

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

«03» 05. 2023 г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

по дисциплине

Б1.О.24 «Основы трансформации теплоты»

(код и наименование дисциплины (модуля))

13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

(код и наименование направления подготовки)

«Энергообеспечение предприятий»

(наименование профиля/специализации)

бакалавр

квалификация

очная, очно-заочная

форма обучения



Составитель ФОС:

Доцент  
(должность)

(подпись)

А.М. Абдуллин  
(Ф.И.О)

ФОС рассмотрен и одобрен на заседании кафедры ЭТЭОП,  
протокол № 8 от 18.04. 2023 г.

Зав. кафедрой

(подпись)

Е. Н. Гаврилов  
(Ф.И.О.)

Эксперт:

Гаврилов Е.Н., зав. кафедрой ЭТЭОП НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ»

Ф.И.О., должность, организация, подпись

(подпись)

***Перечень компетенций и индикаторов достижения компетенций с указанием этапов формирования в процессе освоения дисциплины***

Компетенции:

ОПК-3 - Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач.

Индикаторы достижения компетенции:

ОПК-3.1 - Знает базу физико-математического аппарата, методов анализа и моделирования и исследования систем производства энергии и энергообеспечения объектов.

ОПК-3.2 - Умеет анализировать и моделировать системы производства пара, горячей воды и электрической энергии, а также системы энергоснабжения различных объектов.

ОПК-3.3 - Владеет методами анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования источников производства и распределения энергии.

ОПК- 4 - Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах.

Индикаторы достижения компетенции:

ОПК- 4.1 - Знает способы получения, преобразования, преобразования и использования теплоты в технологических установках.

ОПК- 4.2 - Умеет производить контроль качества монтажа котельного, основного и вспомогательного оборудования систем теплоснабжения.

ОПК- 4.3 - Владеет методами обеспечения надежной работы источников производства теплоты и систем ее транспортировки.

ОПК-5 - Способен учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок.

Индикаторы достижения компетенции:

ОПК-5.1 - Знает области применения, свойства, характеристики и методы исследования конструкционных материалов.

ОПК- 5.2 - Умеет выбирать конструкционные материалы с требуемыми характеристиками для использования в области профессиональной деятельности.

ОПК-5.3 - Владеет навыками использования знаний в области материаловедения для решения широкого спектра задач в профессиональной деятельности.

<b>Индикаторы достижения компетенции</b>	<b>Этапы формирования в процессе освоения дисциплины</b> (указать все темы из РПД)				<b>Наименование оценочного средства</b>
	<b>Лекции</b>	<b>Практические занятия</b>	<b>Лабораторные занятия</b>	<b>Курсовой проект (работа)</b>	
ОПК-3.1	<i>Тема 1-4</i>	<i>Тема 1-4</i>	<i>Не предусмотрены</i>	<i>Не предусмотрены</i>	<i>Коллоквиум, расчетно-графическая работа, зачет с оценкой</i>
ОПК-3.2	<i>Тема 1-4</i>	<i>Тема 1-4</i>	<i>Не предусмотрены</i>	<i>Не предусмотрены</i>	<i>Коллоквиум, расчетно-графическая работа, зачет с оценкой</i>
ОПК-3.3	<i>Тема 1-4</i>	<i>Тема 1-4</i>	<i>Не предусмотрены</i>	<i>Не предусмотрены</i>	<i>Коллоквиум, расчетно-графическая работа, зачет с оценкой</i>
ОПК-4.1	<i>Тема 1-4</i>	<i>Тема 1-4</i>	<i>Не предусмотрены</i>	<i>Не предусмотрены</i>	<i>Коллоквиум, расчетно-графическая работа, зачет с оценкой</i>
ОПК-4.2	<i>Тема 1-4</i>	<i>Тема 1-4</i>	<i>Не предусмотрены</i>	<i>Не предусмотрены</i>	<i>Коллоквиум, расчетно-графическая работа, зачет с оценкой</i>
ОПК-4.3	<i>Тема 1-4</i>	<i>Тема 1-4</i>	<i>Не предусмотрены</i>	<i>Не предусмотрены</i>	<i>Коллоквиум, расчетно-графическая работа, зачет с оценкой</i>
ОПК-5.1	<i>Тема 1-4</i>	<i>Тема 1-4</i>	<i>Не предусмотрены</i>	<i>Не предусмотрены</i>	<i>Коллоквиум, расчетно-графическая работа, зачет с оценкой</i>
ОПК-5.2	<i>Тема 1-4</i>	<i>Тема 1-4</i>	<i>Не предусмотрены</i>	<i>Не предусмотрены</i>	<i>Коллоквиум, расчетно-графическая работа, зачет с оценкой</i>
ОПК-5.3	<i>Тема 1-4</i>	<i>Тема 1-4</i>	<i>Не предусмотрены</i>	<i>Не предусмотрены</i>	<i>Коллоквиум, расчетно-графическая работа, зачет с оценкой</i>

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

<b><i>Оценочные средства</i></b>	<b><i>Кол-во</i></b>	<b><i>Min, баллов</i></b>	<b><i>Max, баллов</i></b>
<b><i>РГР</i></b>	<b><i>1</i></b>	<b><i>20</i></b>	<b><i>40</i></b>
<b><i>Коллоквиум</i></b>	<b><i>4</i></b>	<b><i>40</i></b>	<b><i>60</i></b>
<b><i>Итого:</i></b>		<b><i>60</i></b>	<b><i>100</i></b>

### *Шкала оценивания*

Цифровое выражение	Выражение в баллах:	Словесное выражение	Критерии оценки индикаторов достижения при форме контроля:	
			экзамен / зачет с оценкой	зачет
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	Удовлетворительно (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	Неудовлетворительно (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 сред- ства</i>	<i>Краткая характеристика оценочного средства</i>	<i>Представление оценочного сред- ства в фонде</i>
1.	Практическое занятие	В ходе практических работ студенты овладевают умениями пользоваться работать с нормативными документами и инструктивными материалами, справочниками, составлять техническую документацию; выполнять чертежи, схемы, таблицы, решать разного рода задачи, делать вычисления, определять характеристики различных веществ, объектов, явлений. Цель практических занятий заключается в выработке у студентов навыков применения полученных знаний для решения практических задач в процессе совместной деятельности с преподавателями.	Темы практических занятий; контрольные вопросы и задания по теме практического занятия, вопросы коллоквиума
2.	Коллоквиум	Средство контроля усвоения учебного материала темы, раздела или разделов дисциплины, организованное как учебное занятие в виде собеседования преподавателя с обучающимися.	Вопросы по темам/разделам дисциплины
5	Расчетно- графическая работа	Средство проверки умений применять полученные знания по заранее определенной методике для решения задач или заданий по модулю или дисциплине в целом.	Комплект заданий для выполнения расчетно-графической 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 информационных технологий*

*Кафедра электротехники и энергообеспечения предприятий*

Учебным планом по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» для обучающихся предусмотрено проведение практических занятий по дисциплине «Основы трансформации теплоты» в объеме 6 часов. Обучающимся предлагаются разноуровневые задачи и задания реконструктивного уровня, позволяющие оценивать и диагностировать умения синтезировать, анализировать, обобщать фактический и теоретический материал с формулированием конкретных выводов, установлением причинно-следственных связей.

Цели практических занятий:

- 1) углубление и закрепление теоретических знаний, полученных студентами на лекции;
- 2) научиться проводить анализ совокупности физических явлений происходящих системах трансформации теплоты; идеализировать реальные явления;
- 3) научиться произвести расчеты обратных циклов, используемых в термотрансформаторах;
- 4) приобрести навыки расчета потребления предприятий холода для технологических нужд, вентиляции и кондиционирования воздуха;
- 5) научиться рассчитать систем разделения воздуха;
- 6) приобрести навыки работы со справочной и научной литературой.

**Задание 1: Парокомпрессионные трансформаторы теплоты**

- 1) Второе начало термодинамики для анализа термотрансформаторов.
- 2) Анализ образцовых циклов процессов термостатирования.
- 3) Энергетических показателей парокомпрессионных термотрансформаторов.
- 4) Расчет двухступенчатой холодильной установки.

**Задание 2: Струйные и абсорбционные трансформаторы теплоты**

- 1) Расчет парожеткорных холодильных установок.
- 2) Расчет вихревых термотрансформаторов.
- 3) Определение энергетических показателей водоаммиачного и бромисто-литиевых термотрансформаторов.

**Задание 3: Газовые и газожидкостные компрессионные термотрансформаторы**

- 1) Расчет параметров идеальных газовых термотрансформаторов.
- 2) Расчет компрессионного термотрансформатора с регенерацией.
- 3) Расчет параметров криорефрижераторов с дроссельной и с детандерной ступенью окончательного охлаждения.

**Задание 4: Системы ожижения и разделения газовых смесей**

- 1) Основные параметров процессов ожижения и замораживания газов.
- 2) Определение параметров низкотемпературного разделения газовых смесей.

**Критерии оценки практических занятий**

После проведения практических занятий по каждой теме (заданию) проводится тестирование каждого обучающегося в виде проведения коллоквиума. Учащемуся задаются несколько вопросов из списка вопросов коллоквиумов. В зависимости от уровня освоенности темы обучающемуся ставится обобщенная оценка за тему практического занятия и коллоквиума по этой теме.



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 информационных технологий*

*Кафедра электротехники и энергообеспечения предприятий*

Направление подготовки: 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»  
Профиль «Энергообеспечение предприятий»

**Вопросы тестов (коллоквиумов)  
для проверки промежуточного контроля знаний студентов  
по дисциплине «Основы трансформации теплоты»**

Тест (Коллоквиум) №1.

### **Парокомпрессионные трансформаторы теплоты**

1. Классификация трансформаторов теплоты.
2. Циклические, квазициклические и нециклические процессы в трансформаторах тепла.
3. Основные термодинамические зависимости.
4. Характерные энергетические зоны в низкотемпературной области.
5. Характер изменения удельных эксергетических затрат.
6. Общая характеристика хладоагентов и криоагентов.
7. Хладоносители.
8. Удельные энергозатраты и КПД компрессионных трансформаторов тепла.
9. Методика расчета одноступенчатых трансформаторов тепла.
10. Регенеративный теплообмен в парожидкостных трансформаторах тепла.
11. Многоступенчатые компрессионные трансформаторы тепла.
12. Применение двухступенчатых теплонасосных установок в системах теплоснабжения.
13. Каскадные рефрижераторные установки.
14. Назначение и классификация нагнетательных и расширительных машин.
15. Термогазодинамические основы процессов сжатия и расширения.
16. Компрессоры объемного действия.
17. Компрессоры кинетического действия (турбокомпрессоры).
18. Поршневые детандеры.
19. Турбодетандеры.

Тест (Коллоквиум) №2.

### **Струйные и абсорбционные трансформаторы теплоты**

1. Типы струйных трансформаторов тепла.
2. Принципиальная схема и КПД струйного компрессора.
3. Определение коэффициента инжекции и давления сжатия струйного компрессора.
4. Расчет геометрических размеров струйных компрессоров.
5. Характеристики и предельные режимы работы струйного компрессора.
6. Принципиальная схема и КПД парожеткорных холодильных установок.
7. Принципиальная схема вихревой трубы и процесс ее работы.
8. Характеристика вихревой трубы.
9. Оптимальные режимы работы вихревой трубы.
10. Принцип действия идеальных абсорбционных установок и удельный расход тепла в них.
11. Схема и процесс работы реальных абсорбционных трансформаторов тепла.

12. Методика расчета одноступенчатых абсорбционных трансформаторов тепла.
13. Зависимость удельного расхода энергии в абсорбционных установках от параметров генерации, испарения и охлаждения.
14. Работа абсорбционных холодильных установок в нерасчетных условиях.
15. Двухступенчатые абсорбционные трансформаторы тепла.
16. Абсорбционные трансформаторы тепла периодического действия.
17. Абсорбционно-диффузионные холодильные установки.
18. Энергетическое сравнение абсорбционных и компрессионных холодильных установок.

#### Тест (Коллоквиум) №3

##### **Газовые и газожидкостные компрессионные трансформаторы теплоты**

1. Особенности процессов в газовых трансформаторах тепла.
2. Идеальные газовые циклы со стационарными процессами.
3. Реальные газовые циклы и квазициклы со стационарными процессами.
4. Газовые циклы и установки с нестационарными процессами.
5. Особенности газожидкостных термотрансформаторов.
6. Криорефрижераторы с дроссельной ступенью окончательного охлаждения
7. Криорефрижераторы с детандерной ступенью окончательного охлаждения

#### Тест (Коллоквиум) №4

##### **Системы ожижения и разделения газовых смесей**

1. Особенности системы ожижения, замораживания и низкотемпературного разделения.
2. Идеальные процессы ожижения и замораживания газов.
3. Ожижители с дроссельной ступенью окончательного охлаждения.
3. Технические процессы ожижения и замораживания газов.
4. Ожижитель Линде с внешним отводом теплоты.
5. Ожижитель Клода.
6. Ожижитель Капицы.
4. Свойства газовых смесей и характеристика методов их разделения.
7. Идеальные процессы разделения газовых смесей.
8. Технические процессы низкотемпературного разделения газовых смесей.
9. Низкотемпературная ректификация воздуха.
10. Использование продуктов разделения воздуха.

#### **КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ (КОЛЛОКВИУМОВ)**

В процессе изучения дисциплины «Основы трансформации теплоты» для проверки уровня освоения основных разделов курса предусмотрены меры промежуточного контроля знаний студентов в виде тестирования во время коллоквиумов после изучения соответствующих разделов. Коллоквиумы (тестирование) проводится во время практических занятий. Студенты заранее информируются о предстоящем тестировании за две недели и получают список вопросов тестирования. Из всего списка вопросов студенту преподаватель методом случайного выбора задает три вопроса. Минимальный балл за каждый коллоквиум составляет **10 баллов**, максимальный – **15 баллов**. В итоге студент может набрать от **40** до **60** баллов.

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

*Факультет информационных технологий*  
*Кафедра электротехники и энергообеспечения предприятий*

Направление подготовки: 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»  
 Профиль/специализация: «Энергообеспечение предприятий»

**Комплект заданий для выполнения  
 контрольной расчетно-графической работы  
 по дисциплине «Основы трансформации теплоты»**

Студенты выполняют 5 комплексных заданий в виде расчетно-графических работ по разным разделам дисциплины согласно таблице 5.

**Задание 1**

Определить эксергию холода  $Q_o$ , полученного при температуре кипения  $T_s$  жидкого  $G$  при нормальном давлении и температуре окружающей среды  $t_{oc}$ . Определить значение коэффициента работоспособности тепла, отведенного при температуре кипения  $t_s$  хладагента  $R$  и сравнить его с коэффициентом работоспособности для температуры жидкого  $G$ . Составить тепловой и эксергетический баланс системы, производящий холод  $\bar{Q}_o$ , и определить ее КПД, если известно, что система потребляет  $N$  электроэнергии и из термотрансформатора отводится  $\bar{Q}_T$  теплоты. Коэффициент работоспособности отведенного из установки тепла  $\tau_q$ ; коэффициент работоспособности полученного холода  $\tau_{qo}$ . Определить, насколько изменится удельная эксергия потока хладагента  $R$ , который в теплообменнике при давлении  $p$  охлаждается с  $t_1$  до  $t_2$ .

№ вар	$Q_o$ , МДж	$G$	$t_{oc}$ , °C	$R$	$N$ , кВт	$\bar{Q}_T$ , кВт	$\tau_q$	$\tau_{qo}$	$p$ , МПа	$t_1$ , °C	$t_2$ , °C
1	4,1	N	1	R22	21	61	+0,031	-0,21	0,68	60	20
2	4,2	He	2	R23	22	64	+0,032	-0,23	0,5	52	12
3	4,3	Ne	3	R125	23	66	+0,033	-0,24	0,571	60	15
4	4,4	Ar	4	R134a	24	68	+0,034	-0,21	0,2	60	20
5	4,5	Kr	5	R22	25	75	+0,031	-0,23	0,498	55	15
6	4,6	Xe	6	R23	26	82	+0,032	-0,24	1,0	62	22
7	4,7	N	7	R125	27	84	+0,033	-0,21	0,571	60	15
8	4,8	He	8	R134a	28	88	+0,034	-0,23	0,3	60	15
9	4,9	Ne	9	R22	29	89	+0,031	-0,24	0,355	60	20
10	5,0	Ar	10	R23	30	90	+0,032	-0,21	0,5	72	22
11	5,1	Kr	11	R125	31	92	+0,033	-0,23	0,482	60	20
12	5,2	Xe	12	R134a	32	94	+0,034	-0,24	0,3	60	15
13	5,3	N	13	R23	33	96	+0,032	-0,21	0,5	52	20
14	5,4	He	14	R125	34	98	+0,033	-0,23	0,67	80	20

## Задание 2

Нарисовать схему одноступенчатого аммиачного трансформатора теплоты с охладителем хладагента и ее  $T_s$  - диаграмму. Определить холодопроизводительность  $Q_o$ ; температура хладагента на входе в испаритель  $t_{и1}$  и на выходе из него  $t_{и2}$ ; температура охлажденной воды на входе в конденсатор  $t_{в2}$  и выходе из него  $t_{в1}$ . Конечная минимальная разность температур в конденсаторе  $\Delta t_k$  и в испарителе  $\Delta t_{и}$ . Расход воды в охладителе хладагента  $G_B$  с температурой  $t_B$ , которая нагревается на  $\Delta t_{по}$ . По параметрам в характерных точках, полученных в результате расчета схемы, составить эксергетический баланс термотрансформатора, определить потери эксергии в отдельных элементах установки и КПД.

№ вар	$Q_o$ , кВт	$t_{и1}$ , °C	$t_{и2}$ , °C	$t_{в2}$ , °C	$t_{в1}$ , °C	$\Delta t_k$ , °C	$\Delta t_{и}$ , °C	$G_B$ , кг/с	$t_B$ , °C	$\Delta t_{по}$ , °C
1	69,71	-7	-14	19	24	5	4	0,133	5	4
52	69,72	-8	-15	20	25	4	3	0,134	6	5
63	69,73	-9	-16	21	26	6	5	0,135	7	6
4	69,74	-7	-14	19	24	5	4	0,136	8	4
5	69,75	-8	-15	20	25	4	3	0,137	9	5
6	69,76	-9	-16	21	26	6	5	0,138	10	6
7	69,77	-7	-14	19	24	5	4	0,139	5	4
8	69,78	-8	-15	20	25	4	3	0,140	6	5
9	69,79	-9	-16	21	26	6	5	0,141	7	6
10	69,80	-7	-14	19	24	5	4	0,142	8	4
11	69,81	-8	-15	20	25	4	3	0,143	9	5
12	69,82	-9	-16	21	26	6	5	0,140	10	6
13	69,83	-7	-14	19	24	5	4	0,144	5	4
14	69,84	-8	-15	20	25	4	3	0,145	6	5
15	69,85	-9	-16	21	26	6	5	0,143	7	6

## Задание 3

Нарисовать схему одноступенчатого абсорбционного водоаммиачного трансформатора теплоты. Установка имеет холодопроизводительность  $Q_o$ . Температура рассола на входе в испаритель  $t_{и1}$  и на выходе из него  $t_{и2}$ ; температура охлажденной воды на входе в конденсатор  $t_{в2}$  и выходе из него  $t_{в1}$ . Давление греющего водяного пара  $p(t_s)$ . Рабочий агент – аммиак; абсорбент – вода. Конечная разность температуры в испарителе  $\Delta t_{и}$ ; в конденсаторе  $\Delta t_k$ ; в абсорбенте  $\Delta t_a$ ; в генераторе  $\Delta t_g$ ; в охладителе  $\Delta t_{ох}$ ; в теплообменнике раствора  $\Delta t_{тор}$ ; в дефлегматоре  $\Delta t_d$ .

Определить параметры в характерных точках процесса и построить процесс в  $i-s$  - диаграмме. Рассчитать тепловые нагрузки аппаратов, удельный расход энергии, холодильный коэффициент и эксергетический КПД термотрансформатора.

№ вар	$Q_o$ , МВт	$t_{и1}$ , °C	$t_{и2}$ , °C	$t_{в2}$ , °C	$t_{в1}$ , °C	$p$ , МПа	$\Delta t_{и}$ , °C	$\Delta t_k$ , °C	$\Delta t_a$ , °C	$\Delta t_g$ , °C	$\Delta t_{ох}$ , °C	$\Delta t_{тор}$ , °C	$\Delta t_d$ , °C
1	1,1	-19	-29	18	23	0,25	3	4	5	5	9	10	14
2	1,2	-20	-30	19	24	0,30	4	5	4	7	10	12	15
3	1,3	-21	-31	20	25	0,35	5	6	6	6	11	11	16
4	1,4	-19	-29	21	26	0,25	3	4	5	5	9	10	14
5	1,5	-20	-30	18	23	0,30	4	5	4	7	10	12	15
6	1,6	-21	-31	19	24	0,35	5	6	6	6	11	11	16
7	1,7	-19	-29	20	25	0,25	3	4	5	5	9	10	14
8	1,8	-20	-30	21	26	0,30	4	5	4	7	10	12	15
9	1,9	-21	-31	18	23	0,35	5	6	6	6	11	11	16
10	2,0	-19	-29	19	24	0,25	3	4	5	5	9	10	14
11	2,1	-20	-30	20	25	0,30	4	5	4	7	10	12	15



12	2,2	-21	-31	21	26	0,35	5	6	6	6	11	11	16
13	2,3	-19	-29	18	23	0,25	3	4	5	5	9	10	14
14	2,4	-20	-30	19	24	0,30	4	5	4	7	10	12	15
15	2,5	-21	-31	20	25	0,35	5	6	6	6	11	11	16

#### Задание 4

В расчетных условиях холодопроизводительность парожидкостного компрессионного термотрансформатора  $Q_o$  при температуре испарения  $t_o = t_1$ ; Давление испарения  $p_o$ . Хладагент из испарителя выходит в состоянии сухого насыщенного пара с энтальпией

$i_1 = 1650$  кДж/кг. Температура рассола на входе в испаритель  $t_{и1}$  и на выходе  $t_{и2}$ . Давление в холодильнике термотрансформатора  $p_k = 1,2$  МПа, температура конденсации  $t_k = 30$  °С. Энтальпия жидкого аммиака перед дроссельным клапаном  $i_d = 562$  кДж/кг.

Коэффициент теплопередачи: в зоне перегрева  $k_n = 0,094$  кВт/(м<sup>2</sup>·°С), зоны испарения  $k_{и}$ . Коэффициент вредного пространства поршневого компрессора  $c = 0,03$ ; коэффициент плотности  $\lambda_{пл} = 0,95$ ; объем хода поршня  $V_h$ . Показатель политропы расширения  $n$ .

Подача аммиака в испаритель уменьшается на  $\xi\%$  за счет закрытия дроссельного вентиля. Определить параметры в нерасчетном режиме: холодопроизводительность, давление в испарителе, температуры паров хладагента на выходе из испарителя. Расход рассола и его температура  $t_{и1}$  остались неизменными.

№ вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$Q_o$ , кВт	17,1	17,2	17,3	17,4	17,5	17,6	17,7	17,8	17,9	18	18,1	18,2	18,3	18,4
$t_o$ , °С	-24	-25	-26	-24	-25	-26	-24	-25	-26	-24	-25	-26	-24	-25
$p_o$ , МПа	0,14	0,15	0,16	0,14	0,15	0,16	0,14	0,15	0,16	0,14	0,15	0,16	0,14	0,15
$t_{и1}$ , °С	-16	-15	-14	-16	-15	-14	-16	-15	-14	-23	-15	-14	-15	-14
$t_{и2}$ , °С	-23	-22	-21	-23	-22	-21	-23	-22	-21	-23	-23	-22	-21	-22
$k_{и}$ , кВт/м <sup>2</sup> ·К	0,45	0,5	0,52	0,48	0,47	0,46	0,49	0,51	0,52	0,53	0,49	0,48	0,49	0,5
$V_h$ , м <sup>3</sup> /с	0,019	0,02	0,021	0,019	0,02	0,019	0,02	0,021	0,019	0,02	0,019	0,02	0,021	0,019
$n$	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,04	1,03	1,02	1,01

#### Задание 5

Нарисовать схему ожижительной установки с детандером (схема Гейландта). Рассчитать параметры установки для ожижения воздуха при следующих условиях: исходные параметры воздуха  $p_1$  и  $T_1$ ; параметры сжатого воздуха на входе в теплообменник и детандер  $p$  и  $T_2$ ; разность температур  $\Delta t_n$ ; теплоприток через изоляцию  $q_{и}$ ; доля дросселируемого воздуха  $M = 0,4$ . Изотермический КПД компрессора  $\eta_k = 0,6$ , внутренний КПД детандера  $\eta_{дв} = 0,7$ , электромеханический КПД компрессора и детандера  $\eta_{кэм} = \eta_{дэм} = 0,9$ . Показать работу установки на  $T-s$  – диаграмме.

№вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$p_1$ , МПа	0,1	0,099	0,098	0,1	0,099	0,098	0,1	0,099	0,098	0,1	0,099	0,098	0,1	0,099
$T_1$ , К	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	294	295
$p_2$ , МПа	19	20	21	22	19	20	21	22	19	20	21	22	20	21
$T_2$ , К	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	294	295	294
$\Delta t_n$ , °С	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6	5	6
$q_{и}$ , кДж/кг	12,1	12,2	12,3	12,4	12,5	12,6	12,7	12,8	12,9	12,2	12,3	12,4	12,5	12,6

### **Критерии оценки расчетно-графической работы**

За каждое задание расчетно-графической контрольной работы выставляются рейтинговые баллы. Максимальное количество баллов за выполнение расчетно-графической работы составляет **40** единиц, минимальное – **20**.