются в формулу и откуда они берутся (например, из условия задачи, из справочника, определены ранее);
- проставить размерности (в системе СИ (SI – system international));
- задачи сопровождать соответствующими схемами или диаграммами;
- сформулировать краткие выводы по результатам расчетов.

**Контрольная работа**

**Задача № ТД – 1**

Определить газовую постоянную, кажущуюся молекулярную массу, плотность и удельный объем при нормальных условиях для смеси идеальных газов, объемное содержание которых задано.

Найти также средние массовые теплоемкости этой смеси при постоянном давлении  $p_1$  в интервале температур от  $t_1$  до  $t_2$  и определить количество теплоты для изобарного нагревания  $m$  кг газовой смеси от  $t_1$  до  $t_2$ , если задан общий начальный объем этой смеси  $V_{\text{см}}$ . Данные для расчета приведены в табл.1.

Таблица 1

Последняя цифра шифра	P <sub>1</sub> , бар	V <sub>см</sub> , м <sup>3</sup>	t <sub>1</sub> , °C	t <sub>2</sub> , °C	Предпоследняя цифра шифра	Объемный состав газовой смеси			
						N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
0	1	50	100	500	0	70	20	10	
1	3	60	200	600	1	70		10	20
2	5	70	300	700	2	60	10		30
3	7	80	400	600	3	50		10	40
4	9	90	100	400	4	40	5		55
5	2	40	200	500	5	30	20		50
6	4	30	300	600	6	20	10		70
7	6	20	400	700	7	50		5	45
8	8	10	100	500	8	45	5	50	
9	10	100	200	600	9	10		20	70

Задачу следует решать с учетом нелинейной зависимости теплоемкости газов от температуры  $c = f(T)$ . Значения  $c$ ,  $t$ ,  $m_0$  приведены в приложении (табл.П.1.) методических указаний «Теплотехника. Техническая термодинамика. Теплопередача». Напоминаем, что  $c'_{см} = \sum r_i c'_i = c'_{см} / \rho_{см(н.у.)}$ ,  $\rho_{см} = 1/v_{см}$ ,  $\rho v_{см} = R_{см} T$ ,  $R_{см} = \mu R / \mu_{см}$ ,  $\mu R = 8314 \text{ Дж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К})$ ,  $\mu_{см} = \sum_{i=1}^{i=n} r_i \mu_i$ ,  $\rho_{см(н.у.)}$  – плотность смеси при нормальных условиях ( $T_{н\text{у}} = 273 \text{ К}$ ,  $p_{н\text{у}} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ).

### Задача № ТД – 2.

$m$  кг газа расширяется политропно с показателем политропы  $n$  от начального состояния с параметрами  $p_1$  и  $t_1$  до конечного давления  $p_2$ . Определить теплоту  $Q$ , работу  $L$ , изменение внутренней энергии  $\Delta U$ , энтальпии  $\Delta H$  и энтропии  $\Delta S$ . Считать, что  $c = \text{const}$ .

Изобразить процесс на  $p$ - $v$ -диаграмме без соблюдения масштаба. Данные для расчета приведены в табл.2.

Таблица 2

Последняя цифра шифра	Газ	$m$ , кг	N <sub>2</sub>	Предпоследняя цифра шифра	$p_1$ , МПа	$t_1$ , °C	$p_2$ , МПа
0	N <sub>2</sub>	10	1,0	0	0,2	10	0,8
1	O <sub>2</sub>	20	1,1	1	0,4	15	2,0
2	H <sub>2</sub>	30	1,2	2	0,6	20	3,0
3	CO <sub>2</sub>	40	1,3	3	0,8	25	6,4
4	N <sub>2</sub>	50	1,4	4	1,0	30	8,0
5	O <sub>2</sub>	60	1,0	5	1,2	50	12,0
6	H <sub>2</sub>	70	1,1	6	1,4	70	14,0
7	CO <sub>2</sub>	80	1,2	7	1,6	100	16,0
8	N <sub>2</sub>	90	1,3	8	1,8	120	18,0
9	O <sub>2</sub>	100	1,4	9	2,0	140	20,0

### Задача № ТД – 3.

Водяной пар при давлении  $p_1$  и температуре  $t_1$ , дросселируется до давления  $p_2$ . Определить неизвестные параметры пара  $h$ ,  $v$ ,  $s$  в начале и в конце дросселирования и потерю работоспособности  $D_h = T_0 \Delta s$ .

Принять температуру окружающей среды равной  $t_0$ . изобразить процессы на  $hs$ -диаграмме (см.в приложении методические указания «Теплотехника. Техническая термодинамика. Теплопередача»).

Данные для расчета приведены в табл.3.

Таблица 3

Последняя цифра шифра	$t_1, ^\circ\text{C}$	$p_1, \text{МПа}$	Предпоследняя цифра шифра	$p_2, \text{МПа}$	$t_0, ^\circ\text{C}$
0	700	50	0	0,5	10
1	600	30	1	0,3	15
2	500	20	2	0,2	20
3	400	10	3	0,1	25
4	300	5	4	0,05	30
5	650	50	5	0,5	10
6	550	30	6	0,3	15
7	450	20	7	0,2	20
8	350	10	8	0,1	25
9	500	30	9	0,3	30

#### Задача № ТД – 4.

Определить холодильный коэффициент  $\xi'$  парокомпрессионной аммиачной холодильной установки (с дросселем), массовый расход аммиака  $m$ , кг/с и теоретическую мощность привода компрессора  $N_{\text{компр.}}$  по заданным значениям температуры влажного пара  $\text{NH}_3$  на входе в компрессор  $t_1$  и температуре сухого насыщенного пара за компрессором  $t_2$  и холодопроизводительности установки  $Q$ .

Изобразить схему установки и цикл на  $Ts$  – диаграмме. Данные для расчета приведены в табл.4.

Таблица 4

Последняя цифра шифра	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	Предпоследняя цифра шифра	$Q, \text{кВт}$
0	-10	40	0	150
1	-15	35	1	180
2	-20	30	2	200
3	-25	25	3	220
4	-20	15	4	250
5	-25	20	5	280
6	-20	25	6	300
7	-15	20	7	160
8	-10	25	8	190
9	-15	30	9	200

Напомним:  $\xi' = \frac{q_2}{l_{\text{ц}}}$ ,  $q_2 = h_1 - h_4$ ,  $l_{\text{ц}} = q_1 - q_2 = h_2 - h_1$ ,  $q_1 = h_2 - h_3 = h_2 - h_4$  (3-4 – процесс дросселирования). При адиабатном сжатии  $s_1 = s_2 = \text{const}$ , поэтому степень сухости в т.1 можно рассчитать как  $x = \frac{s''_{(t_2)} - s'_{(t_1)}}{s''_{(t_1)} - s'_{(t_1)}}$ ,

где  $s_{(t)}$  – соответственно значение энтропии при указанных температурах, из приложения (табл.П2) методических указаний «Теплотехника. Техническая термодинамика. Теплопередача».

### Задача № ТД – 5.

Путем сравнительного расчета показать целесообразность применения пара высоких начальных параметров и низкого конечного давления на примере паросиловой установки, работающей по циклу Ренкина. Для этого определить предполагаемое теплопадение, термический КПД цикла и удельный расход пара для двух вариантов значений начальных и конечных параметров пара. Указать конечное значение степени сухости  $x_2$  (при давлении  $p_2$ ) на Ts- и hs-диаграммах.

Изобразить схему простейшей паросиловой установки и дать краткое описание ее работы. Данные для решения задачи взять из табл.5.

Таблица 5

Последняя цифра шифра	Параметры пара I вариант			Предпоследняя цифра шифра	Параметры пара II вариант		
	$p_1$ , МПа	$t_1$ , °C	$p_2$ , кПа		$p_1$ , МПа	$t_1$ , °C	$p_2$ , кПа
0	1,5	250	80	0	8,0	480	3
1	2,0	300	70	1	9,0	480	4
2	2,5	325	90	2	10,0	500	4
3	2,0	350	100	3	11,0	520	4
4	2,5	375	110	4	12,0	530	5
5	3,0	350	90	5	12,0	540	3
6	3,5	370	80	6	13,0	550	4
7	3,0	400	70	7	14,0	560	4
8	4,0	425	90	8	14,0	580	5
9	4,5	400	100	9	15,0	600	5

### Критерии оценки контрольной работы:

Контрольная работа оценивается на **«отлично» от 17 до 20 баллов:** если 4 задачи выполнены правильно, а в одной задаче имеются недочеты, т.е. правильно выполнено 88-100% работы.

Контрольная работа оценивается на **«хорошо» от 14 до 17 баллов:** если 3 задачи выполнены правильно, а в двух задачах имеются недочеты, т.е. правильно выполнено 72-84% работы.

Контрольная работа оценивается на **«удовлетворительно» от 10 до 14 баллов:** если 3 задачи выполнены правильно, а в двух задачах допущены ошибки т.е. правильно выполнено 56-68% работы.

Контрольная работа оценивается на **«неудовлетворительно»:** если 2 задачи выполнены правильно, а в трех задачах имеются недочеты или допущены ошибки менее 55 % работы.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет механический*

*Кафедра ПАХТ*

Направление подготовки/специальность: 18.03.01 «Химическая технология»

**Комплект заданий для выполнения курсовой работы  
по дисциплине Б1.О.24 «Техническая термодинамика»**

**Термодинамический анализ идеальных циклов тепловых двигателей и  
холодильных машин**

Термодинамический анализ идеального цикла включает в себя:

1) Определение основных параметров воздуха ( $P, v, T, u, h, s$ ) в характерных точках цикла. Параметры  $P, v, T$  находятся с помощью уравнения состояния идеального газа и уравнения соответствующего процесса. Значения энтальпий  $h$  и внутренней энергии  $U$  воздуха выбираются для соответствующих температур из справочных таблиц термодинамических свойств воздуха по приложению. Расчет энтропий  $s$  для характерных состояний цикла рекомендуется провести по методу «конечной табличной энтропии». Отсчет  $s$  принимается от нормальных условий ( $p_0=101325 \text{ Па}$  и  $T=273,15 \text{ К}$ ), т.е. энтропия газа при этих условиях принимается равной нулю ( $s=0$ ).

Согласно этому методу, для первой точки цикла энтропия будет равна:

$$s_1 = s_1^0 - s_0^0 - R \ln(P_1/P_0),$$

где разность  $s_1^0 - s_0^0$  учитывает изменение энтропии в зависимости от температуры, а член  $R \ln(p_1/p_0)$  учитывает влияние давления на энтропию. Величина  $s_1^0$  берется из справочных таблиц при  $T_1$ , а значение  $s_0^0$  при  $T=273,15 \text{ К}$ .

Для 2 точки  $s_2=s_1$ , так как процесс 1-2 изоэнтропный.

Для 3 точки энтропия будет равна

$$s_3 = s_3^0 - s_0^0 - R \ln(P_3/P_0),$$

где  $s_3^0$  и  $s_0^0$  берутся из справочных таблиц по значениям температур  $T_3$  и  $T_0$  соответственно.

Для 4 точки цикла  $s_4=s_3$ , так как процесс 3-4 изоэнтروпный.  
Результаты расчета параметров следует свести в таблицу 1.

Таблица 1

Точки цикла	$P$ , МПа	$v$ , м <sup>3</sup> /кг	$T$ , К	$u$ , кДж/кг	$h$ , кДж/кг	$s$ , кДж/кг·К
1						
2						
3						
4						

2) Построение цикла в  $pv$ - и  $Ts$ - диаграммах. Для построения кривых процессов цикла кроме значений, приведенных в таблице 1, необходимо дополнительно рассчитать параметры для промежуточных точек соответствующих процессов.

а) Для построения адиабат 1-2 и 3-4 в  $pv$  - диаграмме следует дополнительно вычислить параметры промежуточных точек 5 и 6 на этих адиабатах. Для промежуточных точек выбираются значения удельного объема  $v_5=0,5(v_1+v_2)$ ,  $v_6=0,5(v_3+v_4)$ . Затем из уравнения адиабатного процесса вычисляются значения давлений  $P_5$  и  $P_6$ :  $P_1 v_1^k = P_5 v_5^k$ ;  $P_4 v_4^k = P_6 v_6^k$ . В  $Ts$ -диаграмме адиабаты 1-2 и 3-4 изображаются вертикальными линиями.

б) Для построения изохор 2-3 и 4-1 (цикл Отто), 4-1 (цикл Дизеля), 2-3 и 5-1 (цикл Тринклера) в  $Ts$ -диаграмме дополнительно вычисляются параметры промежуточных точек 7 и 8 на этих изохорах. Для промежуточных точек выбираются значения температур  $T_7=0,5(T_2+T_3)$ ,  $T_8=0,5(T_4+T_1)$ . Затем по этим температурам вычисляются соответствующие значения энтропии:

$$s_7=s_7^0 - s_0^0 - R\ln(P_2/P_1),$$

$$s_8=s_8^0 - s_0^0 - R\ln(P_1/P_0),$$

где  $s_7^0$  и  $s_8^0$  берутся из справочных таблиц по значениям температур  $T_7$  и  $T_8$ ,  
 $s_0^0$  – по температуре  $T=273,15$  К.

В  $pv$ -диаграмме изохоры изображаются вертикальными линиями.

в) Для построения изобар 2-3 (цикл Дизеля), 3-4 (цикл Тринклера), 2-3 и 4-1 (цикл ВХМ) в  $Ts$ -диаграмме определяются промежуточные точки 7 и 8 (с параметрами  $T_7, T_8$  и  $s_7, s_8$ ) аналогично пункту б). В  $pv$ -диаграмме изобары изображаются горизонтальными линиями.

3) Определение изменения параметров  $\Delta u$ ,  $\Delta h$ ,  $\Delta s$  и величин  $q$  и  $l$  для каждого процесса, входящего в цикл.

Для адиабатного процесса:

$$q=0$$

$$l=-\Delta u=(h_1-P_1v_1)-(h_2-P_2v_2)$$

Для изохорного процесса:

$$\Delta u = u_2 - u_1 = (h_2 - P_2 v_2) - (h_1 - P_1 v_1)$$

$$l = 0; q = u_2 - u_1$$

Для изобарного процесса:

$$q = h_2 - h_1; l = P(v_2 - v_1)$$

$$\Delta u = q - l = h_2 - h_1 - P(v_2 - v_1)$$

Полученные значения свести в таблицу 2 и проверить на суммирование по столбцам.

4) Определение термического к.п.д. цикла и термического к.п.д. цикла Карно, осуществленного между максимальной и минимальной температурами

$$\eta_{\text{Карно}} = 1 - T_{\min} / T_{\max}$$

5) Выводы.

## I. Термодинамический анализ идеальных циклов тепловых двигателей

Машины, в которых газы, получаемые при горении топлива, непосредственно воздействуют на поршень, называют двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Все поршневые двигатели внутреннего сгорания подразделяются на три группы:

- 1) с быстрым сгоранием топлива при постоянном объеме;
- 2) с постепенным сгоранием топлива при постоянном давлении;
- 3) со смешанным сгоранием топлива частично при постоянном объеме и частично при постоянном давлении.

Процессы реального двигателя внутреннего сгорания имеют все признаки необратимых процессов: трение, химические реакции в рабочем теле, конечные скорости поршня, теплообмен при конечной разности температур и т.п.

Анализ такого цикла с точки зрения тепловых процессов невозможен, а поэтому термодинамика исследует не реальные процессы двигателей внутреннего сгорания, а идеальные, обратимые циклы. В качестве рабочего тела принимают идеальный газ с постоянной теплоемкостью. Цилиндр заполнен постоянным количеством рабочего тела. Разность температур между источником теплоты и рабочим телом бесконечно малая. Подвод теплоты к рабочему телу осуществляется от внешних источников теплоты, а не за счет сжигания топлива. То же необходимо сказать и об отводе теплоты.

При исследовании идеальных термодинамических циклов поршневых двигателей внутреннего сгорания обычно определяют количество подведенной и отведенной теплоты, основные параметры состояния рабочего тела в характерных точках цикла; вычисляют термический к.п.д. цикла по основным характеристикам и производят анализ термического к.п.д.

Таким образом, изучение идеальных термодинамических циклов позволяет производить при принятых допущениях анализ и сравнение работы различных двигателей и выявлять факторы, влияющие на их экономичность.

Основными характеристиками или параметрами любого цикла теплового двигателя являются следующие безразмерные величины:

степень сжатия  $\varepsilon = v_1/v_2$ ,

представляющая собой отношение начального удельного объема рабочего тела к его удельному объему в конце сжатия;

степень повышения давления  $\lambda = P_3/P_2$ ,

представляющая отношение давлений в конце и в начале изохорного процесса подвода теплоты;

степень предварительного расширения, или степень изобарного расширения,  $\rho = v_3/v_2$ , представляющая собой отношение объемов в конце и в начале изобарного процесса подвода теплоты.

### 1.1. Цикл ДВС с изохорным подводом теплоты (цикл Отто)

Идеальный цикл ДВС с изохорным подводом теплоты, состоящий из двух изохор и двух адиабат представлен в  $p\upsilon$ - и  $Ts$ - диаграммах на рис. 1.

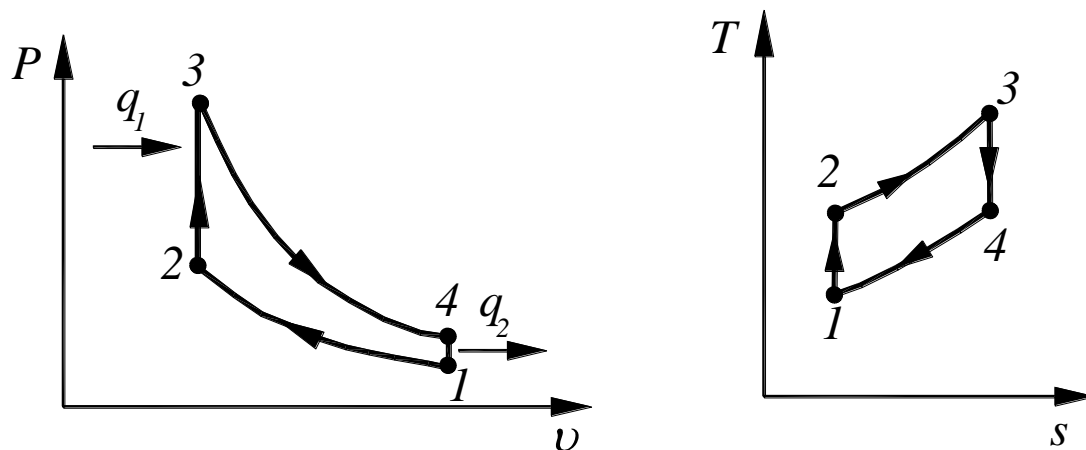


Рис. 1 – Цикл ДВС с изохорным подводом теплоты

Идеальный газ с начальными параметрами  $P_1$ ,  $v_1$  и  $T_1$  сжимается по адиабате 1-2 до точки 2. По изохоре 2-3 рабочему телу сообщается количество теплоты  $q_1$ . От точки 3 рабочее тело расширяется по адиабате 3-4. И наконец, по изохоре 4-1 рабочее тело возвращается в первоначальное состояние, при этом отводится теплота  $q_2$  в теплоприемник.

Количество подведенной теплоты при  $C_v = \text{const}$ ,  $k = C_p/C_v = \text{const}$ :

$$q_1 = C_v(T_3 - T_2)$$

Количество отведенной теплоты:  $q_2 = C_p(T_4 - T_1)$

Термический к.п.д. цикла:

$$\eta_t = (q_1 - q_2)/q_1 = 1 - q_2/q_1 = 1 - (T_4 - T_1)/(T_3 - T_2)$$

Выразив температуры  $T_2, T_3, T_4$  через начальную температуру рабочего тела  $T_1$  можно получить следующую формулу для определения термического к.п.д.:

$$\eta_t = 1 - 1/(\varepsilon^{k-1})$$

По циклу с изохорным подводом теплоты работают двигатели внутреннего сгорания на легких и газообразных топливах.

В этих двигателях сжатию подвергается смесь топлива с воздухом, которая воспламеняется от электрической искры в конце сжатия. Увеличение степени сжатия ограничивается возможностью преждевременного самовоспламенения горючей смеси, нарушающее нормальную работу двигателя. Кроме того, при высоких степенях сжатия скорость сгорания смеси резко возрастает, что может вызвать детонацию (взрывное горение), которая резко снижает экономичность двигателя и часто ведет к поломке его деталей. Поэтому для каждого топлива должна применяться определенная оптимальная степень сжатия. В зависимости от рода топлива степень сжатия в изучаемых двигателях изменяется от 4 до 9.

Таким образом, исследования показывают, что в двигателях внутреннего сгорания с подводом теплоты при постоянном объеме нельзя применять высокие степени сжатия. В связи с этим рассматриваемые двигатели имеют относительно низкие к.п.д.

#### Варианты задания

Таблица 2

$N$ $n/n$	$P_1, \text{МПа}$	$T_1, \text{K}$	$\varepsilon = v_1/v_2$	$\lambda = P_3/P_2$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
1	0,095	290	4,5	3,00
2	0,095	290	4,7	2,95
3	0,095	290	4,9	2,90
4	0,095	290	4,1	2,85
5	0,095	290	4,3	2,80
6	0,095	290	4,5	2,75
7	0,095	290	4,7	2,70
8	0,095	290	4,9	2,65
9	0,095	290	5,1	2,60
10	0,095	290	5,3	2,55
11	0,095	290	5,5	2,50
12	0,095	290	5,7	2,45
13	0,095	290	5,9	2,40
14	0,095	290	6,1	2,35
15	0,095	290	6,3	2,30
16	0,095	290	6,5	2,25
17	0,095	290	6,7	2,20
18	0,095	290	6,9	2,15
19	0,095	290	7,1	2,10
20	0,095	290	7,3	2,05
21	0,105	300	7,5	2,00
22	0,105	300	7,7	2,05
23	0,105	300	7,9	2,10
24	0,105	300	8,1	2,15

25	0,105	300	8,3	2,20
26	0,105	300	8,5	2,25
27	0,105	300	8,7	2,30
28	0,105	300	8,9	2,35
29	0,105	300	8,8	2,40
30	0,105	300	8,6	2,45
31	0,105	300	8,4	2,50
32	0,105	300	8,2	2,55
33	0,105	300	8,0	2,60
34	0,105	300	7,8	2,65
35	0,105	300	7,6	2,70
36	0,105	300	7,4	2,75
37	0,105	300	7,2	2,80
38	0,105	300	7,0	2,85
39	0,105	300	6,8	2,90
40	0,105	300	6,6	2,95

## 1.2. Цикл ДВС с изобарным подводом теплоты (цикл Дизеля)

Идеальный цикл ДВС с изобарным подводом теплоты, состоящий из изобары, изохоры и двух адиабат представлен в  $p\nu$ - и  $Ts$ - диаграммах на рис. 2.

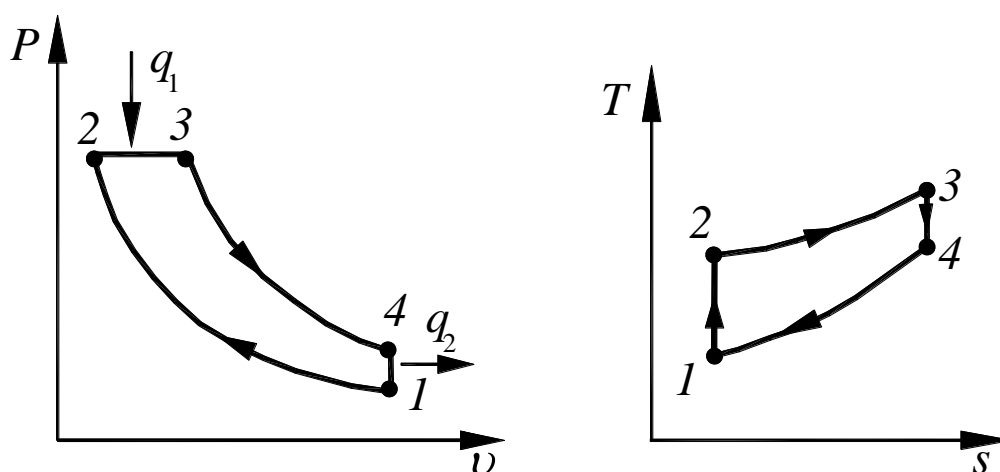


Рис. 2 – Цикл ДВС с изобарным подводом теплоты

Газообразное рабочее тело с начальными параметрами  $P_1$ ,  $\nu_1$ ,  $T_1$  сжимается по адиабате 1-2; затем телу по изобаре 2-3 сообщается некоторое количество теплоты  $q_1$ . От точки 3 рабочее тело расширяется; процесс протекает по адиабате 3-4. И наконец, по изохоре 4-1 рабочее тело возвращается в первоначальное состояние, при этом в теплоприемник отводится теплота  $q_2$ .

Количество подведенной теплоты при  $C_p = const$ ,  $C_v = const$  и  $k = C_p/C_v = const$ :

$$q_1 = C_p(T_3 - T_2)$$

Количество отведенной теплоты:  $q_2 = C_v(T_4 - T_1)$

Термический к.п.д. цикла:

$$\eta_t = (q_1 - q_2)/q_1 = 1 - q_2/q_1 = 1 - (T_4 - T_1)/k(T_3 - T_2)$$

Выразив температуры  $T_2, T_3, T_4$  через начальную температуру рабочего тела  $T_1$  можно получить следующую формулу для определения термического к.п.д.:

$$\eta_t = 1 - (\rho^k - 1) / (k \cdot e^{k-1} \cdot (\rho - 1))$$

По рассмотренному циклу работают компрессорные двигатели высокого сжатия, в которых ввод топлива и его распыление осуществляется сжатым воздухом.

В этих двигателях воздух сжимается в цилиндре, а жидкое топливо – в топливном насосе высокого давления. Раздельное сжатие позволяет применять высокие степени сжатия (до  $\varepsilon=20$ ) и исключает преждевременное самовоспламенение топлива. Процесс горения топлива при постоянном давлении обеспечивается соответствующей регулировкой топливной форсунки.

Воздух при большом сжатии имеет настолько высокую температуру, что подаваемое топливо в цилиндр самовоспламеняется без всяких специальных запальных приспособлений. Кроме того, раздельное сжатие воздуха и топлива позволяет использовать любое жидкое тяжелое и дешевое топливо – нефть, мазут, смолы, каменноугольные масла и пр.

#### Варианты задания

Таблица 3

$N$ $n/n$	$P_1, \text{МПа}$	$T_1, \text{K}$	$\varepsilon=v_1/v_2$	$\rho=v_3/v_2$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
1	0,100	300	12,0	1,5
2	0,100	300	12,0	1,8
3	0,100	300	12,0	2,1
4	0,100	300	12,5	1,8
5	0,100	300	12,5	1,9
6	0,100	300	12,5	2,0
7	0,100	300	13,0	1,6
8	0,100	300	13,0	1,8
9	0,100	300	13,0	2,3
10	0,100	300	13,5	1,4
11	0,100	300	13,5	1,8
12	0,100	300	13,5	2,2
13	0,100	300	14,0	1,7
14	0,100	300	14,0	2,0
15	0,100	300	14,0	2,2
16	0,100	300	14,5	1,8
17	0,100	300	14,5	1,9
18	0,100	300	14,5	2,3
19	0,100	300	15,0	1,5
20	0,100	300	15,0	1,8
21	0,105	310	15,5	1,5

22	0,105	310	15,5	1,8
23	0,105	310	15,5	2,2
24	0,105	310	16,0	1,6
25	0,105	310	16,0	1,9
26	0,105	310	16,0	2,1
27	0,105	310	16,5	1,7
28	0,105	310	16,5	2,0
29	0,105	310	16,5	2,2
30	0,105	310	17,0	1,6
31	0,105	310	17,0	1,8
32	0,105	310	17,0	2,0
33	0,105	310	17,5	1,5
34	0,105	310	17,5	1,7
35	0,105	310	17,5	2,1
36	0,105	310	18,0	1,6
37	0,105	310	18,0	1,9
38	0,105	310	18,0	2,2
39	0,105	310	18,5	1,5
40	0,105	310	18,5	2,0

### 1.3. Цикл ДВС со смешанным подводом теплоты (цикл Тринклера)

Идеальный цикл ДВС со смешанным подводом теплоты, состоящий из двух изохор, двух адиабат и одной изобары представлен в  $p\nu$ -и  $Ts$ - диаграммах на рис. 3.

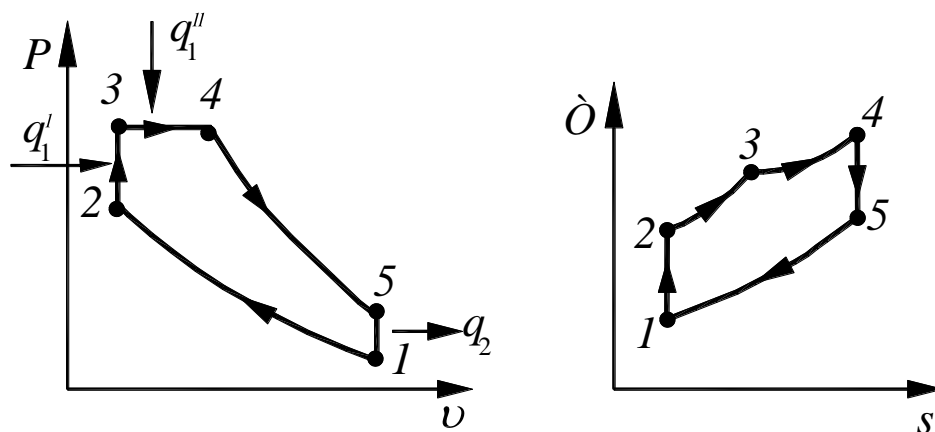


Рис. 3. Цикл ДВС со смешанным подводом теплоты

Рабочее тело с параметрами  $P_1$ ,  $\nu_1$ ,  $T_1$  сжимается по адиабате 1-2 до точки 2. По изохоре 2-3 к рабочему телу подводится первая доля теплоты  $q'_1$ . По изобаре 3-4 подводится вторая доля теплоты  $q''_1$ . От точки 4 рабочее тело расширяется по адиабате 4-5. И, наконец, по изохоре 5-1 рабочее тело возвращается в первоначальное состояние – в точку 1, при этом отводится теплота  $q_2$  в теплоприемник.

Первая часть подведенной теплоты при  $C_p = \text{const}$ ,  $C_v = \text{const}$  и  $k = C_p/C_v = \text{const}$ :

$$q'_1 = C_v(T_3 - T_2)$$

Вторая часть подведенной теплоты:

$$q''_1 = C_p(T_4 - T_3)$$

Количество отведенной теплоты:

$$q_2 = C_v(T_5 - T_1)$$

Термический к.п.д. цикла:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q'_1 + q''_1} = 1 - \frac{T_5 - T_1}{(T_3 - T_2) + k(T_4 - T_3)}$$

Выразив температуры  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ ,  $T_5$  через начальную температуру рабочего тела  $T_1$ :

$$\eta_t = 1 - \frac{\lambda \rho^k - 1}{\varepsilon^{k-1}[(\lambda - 1) + k\lambda(\rho - 1)]}$$

По циклу со смешанным подводом теплоты работают бескомпрессорные двигатели высокого сжатия и с механическим распылением топлива.

Для этих двигателей обычно принимают  $\varepsilon = 10 \div 14$ ,  $\lambda = 1,2 \div 1,7$  и  $\rho = 1,1 \div 1,5$ . Цикл со смешанным подводом теплоты обобщает два исследованных цикла. Если допустить, что  $\lambda = 1$ , то цикл со смешанным подводом теплоты превращается в цикл с изобарным подводом теплоты с соответствующим этому циклу к.п.д. Если принять, что  $\rho = 1$ , то цикл со смешанным подводом теплоты превращается в цикл с изохорным подводом теплоты с соответствующим этому циклу к.п.д.

Жидкое топливо топливным насосом подается через топливную форсунку в головку цилиндра в виде мельчайших капелек. Попадая в раскаленный воздух, топливо самовоспламеняется и горит в течение всего периода, пока открыта форсунка: вначале при постоянном объеме, а затем при постоянном давлении.

В некоторых типах двигателей распыливание топлива происходит в специальной предкамере, которая обычно находится в верхней части цилиндра двигателя и соединена с рабочей камерой цилиндра одним или несколькими узкими каналами. Во время сжатия воздуха давление в цилиндре возрастает быстрее, чем давление в предкамере; вследствие разности давлений возникает поток воздуха из цилиндра в предкамеру, который используется для распыливания подаваемого в предкамеру жидкого топлива.

Создание двигателей со смешанным подводом теплоты, в которых отсутствуют компрессоры, позволило упростить конструкцию, улучшить работу и увеличить экономичность двигателей.

#### Варианты задания

Таблица 4

$N$	$P_1, \text{МПа}$	$T_1, \text{К}$	$\varepsilon = v_1/v_2$	$\lambda = P_3/P_2$	$\rho = v_4/v_3$
-----	-------------------	-----------------	-------------------------	---------------------	------------------

<i>n/n</i>					
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
1	0,100	290	10,0	1,2	1,1
2	0,100	290	10,0	1,2	1,2
3	0,100	290	10,0	1,2	1,3
4	0,100	290	10,0	1,2	1,4
5	0,100	300	11,0	1,3	1,5
6	0,100	300	11,0	1,3	1,1
7	0,100	300	11,0	1,3	1,2
8	0,100	300	11,0	1,3	1,3
9	0,100	300	11,0	1,3	1,4
10	0,100	300	11,0	1,3	1,5
11	0,100	280	12,0	1,4	1,1
12	0,100	280	12,0	1,4	1,2
13	0,100	280	12,0	1,4	1,3
14	0,100	280	12,0	1,4	1,4
15	0,100	280	12,0	1,4	1,5
16	0,100	310	13,0	1,5	1,1
17	0,100	310	13,0	1,5	1,2
18	0,100	310	13,0	1,5	1,3
19	0,100	310	13,0	1,5	1,4
20	0,100	310	13,0	1,5	1,5
21	0,100	280	14	1,6	1,1
22	0,100	280	14	1,6	1,2
23	0,100	280	14	1,6	1,3
24	0,100	280	14	1,6	1,4
25	0,100	290	13	1,7	1,5
26	0,100	290	13	1,7	1,1
27	0,100	290	13	1,7	1,2
28	0,100	290	13	1,7	1,3
29	0,100	290	13	1,7	1,4
30	0,100	290	13	1,7	1,5
31	0,100	300	12	1,5	1,1
32	0,100	300	12	1,5	1,2
33	0,100	300	12	1,5	1,3
34	0,100	300	12	1,5	1,4
35	0,100	300	12	1,5	1,5
36	0,100	310	11	1,4	1,1
37	0,100	310	11	1,4	1,2
38	0,100	310	11	1,4	1,3
39	0,100	310	11	1,4	1,4
40	0,100	310	11	1,4	1,5

**II. Термодинамический анализ идеального цикла  
воздушной холодильной машины (ВХМ)**

Машины, непрерывно поддерживающие температуры тел ниже температуры окружающей среды, называют холодильными. В них используются в отличие от тепловых двигателей обратные термодинамические циклы, в соответствии с которыми можно, затрачивая механическую работу, отнять некоторое количество теплоты от источника с низкой температурой и передать ее к источнику с более высокой температурой.

Холодильные установки условно можно разделить на две группы:

1) газовые или воздушные установки; 2) паровые компрессорные установки.

Воздушные установки ввиду малого холодильного эффекта и больших размеров отдельных аппаратов не получили широкого распространения.

В паровых установках рабочим телом являются пары различных веществ: аммиака ( $NH_3$ ), углекислоты ( $CO_2$ ), сернистого ангидрида ( $SO_2$ ), фреонов ( $R12$ ,  $R22$ ,  $R-134a$ ,  $R-404$  и т.д.). Паровые холодильные машины, обладающие большой надежностью действия, получили более широкое распространение.

Кроме газовых и паровых, существуют холодильные установки, основанные на других принципах: парожетторные, абсорбционные и т.д.

Показателем совершенства холодильной машины является холодильный коэффициент:

$$\varepsilon = \frac{q_2}{l}.$$

Чем больше отнимается теплоты  $q_2$  и чем меньше при этом затрачивается механической работы  $l$  и чем больше холодильный коэффициент  $\varepsilon$ , тем совершенней будет холодильный цикл.

Эффективность работы ВХМ вследствие потерь эксергии, возникающих из-за внешней необратимости и теплопереноса в теплообменниках при конечной разности температур, отражает эксергетический к.п.д.

Эксергетический к.п.д. ВХМ представляет собой отношение эксергии полученного холода  $Q_0$  ( $\tau_q$ )<sub>0</sub>, т.е. полезного эффекта холодильной установки, к затраченной энергии  $N_k$ .

$$\eta_{ex} = \frac{Q_0(\tau_q)_0}{N_k} \text{ или } \eta_{ex} = \frac{q_0(\tau_q)_0}{\ell_u}$$

Основными достоинствами ВХМ являются: доступность и безопасность хладагента (воздуха); возможность достижения весьма низких температур ( $-100^\circ\text{C}$ ) и возможность быстрого перевода на другие температурные режимы.

Недостатками ВХМ являются: малая экономичность и громоздкость установки.

## 2.1. Цикл воздушной холодильной машины

Идеальный цикл ВХМ, состоящий из двух изобар и двух адиабат представлен в  $p\nu$ - и  $Ts$ - диаграммах на рис. 4.

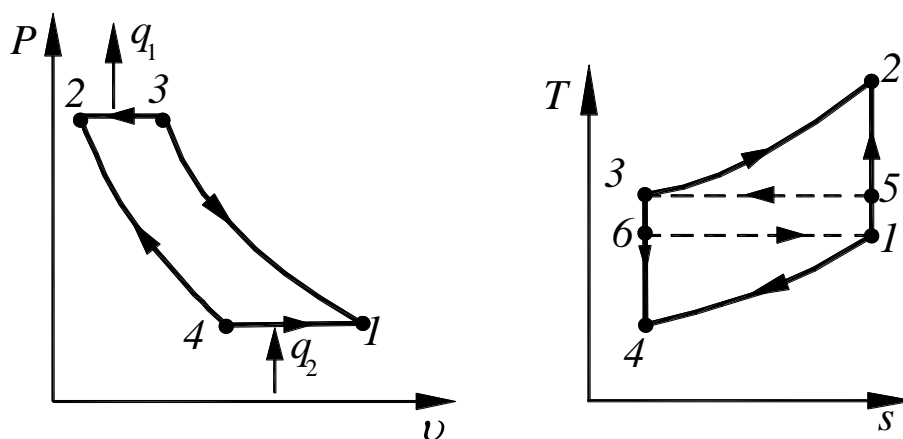


Рис. 4. Цикл воздушной холодильной машины

Воздух в процессе 1-2 адиабатно сжимается в компрессоре от давления  $P_1$  до давления  $P_2$ . Далее в изобарном процессе 2-3 воздух охлаждается в теплообменнике - охладителе, т.е. от воздуха отводится теплота внешнему источнику, и температура его понижается от  $T_2$  до  $T_3$ . Затем при адиабатном расширении в процессе 3-4 воздух дополнительно охлаждается в детандере (расширительной машине) от  $T_3$  до  $T_4$ . И наконец, при изобарном процессе 4-1 в холодильной камере (испарителе) происходит отвод тепла от охлаждаемого помещения (теплоотдатчика), в результате чего воздух нагревается от  $T_4$  до  $T_1$ .

Холодильный коэффициент идеального цикла ВХМ можно выразить через:

$$\varepsilon = \frac{T_1}{T_2 - T_1},$$

где  $T_1$  – температура охлаждаемого помещения или температура засасываемого воздуха в компрессор;

$T_2$  – температура сжатого в компрессоре воздуха.

Наиболее совершенным процессом отвода теплоты был бы изотермический процесс 5-3, а процессом подвода теплоты – изотермический процесс 6-1. В итоге получился бы цикл 1-5-3-6-1 – это есть обратимый цикл Карно, который является наиболее совершенным циклом холодильной машины.

В идеальном цикле ВХМ по сравнению с циклом Карно дополнительно затрачивается работа, равная сумме площадей 2352 и 1641. При этом количество теплоты, отбираемой от охлаждаемого помещения за один цикл, будет меньше на величину площади 1641 по сравнению с теплотой в цикле Карно. Следовательно, холодильный коэффициент цикла ВХМ будет значительно меньше холодильного коэффициента цикла Карно, осуществляемого в том же интервале минимальной  $T_1$  и максимальной  $T_3$  температур, для которого:

$$\varepsilon = \frac{T_1}{T_3 - T_1},$$

т.к.  $T_3 < T_2$ , то  $\varepsilon_K > \varepsilon$ .

### Порядок расчета цикла ВХМ

1) Определение работы, затраченной в цикле ВХМ, равной разности работ компрессора и детандера:

$$l_u = l_k - l_o,$$

где  $l_k = h_2 - h_1$  – работа по сжатию воздуха в компрессоре;

$l_o = h_3 - h_4$  – работа, совершаемая при расширении воздуха в детандере.

2) Определение холодильного коэффициента ВХМ, представляющего собой отношение удельной холодопроизводительности к затраченной в цикле работе:

$$\varepsilon = \frac{q_o}{|l_u|},$$

где  $q_o = h_1 - h_4$  – удельная холодопроизводительность.

3) Определение удельной нагрузки в теплообменнике – охладителе:

$$q_{TO} = h_3 - h_2$$

4) Проверка энергетического баланса ВХМ:

$$q_o + |l_u| = |q_{TO}|$$

5) Определение массового расхода хладагента (воздуха):

$$m = \frac{Q_o}{q_o}, \text{ кг/с}$$

где  $Q_o$  – холодопроизводительность.

6) Определение мощности компрессора  $N_k$ , детандера  $N_o$  и затраченной на получение холода  $N_u$ :

$$N_k = m |l_k| \quad N_o = m |l_o|$$

$$N_u = N_k - N_o.$$

7) Определение холодильного коэффициента для обратного цикла Карно:

$$\varepsilon_k = \frac{T_1}{T_3 - T_1}$$

8) Определение эксергетический к.п.д ВХМ:

$$\eta_{ex} = \varepsilon |(\tau_q)_o|$$

где  $(\tau_q)_o = \frac{T_o - T_{oc}}{T_o}$  - коэффициент работоспособности холода;

$T_o = \frac{T_1 + T_4}{2}$  - средняя температура хладагента в процессе 4-1;

$T_{oc} = 293K$  - температура окружающей среды.

# Варианты задания

Таблица 5

$N$ $n/n$	$P_1, \text{МПа}$	$T_1, \text{K}$	$T_3, \text{K}$	$Q_0, \text{кВт}$	$\lambda=P_2/P_1$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
1	0,100	270	310	50	5,2
2	0,102	275	315	60	5,4
3	0,104	280	320	70	5,6
4	0,106	285	325	80	5,8
5	0,108	265	305	90	6,0
6	0,110	270	310	100	6,2
7	0,112	275	315	110	6,4
8	0,114	280	318	120	6,6
9	0,116	285	323	130	6,8
10	0,118	265	333	140	7,0
11	0,120	272	343	150	5,3
12	0,122	277	338	160	5,5
13	0,124	283	333	180	5,7
14	0,126	285	328	190	5,9
15	0,0128	265	323	200	6,1
16	0,130	268	315	210	6,3
17	0,132	271	318	220	6,5
18	0,134	274	321	230	6,8
19	0,136	277	324	240	6,6
20	0,138	280	327	250	6,4
21	0,140	280	324	230	6,5
22	0,138	277	321	220	6,3
23	0,136	274	318	210	6,1
24	0,134	271	315	200	5,9
25	0,132	268	322	190	5,7
26	0,130	265	328	180	5,5
27	0,128	285	333	160	5,3
28	0,126	283	338	150	7,0
29	0,124	277	343	140	6,9
30	0,122	272	333	130	6,6
31	0,120	265	323	120	6,4
32	0,118	285	318	110	6,2
33	0,116	280	315	100	6,0
34	0,114	275	310	90	5,8
35	0,112	270	305	80	5,6
36	0,110	265	325	70	5,4
37	0,108	285	320	60	5,2
38	0,106	280	315	50	5,0
39	0,104	275	310	40	4,8
40	0,102	270	305	30	4,6

Материалы курсовых работ приведены в методических указаниях для выполнения курсовых работ, разработанных на кафедре ПАХТ:

Термодинамический анализ идеальных циклов тепловых двигателей и холодильных машин / А.А. Сагдеев, Ф.М. Гумеров, К.А. Сагдеев – Нижнекамск : Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2012.- 22 с.

### **Критерии оценки выполнения курсовой работы**

Оценка **«отлично» (90-100 баллов)** выставляется при выполнении курсовой работы в полном объеме; работа отличается глубиной проработки всех разделов содержательной части, оформлена с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач, сформулированных в задании; на все вопросы дает правильные и обоснованные ответы, убедительно защищает свою точку зрения.

Оценка **«хорошо» (75-89 баллов)** выставляется при выполнении курсовой работы в полном объеме; работа отличается глубиной проработки всех разделов содержательной части, оформлена с соблюдением установленных правил; студент твердо владеет теоретическим материалом, может применять его самостоятельно или по указанию преподавателя; на большинство вопросов даны правильные ответы, защищает свою точку зрения достаточно обосновано.

Оценка **«удовлетворительно» (60-74 баллов)** выставляется при выполнении курсовой работы в основном правильно, но без достаточно глубокой проработки некоторых разделов; студент усвоил основные разделы теоретического материала и по указанию преподавателя (без инициативы и самостоятельности) применяет его практически; на вопросы отвечает неуверенно или допускает ошибки, неуверенно защищает свою точку зрения.

Оценка **«неудовлетворительно» (менее 60 баллов)** выставляется, когда студент не может защитить свои решения, допускает грубые фактические ошибки при ответах на поставленные вопросы или вовсе не отвечает на них.