

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
к проведению практических работ по дисциплине
«Энерготехнология химико-технологических процессов»**

Донецк
2021

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

КАФЕДРА «ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
к проведению практических работ по дисциплине
«Энерготехнология химико-технологических процессов»**

для обучающихся по направлению подготовки
18.03.01 «Химическая технология»
профиль «Технология тугоплавких неметаллических и силикатных
материалов»
всех форм обучения

РАССМОТРЕНО
на заседании кафедры
прикладной экологии и охраны
окружающей среды
Протокол № 7 от 18.02.2021 г.

УТВЕРЖДЕНО
на заседании учебно-издательского
совета ДОННТУ
Протокол № 3 от 10.03.2021 г.

Донецк
2021

УДК 66.01:620.9(076)

М54

Составители:

Ганнова Юлия Николаевна – кандидат химических наук, доцент кафедры прикладная экология и охрана окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ»;

Горбатко Сергей Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладная экология и охрана окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ».

М54 Методические рекомендации к проведению практических работ по дисциплине «Энерготехнология химико-технологических процессов» : для обучающихся по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология» профиль «Технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» всех форм обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. прикладной экологии и охраны окружающей среды; сост.: Ю.Н. Ганнова, С.В. Горбатко. — Донецк : ДОННТУ, 2021. – Систем. требования: Acrobat Reader. – Загл. с титул. экрана.

Методические рекомендации разработаны с целью оказания помощи обучающимся в усвоении теоретического материала и получении практических навыков по дисциплине «Энерготехнология химико-технологических процессов», которые содержат задания для решения практических задач по курсу.

УДК 66.01:620.9(076)

Содержание

Введение	5
Задачи для практики	6
Перечень рекомендованной литературы	12

ВВЕДЕНИЕ

Предметом энерготехнологии является изучение наиболее общих свойств макроскопических материальных систем, проявляющихся в равновесных (и неравновесных) процессах обмена энергией между ними. Значение термодинамики среди других наук весьма велико, так как почти все явления природы в той или иной степени связаны с процессами преобразования энергии.

В настоящее время термодинамический метод исследования широко применяется при изучении самых разнообразных физических явлений и успешно используется в химии. Сейчас существует не только техническая термодинамика, рассматривающая процессы взаимного преобразования теплоты и механической работы, но также термодинамика химических и фазовых превращений, термодинамика электрических и магнитных явлений, термодинамика излучения и т. д.

В основе термодинамики лежит несколько абсолютных по своему существу положений – начал термодинамики. Среди них первое место занимает один из наиболее общих законов природы - закон сохранения и превращения энергии.

Характерным для термодинамики является то, что она привлекает закон сохранения и превращения энергии в специфической, присущей только термодинамике форме – в форме уравнения первого начала термодинамики Закон сохранения и превращения энергии, выраженный в этой форме позволяет установить непосредственную связь между физическими величинами, характеризующими влияние разнородных воздействий на некоторое материальное тело, свойства которого являются объектом исследования, или на некоторую систему, в которой происходят процессы подлежащие изучению.

Задачи для практики

1. Манометр, установленный на паровом котле показывает 1,8 МПа. Определить давление пара в котле, если атмосферное давление 99 кПа.
2. Давление в конденсаторе паросиловой установки 12 кПа. Давление атмосферного воздуха 98, кПа. Определить разрежение в конденсаторе.
3. Чему равно абсолютное давление в резервуаре, если при температуре 30°C ртутный манометр показывает 1200 мм рт. ст., а ртутный барометр 750 мм рт.ст.? Температурное расширение ртути учитывать по формуле $h_0 = h(1 - 0,00172 t)$.
4. Масса 1 м³ метана составляет 0,7 кг. Определить плотность и удельный объем газа.
5. Определить объем газа, если масса его 3 кг, а плотность 0,95кг/м³
6. Определить плотность газов SO₂, NH₃, H₂O при н.у.
7. Определить удельный объем кислорода при давлении 2,3 МПа и температуре 280 °С.
8. Определить удельную газовую постоянную водяного пара.
9. Какой объем будет занимать моль идеального газа при температуре 15°C и давлении 750 мм рт.ст.?
10. В резервуаре емкостью 0,35 м³ содержится кислород под давлением 5бар и температуре 28 °С. Барометрическое давление 750 мм. рт.ст. Определить количество кислорода.
11. При температуре минус 25 °С давление в баллоне с кислородом 8,55 МПа. Как изменится показания манометра, если баллон будет нагрет до 30 °С? Барометрическое давление принять равным 0,1МПа.
12. Сжатый воздух в баллоне имеет температуру 15°C. При пожаре значение температуры поднялось до 450°C. Взорвется ли баллон, если он выдерживает давление в 100 атм.? Начальное давление в баллоне 5 атм.
13. Определить массу воздуха, который находится в комнате площадью 25м² и высотой 3,2м. Принять, что значение температуры воздуха в комнате t=22°C, а барометрическое давление 986,5 гПа.
14. В воздухонагреватель парового котлового агрегата вентилятором подается воздух V=13×10⁴ м³/час при температуре 30°C. Определить объемный расход воздуха на выходе из воздухонагревателя, если он нагревается до 400°C при постоянном давлении.
15. В баллоне емкостью 100 л содержится кислород при температуре 20 °С. Масса полного баллона 117 кг. Определить давление кислорода в баллоне, если известно, что масса пустого баллона 102 кг.
16. Определить массовую изобарную теплоемкость водяного пара, если известно, что его объемная изобарная теплоемкость составляет 1,59кДж/(м³К).

17. Газ при $p=1,5\text{МПа}$ и плотности $\rho=3,0\text{ кг/м}^3$ при охлаждении в теплообменнике изобарно сжимается при этом уменьшается в 3 раза. Определить удельную работу сжатия.

18. В сосуде объемом 300 л содержится азот под давлением $p_1=7\text{МПа}$ и температуре $t_1=400\text{ }^\circ\text{C}$. Какое количество теплоты необходимо подвести, чтобы температура газа $t=100^\circ\text{C}$? Условно считать $c_v=0,73\text{кДж/(кгК)}$.

19. Определить работу изобарного расширения газа от $V_1=2\text{ м}^3$ до $V_2=6\text{ м}^3$, если $p_{\text{изб}}=4\text{бар}$, $p_{\text{бар}}=750\text{ мм.рт.ст.}$. Определить изменение потенциальной энергии при данном процессе.

20. В обратном изотермическом процессе при $t=227\text{ }^\circ\text{C}$ энтропия 2 кг газа увеличилась на $0,46\text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$. Определить теплоту процесса.

21. Определить какое количество теплоты необходимо подвести к 3 л воды с начальной температурой $23\text{ }^\circ\text{C}$, учитывая, что в процессе кипения спарилось 300 гр.

22. Определить расход воздуха в системе охлаждения дизеля мощностью $N=38\text{ кВт}$, если отводимая теплота составляет 75% полезной мощности двигателя, а температура охлаждающего воздуха повышается на $15\text{ }^\circ\text{C}$.

23. В газгольдере объемом 15 м^3 находится метан при $p_1=0,8\text{ МПа}$ и $t_1=10^\circ\text{C}$. Под действием солнечной радиации температура газа на протяжении дня повысилась на 15 К. Какое давление установилось в газгольдере и какое количество теплоты воспринял газ? Теплоемкость метана считать независимой от температуры.

24. Определить изменение удельной энтальпии водяного пара в изохорном процессе. Начальное состояние пара характеризуется давлением 100 кПа и температурой 140°C , конечное - температурой 200°C . Условно считаем, что пар имеет свойства идеального газа.

25. Внутренняя энергия азота при нагревании в изохорном процессе изменяется на $29,8\text{ кДж/кг}$. Начальная температура азота 7°C . Определить изменение удельной энтропии.

26. После сжатия горючей смеси в цилиндре карбюраторного ДВС установились параметры: $p_1=1,5\text{ МПа}$ та $t_1=365\text{ }^\circ\text{C}$. Смесь загорается от электрической свечи и быстро сгорает (условно изохорно). Теплота, воспринятая рабочим телом составляет $q_v=480\text{ кДж/кг}$. Определить давление и температуру в конце процесса. Принять, что рабочее тело обладает свойствами воздуха, теплоемкость не зависит от температуры.

27. Колба электрической лампочки накаливания заполнена инертным газом. При работе лампочки средняя температура газа в колбе 150°C и давление 760 мм.рт.ст. . Определить разрежение в лампочке при температуре 20°C и барометрическом давлении 745 мм.рт.ст.

28. В процессе сгорания при постоянном давлении в цилиндре внутреннего сгорания температура газа повышается от $t_1=500^\circ\text{C}$ до t_2

= 1500°C. Определить работу расширения на 1 кг газа, считая, что газ обладает свойствами воздуха.

29. В цилиндре с подвижным поршнем расширяется 0,3 м³ воздуха при постоянном давлении 0,6МПа, совершая работу 100 кДж. Определить конечную температуру воздуха, если $t_1 = 20^\circ\text{C}$.

30. В цилиндре с подвижным поршнем первоначально содержится 0,2 м³ ацетилена при +21°C. Поршень, свободно перемещаясь, поддерживает давление газа в 0,6МПа. Сколько работы выполнит газ, если его нагреть до +423К?

31. Воздух охлаждается в водяном воздухоохладителе системы кондиционирования от 35°C до 25°C при постоянном давлении. Расход воздуха 1800 м³/час. Определить расход охлаждающей воды, которая нагревается на 6°C.

32. Оксид углерода в количестве 1 кг, расширяясь при постоянном давлении 5 кПа, выполняет работу в 4,6 кДж. Начальная температура газа 17°C. Определить конечный объем газа и изменение его энтальпии и энтропии.

33. На изобарное сжатие азота в количестве 2,5 кг была потрачена работа в 10 кДж. При этом температура газа понизилась на 20 К. Определить изменение удельной энтальпии азота в этом процессе. Изохорную теплоемкость азота принять 0,73 кДж/(кг×К).

34. Во время изотермического процесса избыточное давление в сосуде с водородом увеличивают от 0,2МПа до 0,4МПа. Определить конечный объем водорода, если масса газа Н₂ составляет 0,022 кг, первоначальная плотность газа – 1,04 кг/м³.

35. При температуре $t_1=20^\circ\text{C}$ 1 кг углекислоты сжимается изотермически до десятикратного уменьшения объема. Определить конечное давление, работу сжатия и отводимую теплоту, если начальное давление 0,1МПа.

36. При изотермическом расширении 0,3м³ кислорода давление понижается от 0,3 МПа до 0,1 МПа. Определить конечный объем и работу расширения, если $t=20^\circ\text{C}$.

37. При адиабатном расширении 2 кг кислорода получается работа, равная 26 кДж. Определить начальное давление и температуру, если конечные параметры соответствуют нормальным физическим условиям.

38. В цилиндре дизеля степень сжатия = ε (отношение объемов в начале и в конце адиабатного сжатия). Определить температуру t_2 в конце адиабатного сжатия, если начальная температура $t_1 = 60^\circ\text{C}$.

39. Газ с начальными условиями: абсолютное давление $p_1 = 150\text{кПа}$ и $t_1=5^\circ\text{C}$ является сжатым в процессе, который описан показателем политропы $n = 1,3$. Когда температура достигает 25°C, каково будет значение давления?

40. Воздух первоначально находится при $p_{\text{абс1}} = 200\text{ кПа}$ и $t_1 = 35^\circ\text{C}$. Конечное состояние воздуха после термодинамического процесса -

$p_{\text{абс}2} = 120 \text{ кПа}$ и $t_2 = 10^\circ\text{C}$. Определить показатель политропы. Какому термодинамическому процессу он соответствует?

41. Начальные условия для термодинамического сжатия: $t_1=280^\circ\text{C}$, $p_1=2,4 \text{ МПа}$, $V_1 = 0,25 \text{ м}^3$. Конечные условия: $t_2=400^\circ\text{C}$ и $p_2=3,2 \text{ МПа}$. Определить показатель политропы n для процесса. Используя это значение n , рассчитать конечный объем.

42. Водород сжат от начального состояния $p_1 = 0,14 \text{ МПа}$ и $t_1=+5^\circ\text{C}$ до конечного состояния $p_2 = 0,4 \text{ МПа}$ и $t_2=+33^\circ\text{C}$. Какой это термодинамический процесс? Приведите математическое обоснование.

43. При политропном сжатии 1 кг азота отводится 100 кДж теплоты и затрачивается работа 150 кДж. Определить конечную температуру газа, если начальная составляет 15°C .

44. Для двигателя, работающего по циклу Отто, заданы начальные параметры рабочего тела: $p_1=1 \text{ бар}$, $T_1=273 \text{ К}$, $\rho_1=1,29 \text{ кг/м}^3$. Для степени сжатия $\varepsilon=7$ определить параметры рабочего тела во всех точках цикла (2 – после адиабатного сжатия, 3 – после изохорного подвода тепла, 4 – после адиабатного расширения). Определить термический КПД цикла. Построить зависимость мощности двигателя от секундного расхода топлива с теплотой сгорания 40 МДж/кг .

45. Для двигателя, работающего по циклу Дизеля, заданы начальные параметры рабочего тела: $p_1=1 \text{ бар}$, $T_1=273 \text{ К}$, $\rho_1=1,29 \text{ кг/м}^3$. Для степени сжатия $\varepsilon=12$ и степени предварительного расширения $\rho = 2$ определить параметры рабочего тела во всех точках цикла (2 – после адиабатного сжатия, 3 – после изобарного подвода тепла, 4 – после адиабатного расширения). Определить термический КПД цикла. Построить процесс в p - v диаграмме.

46. Тепловой двигатель реализует свою работу в диапазоне температур $2000 - 500^\circ\text{C}$. Каков максимально возможный термический КПД двигателя, какое количество теплоты подводится к двигателю в единицу времени, отводится от него, если полезная мощность составляет 5 МВт .

47. Известно, что температура подвода тепла в цикле теплового двигателя составляет 1800°C , мощность подводимого теплового потока $Q_1= 10 \text{ МВт}$ отводимого $Q_2=6 \text{ МВт}$. Определить температуру, при которой теплота отводится от двигателя.

48. Сжатый воздух начальных параметров $p_1=5 \text{ МПа}$, $t_1=1200^\circ\text{C}$ адиабатически расширяется в турбине до давления $0,1 \text{ МПа}$. Определить: - температуру газа после расширения; - работу, произведенную турбиной при расширении газа.

49. Идеальная газотурбинная установка, включающая в себя турбокомпрессор, камеру сгорания, в которой сжатый воздух подогревается за счет сжигания топлива и турбины, в которой расширяется смесь сжатого воздуха и продуктов сгорания, имеет производительность компрессора по воздуху 1000 кг/ч . Начальная температура воздуха 20°C ,

начальное давление 1 бар, давление сжатого воздуха 1,5 МПа, температуры сжатого воздуха после подогрева в камере сгорания 1200 °С, давление газов после турбины 1,1 бар.

50. Определить основные параметры работы идеальной ГТУ: - температуру воздуха после турбокомпрессора; - работу, необходимую для привода компрессора; - расход жидкого топлива (40 МДж/кг), сожженного в камере сгорания для достижения заданной температуры газов; - температуру газов после турбины; - работу, производимую турбиной; - полезную работу цикла; - термический КПД цикла.

51. Каким параметром характеризуется эффективность прямого термодинамического цикла? Приведите формулу.

52. Каким параметром характеризуется эффективность обратного термодинамического цикла? Приведите формулу.

53. Изобразите схему и цикл простейшей компрессионной холодильной машины в рабочей диаграмме (p-v – диаграмме). Запишите тепловой баланс холодильной машины.

54. Испарители малых холодильных машин. Классификация, принцип работы и область применения.

55. Как влияет температура конденсации на холодопроизводительность компрессора?

56. В каком элементе холодильной машины осуществляется процесс дросселирования?

57. Что такое тепловой насос? Схема и принцип действия теплового насоса.

58. Какие источники теплоты можно использовать как низкопотенциальную теплоту при работе теплового насоса?

59. Каким параметром характеризуется эффективность работы теплового насоса?

60. Используя фазовую i-s диаграмму воды (приложение 5), найти удельную энтальпию водяного пара с параметрами: а) p=0,2МПа и x=0,9; б) p=1МПа и x=0,8; в) p=2МПа и x=0,85?

61. По i-s диаграмме для воды определить энтальпию сухого насыщенного водяного пара при давлении 1,2 и 2,5 МПа.

62. По i-s диаграмме для воды определить энтальпию перегретого пара при: а) p= 2МПа и t1=300°С; б) p = 800 кПа t2=260°С.

63. По приложению 7 определить теплофизические свойства водяного пара на линии насыщения при t: а) 20°С; б) 120°С; в) 185°С.

64. Водяной пар имеет параметры: давление 3 МПа и энтальпия 3200 кДж/кг. Используя фазовую i-s диаграмму воды, определить все остальные параметры.

65. По диаграмме Молье для водяного пара найти скрытую теплоту парообразования для воды при: а) t=50°С; б) p=0,02 МПа; в) p=1бар.

66. Используя фазовую i-s диаграмму воды, определить состояние водяного пара и все параметры, если i = 2260 кДж/кг и s = 6,75 кДж/(кг·К).

67. По диаграмме Моляе определить фазовое состояние и все недостающие параметры для точки С ($t=80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $x=0,5$).

68. Паровая система нагрева низкого давления работает между $0,14\text{ МПа}$ и $0,103\text{ МПа}$ без перегрева и с индексом необратимости ($\beta = 1,00$ (свободное расширение)). При какой температуре и в каком состоянии пар войдет в конденсатор? Сколько теплоты выделено в конденсаторе? Что является статическим началом?

69. ПСУ работает по циклу Ренкина, начальные параметры $t=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $p_1=2,0\text{ МПа}$. Давление в конденсаторе $p_2=0,4\text{ МПа}$. Определить термический к.п.д.

70. Определить термический к.п.д. цикла и теоретический удельный расход пара d на выработку 1 кДж теплоты ГТУ, которая работает до $p_2=5\text{ кПа}$, при этом начальные параметры: а) $p_1 = 3500\text{ кПа}$, $t = 480\text{ }^{\circ}\text{C}$.

71. Определить характеристики цикла простейшей ПСУ при $p_1=9,8\text{ МПа}$, $t_1=480\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $p_2=3,5\text{ кПа}$. Как измениться результат при повышении температуры перед турбиной до $565\text{ }^{\circ}\text{C}$?

72. Используя $h-s$ -диаграмму водяного пара, для цикла Ренкина, работающего при $p_1=3500\text{ кПа}$, $t_5=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $p_2=100\text{ кПа}$, определить: а) параметры пара на входе и выходе из турбины; б) полезную работу цикла (располагаемое теплопадение); в) теоретический удельный расход пара; г) термический к.п.д. цикла Ренкина.

73. Определить термический к.п.д. цикла ПСУ, если давление в котле $p_1=24\text{ МПа}$, температура пара перед турбиной $t_1=500\text{ }^{\circ}\text{C}$, давление в конденсаторе $p_2=0,005\text{ МПа}$.

74. Значение давления в котле и в конденсаторе ПСУ, которая работает по циклу Ренкина, соответственно, 3 и $0,01\text{ МПа}$. Определить термический к.п.д. цикла, если в турбину поступает: 1) сухой насыщенный пар; 2) перегретый пар с температурой $400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

75. Параметры пара в ПСУ: $p_1=15\text{ МПа}$, $t_5=550\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p_2=0,005\text{ МПа}$. В установке осуществлен вторичный перегрев при $P' = 4\text{ МПа}$. Определить термический к.п.д. цикла ПСУ.

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саулин, Д. В. Энерготехнология химических производств / Д. В. Саулин. — Пермь : Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2016. — 150 с. — ISBN 978-5-398-01536-2. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/110544.htm>
2. Шаров, Ю. И. Техническая термодинамика : учебно-методическое пособие / Ю. И. Шаров, О. К. Григорьева. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. — 40 с. — ISBN 978-5-7782-3761-2. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/99225.html>
3. Стоянов, Н. И. Теоретические основы теплотехники (техническая термодинамика и тепломассообмен) : учебное пособие / Н. И. Стоянов, С. С. Смирнов, А. В. Смирнова. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2014. — 226 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/63139.html>
4. Амирханов, Д. Г. Техническая термодинамика : учебное пособие / Д. Г. Амирханов, Р. Д. Амирханов ; под редакцией Е. И. Шевченко. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. — 264 с. — ISBN 978-5-7882-1664-5. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/63486.html>

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
к проведению практических работ по дисциплине
«Энерготехнология химико-технологических процессов»

Составители:

Ганнова Юлия Николаевна – кандидат химических наук, доцент кафедры прикладная экология и охрана окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ»;
Горбатко Сергей Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладная экология и охрана окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ».

Ответственный за выпуск:

Шаповалов Валерий Васильевич – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная экология и охрана окружающей среды» ГОУВПО «ДОННТУ».