**АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА**

**Федеральное бюджетное образовательное учреждение**

**высшего профессионального образования**

**«Санкт-Петербургский государственный университет**

**водных коммуникаций»**

Кафедра теории и конструкции судовых двигателей внутреннего сгорания

**Ерофеев В.Л., А.С. Пряхин, Петрова О.А.**

**СУДОВОЕ Теплообменное оборудование**

**И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ**

***Учебно-методическое пособие***

**Санкт-Петербург**

**2013**

**УДК**

**ББК**

**К**

**Рецензент:**

*Доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского государственного университета водных коммуникаций*

*Л.В. Тузов*

**Пряхин А.С.**

Судовое теплообменное оборудование и энергосбережение: Учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы. – СПб.: ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2013 г. – 49 с.

ISBN

Излагаются методика выполнения курсовой работы по дисциплине «Судовое теплообменное оборудование и энергосбережение». Приводятся основы теории утилизации теплоты в судовых энергетических установках, алгоритмы расчета вторичных энергетических ресурсов и определения возможностей их использования. Предназначено для студентов, обучающихся специальности 180403.65 «Эксплуатация судовых энергетических установок».

УДК

ББК

©Государственный университет морского

и речного флота им. адм. С.О. Макарова, 2013

ISBN

**Содержание**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Введение | | 5 |
| 1 | Общие положения | 6 |
| 1.1 | Цели и задачи курсовой работы | 6 |
| 1.2 | Тематика курсовых работ | 7 |
| 1.3 | Структура, объем и содержание курсовой работы | 7 |
| 1.4 | Оформление курсовой работы | 8 |
| 1.5 | Выполнение и защита курсовой работы | 9 |
| 2 | Порядок выполнения курсовой работы | 10 |
| 2.1 | Содержание | 10 |
| 2.2 | Введение | 11 |
| 2.3 | Описание судна и его энергетической установки | 11 |
| 2.4 | Энергетический баланс судна | 11 |
| 2.5 | Тепловой баланс главных дизелей | 12 |
| 2.5.1 | Определение количества теплоты, уносимой выпускными газами | 15 |
| 2.5.2 | Определение количества теплоты, которое может быть принято утилизационным котлом | 18 |
| 2.6 | Определение количества теплоты, уносимой охлаждающей водой | 23 |
| 2.7 | Теоретические схемы использования вторичных энергетических ресурсов | 27 |
| 2.8 | Рекомендации по определению расчетной тепловой нагрузки схемы утилизации теплоты | 31 |
| 2.9 | Определение потребности в тепловой энергии на судне | 33 |
| 3 | Структурно-функциональные схемы утилизации теплоты | 35 |
| 3.1 | Выбор схемы утилизации теплоты | 35 |
| 3.2 | Рекомендации по предварительному определению основных характеристик отдельных элементов систем утилизации теплоты | 36 |
| 3.3 | Расчет узлов систем утилизации теплоты | 43 |
| Приложение 1. Образец бланка задания на курсовую работу | | 45 |
| Приложение 2. Варианты заданий на курсовую работу | | 46 |
| Приложение 3. Титульный лист курсовой работы | | 48 |
| Приложение 4. Оформление листа пояснительной записки | | 49 |

**ВВЕДЕНИЕ**

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов дневного отделений судомеханического факультета и факультета вечерне-заочного обучения, изучающих дисциплину «Судовое теплообменное оборудование и энергосбережение». Пособие предназначено для выполнения курсовой работы студентами специальности 180403.65 «Эксплуатация судовых энергетических установок» по дисциплине «Судовое теплообменное оборудование и энергосбережение».

Курсовые работы выполняется студентами по индивидуальным заданиям, включающим следующие разделы: описание основных характеристик судна и его энергетической установки, расчет теплового баланса судна, расчет теплового баланса главных двигателей, определение количества вторичных энергетических ресурсов и возможностей их использования в системе утилизации теплоты на судне.

В качестве специального вопроса студенты выполняют анализ существующих систем утилизации теплоты. Выбор типа систем производится по указанию преподавателя по итогам анализа результатов выполненных студентом расчетов возможностей использования вторичных энергетических ресурсов. Студенты разрабатывают схемы систем утилизации теплоты для рассматриваемых судовых энергетических установок и выполняют расчет основных характеристик одного из элементов системы утилизации теплоты.

Для развития творческих способностей студентов и осуществления исследовательского характера работы методика выполнения поставленных задач разрабатывается самими студентами. Эта методика защищается студентом при собеседовании с преподавателем и в обязательном порядке излагается во введении к пояснительной записке.

Преподаватель рекомендует только основную литературу и проводит консультации по ходу выполнения работы.

Каждый раздел заканчивается выводами по исследованным вопросам о целесообразности принятых решений.

**1. Общие положения**

**1.1. Цели и задачи курсовой работы**

Целями выполнения курсовой работы «Замещение вторичными энергоресурсами первичных и выбор соответствующего теплообменного оборудования» являются:

* изучение вопросов эксплуатации теплообменного оборудования в условиях повышения энергетической эффективности производства продукции и услуг на транспорте;
* приобретение навыков применения теоретических знаний к решению конкретных инженерных задач по совершенствованию энергетической эффективности судового энергетического оборудования;

Основными задачами курсовой работы является углубление знаний в областях:

* рационального использования топливно-энергетических ресурсов, как первичных, так и вторичных;
* использования способов оценки энергетической эффективности судового энергетического оборудования;
* мирового и отечественного опыта в реализации энергосбережения;
* разработки и принятия управленческих решений при внедрении энергосберегающих проектов;
* основ расчета судового теплообменного оборудования;
* эксплуатации судового теплообменного оборудования.

**1.2 Тематика курсовых работ**

Темы курсовых работ соответствуют программе дисциплины и практическим требованиям эксплуатации водного транспорта.

Выполнение курсовой работы предусматривает анализ судовой энергетической установки с целью разработки рекомендаций по внедрению мероприятий по повышению ее энергетической эффективности.

Номер варианта проекта определяется руководителем в задании по установленной форме (прил. 1). Исходные данные берутся из таблицы вариантов (прил. 2).

Выполненная без согласования с руководителем курсовая работа, не соответствующая заданию, не рассматривается.

* 1. **Структура, объем и содержание курсовой работы**

Курсовая работа состоит из пояснительной записки, которая должна содержать не менее 15 страниц текста на одной стороне листа писчей бумаги формата А4. Составлять ее рекомендуется по следующей схеме:

* титульный лист;

Введение.

1. Основные характеристики судна.
2. Характеристики основных элементов энергетической установки судна.
3. Расчет теплового баланса главных двигателей.
4. Расчет теплового баланса судна.
5. Определение количества теплоты, которое может быть использовано в судовой системе утилизации теплоты.
   1. Определение количества теплоты, теряемой с выпускными газами главных двигателей, которая может быть использовано в утилизационном котле.
   2. Определение потерь теплоты, отводимой от воды внутреннего контура охлаждения главных двигателей.
6. Расчет потребностей в тепловой энергии на судне.
7. Расчет потребностей в электрической энергии на судне.
8. Анализ существующих и перспективных систем утилизации теплоты.
9. Разработка системы утилизации теплоты для судовой энергетической установки.
10. Расчет основных показателей системы утилизации теплоты.

Заключение.

Список литературы

Приложения.

**1.4 Оформление курсовой работы**

Текст пояснительной записки выполняется в соответствии с требованиями ЕСКД (ГОСТ 2.105-95 «Общие требования к текстовым документам»), а также требованиями, изложенными в [1, 3, 5].

Пояснительная записка должна быть написана на одной стороне листов формата А4 белой нелинованной бумаги четким почерком пастой (чернилами) одного цвета (черного, синего, фиолетового). В тексте не должно быть условных обозначений, математических знаков, а также зачеркнутых или сокращенных слов за исключением принятых в государственных стандартах или в данной работе.

При компьютерном наборе текста пояснительной записки она оформляется в текстовом редакторе Word, шрифт TimesNewRoman, размер шрифта 14, межстрочный интервал − 1,5.

Поля: верхнее 2 см, нижнее – 2 см, левое – 2,5 см, правое – 1,5 см, абзац (отступ) − 1,25 см.

Рукописный вариант листа пояснительной записки должен иметь окаймляющую рамку и отступы (прил. 4).

Иллюстративные материалы должны быть четкими, иметь сквозную нумерацию и снабжаться подрисуночным текстом. Они оформляются в тексте (непосредственно после первой ссылки на иллюстрацию или, если не позволяют ее размеры, на следующей странице)либо на отдельных листах.

При использовании в тексте аббревиатур, их условные обозначения должны быть приведены непосредственно после первого употребления в тексте либо после введения (с соответствующими пояснениями).

***При работе над ошибками, выявленными в ходе проверки преподавателем, запрещается использование корректирующих красок. Все исправления и дополнения должны оформляться на оборотной стороне предыдущего листа. В случае большого количества замечаний допускается добавление дополнительного листа с исправлениями. При этом не допускается удаление листа с замечаниями преподавателя.***

**1.5 Выполнение и защита курсовойработы**

Процесс выполнения курсовойработы состоит из следующих этапов:

* изучение рекомендуемой литературы и ознакомление с необходимой технической документацией по судну и его энергетической установки (в соответствии с рекомендациями к вариантам заданий либо из других источников);
* расчеты и оценка полученных результатов;
* оформление пояснительной записки;
* подготовка и защита работы.

Расчеты могут выполняться с использованием программы Exсel, систем компьютерной математики Maple, MathCad, MathLAB и пр. В данном случае допускается оформление расчетной части пояснительной записки с использованием текстовых и графических редакторов данных систем с соблюдением требований, изложенных выше.

Материалы по основным этапам расчета студенты должны предъявляться руководителю с целью просмотра и оценки полученных результатов.

Сроки представления отдельных разделов и курсовойработы в целом для ее рецензирования устанавливаются руководителем. Работа, отвечающая требованиям по объему и содержанию, допускается к защите после внесения исправлений позамечаниям**,** полученным при рецензировании.

Защита работы состоит из краткого (3 ÷ 6 мин) сообщения студента и ответов на вопросы. Результаты защиты с учетом содержания и качества курсовойработы оценивается по пятибалльной системе.

Студент, не представивший в установленный срок или не защитивший курсовуюработу, считается имеющим академическую задолженность и к прохождению итогового контроля по дисциплине (зачета) не допускается.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

2.1. Содержание

В содержании приводятся точные названия разделов пояснительной записки с их обозначениями и номерами страниц. Сокращения и несоответствия формулировок наименований отдельных пунктов (разделов) а также номеров страниц не допускаются.

**2.2. Введение**

Во введении приводится оценка важности поставленных в курсовой работе задач и алгоритмы их решения, т. е.краткое описание основных этапов выполняемой работы и логической связи между ними.

**2.3. Описание судна и его энергетической установки**

Данный пункт должен содержать информацию о судне проекта в соответствии с вариантом задания.

Приводятся основные проекции судна, его характеристики, информация о составе судовой энергетической установки (СЭУ) и ее элементов (главные и вспомогательные двигатели, системы и т.д.).

По итогам анализа СЭУ производится предварительная оценка возможностей повышения ее энергетической эффективности.

**2.4. Энергетический баланс судна**

Общее количество теплоты, потребляемой на судне в ходовом режи­ме, определяется уравнением:

*Q = Qг.д. + Qв.д.  + Qк.у.,*(2.1)

где *Qг.д*., *Qв.д*., *Qк.у* − количества теплоты, расходуемой на главные и вспомогательные двигатели и котельную установку в целом соответствен­но.

В относительных величинах это уравнение имеет вид

*x + y + z =* l, (2.2)

где **, **, **– доли теплоты, расходуемой на главные, вспомогатель­ные двигатели и котельную установку.

Значения составляющих энергетического баланса *х*, *у*, *z* зависят от назначения судна, типа энергетической установки и ее мощности. В табл. 2.1 приведено ориентировочное распределение теплоты по соответствующим статьям энергетического баланса для речных судов различных типов.

Таблица 2.1

Составляющие энергетического баланса речных дизельных судов, %

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Типы судов | *x* | *y* | *z* |
| Грузовые | 92 ÷ 94 | 4 ÷ 6 | 2 ÷ 4 |
| Нефтеналивные | 80 ÷ 84 | 4 ÷ 6 | 10 ÷ 15 |
| Пассажирские | 70 ÷ 75 | 10 ÷ 12 | 10 ÷ 20 |
| Буксирные | 94 ÷ 96 | 2 ÷ 4 | 2 ÷ 4 |

**2.5. Тепловой баланс главных дизелей**

Уравнение теплового баланса, характеризующее распределение теп­лоты, выделившейся при сгорании топлива в дизеле, имеет следующий вид (в расчете на 1 кг сжигаемого топлива):

, (2.1)

где − рабочая низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг.

Значение рассчитывается из выражения

, (2.2)

где *Ср, Нр, Sp,, Оp, Wp*– процентное содержание в рабочей массе топлива углерода, водорода, серы, кислорода и влаги либо берется из таблицы (см. табл. 2.2).

 − количества теп­лоты, эквивалентной эффективной работе в единицу времени, уносимой, соответственно, выпускными газами, отводимой с охлаждающей водой, отводимой нагре­тым маслом, кДж/кг;

 − остаточный член теплового ба­ланса, кДж/кг.

Уравнение теплового баланса, выраженное в долях от величины, имеет вид

Таблица 2.2

Расчетные характеристики жидких топлив

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Топливо | Элементарный состав, *%* | | | | | | | | Рабочая низшая теплота сгорания, кДж/кг |
| *Cp* | *Hp* | *(Np+0p)\** | | *Sp* | *Aр* | *Wp* | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | 6 | 7 | 8 | |
| Мазут 40:  малосернистый  сернистый  высокосернистый | 86,00 | 10,70 | 0,68 | | 0,47 | 0,15 | 2 | | 39 800 |
| 84,63 | 10,57 | 0,68 | | 1,97 | 0,15 | 2 | | 39400 |
| 83,30 | 10,45 | 0,68 | | 3,42 | 0,15 | 2 | | 39 200 |
| Мазут флотский:  Ф5  Ф12 | 84,40 | 12,26 | 0,49 | | 1,75 | 0,1 | 1 | | 40 900 |
| 85,52 | 12,25 | 0,29 | | 0,79 | 0,15 | 1 | | 40900 |
| Дизельное | 86,29 | 13,30 | 0,1 | 0,30 | | 0,01 | 0 | 42 700 | |
| Моторное (ДТ) | 85,17 | 12,41 | 0,49 | 0,38 | | 0,05 | 1,5 | 41 400 | |

\*В расчетах принимается как рабочая масса кислорода топлива − *0p≈≈ Np+0p.*

*qе + qг + qохл + qм + qост =* 1.(2.3)

При выборе и расчетах систем утилизации теплоты (СУТ) необходимые данные по величине со­ставляющих теплового баланса главных и вспомогательных двигателей определяются по результатам испытаний, приводимых в технической до­кументации на конкретный двигатель. В табл. 2.3 приведены примерные статьи теплового баланса дизелей в зависимости от величины наддува.

Данные табл. 2.3 указывают на то, что термодинамический эффект от утилизации отбросной теплотысудовых дизелей достигается за счет ис­

Таблица 2.3

Тепловой баланс дизелей, %

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Дизели *ре*, МПа | *qе[[1]](#footnote-1)\** | *qг* | *qохл* | *qм* | *qост* |
| Без наддува  *ре*= 0,55 ÷ 0,6 | 29 ÷ 42 | 25 ÷ 40 | 20 ÷ 35 | 0 ÷ 5 | 2 ÷ 7 |
| С умеренным наддувом  *ре* = 0,7 ÷ 1,2 | 35 ÷ 42 | 25 ÷ 45 | 10 ÷ 25 | 0 ÷ 5 | 2 ÷ 7 |
| С повышенным наддувом  *ре*=1,3 ÷ 2,0 | 40 ÷ 48 | 20 ÷ 40 | 10 ÷ 18 | 0 ÷ 5 | 2 ÷ 5 |

пользования двух составляющих теплового баланса: в основном за счет те­плоты выпускных газов, поскольку она имеет достаточно высокий темпе­ратурный потенциал и частично теплоты, уносимой охлаждающей водой, ввиду се значительно более низкого температурного потенциала.

При количественной оценке теплоты, уносимой выпускными газами и охлаждающей водой, возможны три различных подхода в зависимости от наличия исходной информации:

– количество теплоты, уносимой выпускными газами и охлаждающей водой определено на номинальном и долевых режимах работы дизеля экс­периментальным путем;

– количество теплоты, уносимой выпускными газами определяется расчетом для долевых режимов с использованием обобщенных прибли­женных зависимостей. При этом необходимо знать характеристики дизеля на номинальном режиме работы;

– если характеристики дизеля, устанавливаемого на проектируемое судно, отсутствуют, необходимо воспользоваться данными имеющегося прототипа.

При выполнении курсовой работы студенты определяют величины потерь теплоты расчетным путем.

**2.5.1.Определение количества теплоты, уносимой выпускными газами**

Относительное количество теплоты выпускных газов, которое час­тично может быть использовано в СУТ,

, (2.4)

где  − суммарный коэффициент избытка воздуха; *L0*– теоретиче­ское количество воздуха, необходимое для полного сгорания 1 кг топлива, кг,

, (2.5)

где – средние удельные массовые теплоемкости воздуха и продуктов сгорания, кДж/(кг⋅К);

, (2.6)

*tв*– температура воздуха на входе в ци­линдр дизеля, °С. Принимается *tв =* 45 ÷ 55 °С (после охладителя наддувочного воздуха).

Для «чистых» продуктов сгорания топлива среднего состава при *α* = 1 теплоемкость с достаточной точностью может быть вычислена по формуле, кДж/(кг⋅К)

, (2.7)

*tг*− температура выпускных газов, °С. На номинальном режиме работы двигателя принимается *tг =* 420 ÷ 450 °С.

Теплоемкость выпускных газов как смеси воздуха и «чистых» газов определяется из выражения, кДж/(кг⋅К)

,(2.8)

где *αΣ*– суммарный коэффициент избытка воздуха (табл. 2.4). Коэффициент избытка воздуха зависит, в первую очередь, от способа смесеобразования и принимается для номинального режима в пределах 1,8 ÷ 2,1.

Расчет *qг*проводится, если отсутствуют экспериментальные данные для конкретных типов дизелей. При этом используются обобщенные зави­симости, полученные при обработке результатов испытаний четырехкрат­ных среднеоборотных дизелей, судов речного флота. В табл. 2.4 приведены необходимые для расчета *qг*обобщенные выражения для суммарного ко­эффициента избытка воздуха и температуры выпускных тазов.

Примечание:приняты следующие обозначения , – суммар­ный коэффициент избытка воздуха на номинальном и долевом режимах;, *–* температура выпускных газов на номинальном и долевом режимах, °С;

Таблица 2.4

Обобщенные зависимости для определения суммарного коэффи­циента

избытка воздуха и температуры выпускных газов

(при работе дизеля по винтовой характеристике)

|  |  |
| --- | --- |
| Дизель | Расчетная формула |
| Без наддува |  |
| С наддувом |  |
| Без наддува |  |
| С наддувом |  |

, – эффективная мощность дизеля на номинальном и долевом режимах, кВт.

Абсолютное количество теплоты, уносимой с выпускными газами на долевом режиме,

 , (2.9)

где *Gт*– часовой расход топлива, кг/ч;

Значения  при расчетах определяются по (2.2) либо принимаются из табл. 2.2.

При отсутствии паспортных характеристик для определения *Qг* на долевых режимах рекомендуется использовать обобщенные выражения для часового и удельного расхода топлива, приведенные в табл. 2.5

Таблица 2.5

Обобщенные зависимости для определения часового и удельного

расхода топлива

(при работе дизеля по винтовой характеристике)

|  |  |
| --- | --- |
| Дизель | Расчетная формула |
| Без наддува |  |
| С наддувом |  |
| Без наддува |  |
| С наддувом |  |

**2.5.2 Определение количества теплоты, которое может быть принято утилизационным котлом**

При проектировании утилизационных систем необходимо учесть, что температура выпускных газов, проходящих через элементы СУТ, должна быть выше температуры точки росы, значение которой зависит от парциального давления водяных паров в выпускных газах и от содержания серы в топли­ве. Температура точки росы рассчитывается по эмпирической формуле.

, (2.10)

где – температура насыщения водяного пара, соответствующая его парциальному давлению в выпускных газах, °С; *Sp* − приведенное содер­жание серы в топливе, % (табл. 2.2).

Парциальное давление водяного пара в выпускных газах зависит от давления выпускных газов и количества водяного пара в них. При атмо­сферном давлении продуктов сгорания среднего состава парциальное дав­ление водяного пара *р*= 0,005 ÷ 0,015 МПа. Этим давлениям соответствует температура насыщения *ts* = 33 ÷ 56 °С.

Во избежание низкотемпературной сернистой коррозии металла утилизационного котла (УК) необходимо, чтобы температура выпускных газов за ним была выше температуры точки росы. Кроме того, необходимо создать достаточный для эффективности теплообмена температурный напор между выпускными газами и поверхностью теплообмена, тогда

, (2.11)

где  − разность между температурами стенки и выпускных газов, обеспечивающая достаточно эффективный теплообмен, принимается рав­ной не менее 25 ºС.

В практике проектирования паровых УК температуру выпускных *tг2*принимают примерно на 25 °С выше температуры насыщения выра­батываемого котлом пара, т.е.

ºС , (2.12)

где *t*s– температура насыщения водяного пара, равная 152 ÷ 170 °С для давления пара 0,5 ÷ 0,8 МПа.

Охлаждение выпускных газов в УК до указанных в выражении (2.12) температур может оказаться экономически нецелесообразным, так как, на­пример количество теплоты, воспринимаемое УК, возрастает со снижени­ем *tг2*линейно, а необходимая поверхность нагрева, а, следовательно, масса, габариты и стоимость котла − значительно быстрее.

Определив минимальную температуру выпускных газов за СУТ, можно найти максимальный коэффициент использования теплоты выпуск­ных газов, который при допущении, что теплоемкость выпускных газов на входе и выходе СУТ одинакова, равен

. (2.13)

Действительный коэффициент использования теплоты выпускных газов

,(2.14)

где *tг* и *tг2* – температуры, соответственно, выпускных газов на выходе из двигателя и за утилизационным котлом при работе двигателя на долевых нагрузках.

Таким образом, количество теплоты, которое может быть переданов СУТ, с учетом (2.6) определяется по формуле

. (2.15)

Студенты выполняют расчеты количества теплоты, уносимой с выпускными газами, и количества теплоты, которое может быть принято утилизационным котлом для четырех режимов работы двигателя,итоговые результаты которых представляются в табличной форме (см. табл. 2.6).

Таблица 2.6

Расчет количества теплоты, уносимой выпускными газами, и количества теплоты, которое может бытьпринято утилизационным котлом

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Определяемый параметр, размерность | Обозначение | Расчетная формула | Нагрузка в долях  от номинальной | | | |
| 0,25 | 0,50 | 0,75 | 1,00 |
| Мощность двигателя эффективная, кВт | *Ne* | – |  |  |  |  |
| Удельный эффективный расход топлива, кг/(кВт∙ч) | *ge* | табл. 2.5 |  |  |  |  |
| Часовой расход топлива, кг/ч | *Gт* | табл. 2.5 |  |  |  |  |
| Температура выпускных газов, °С | *tг* | табл. 2.4 |  |  |  |  |
| Суммарный коэффициент избытка воздуха | *αΣ* | табл. 2.4 |  |  |  |  |
| Теоретическое количество воздуха, необходимое для полного сгорания 1 кг топлива, кг/кг | *Lo* | (2.5) |  | | | |
| Температура воздуха при входе в цилиндр, °С | *tв* | принима­ется |  |  |  |  |
| Средняя удельная массовая изобарная теплоем­кость воздуха, кДж/(кг∙К) |  | (2.6) |  |  |  |  |
| Средняя удельная массовая изобарная теплоем­кость «чистых» продуктов сгорания, кДж/(кг∙К) |  | (2.7) |  |  |  |  |
| Средняя удельная массовая изобарная теплоем­кость продуктов сгорания, кДж/(кг∙К) |  | (2.8) |  |  |  |  |
| Рабочая низшая теплота сгорания, кДж/кг |  | (2.2) или табл. 2.2 |  | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Определяемый параметр, размерность | Обозначение | Расчетная формула | Нагрузка в долях  от номинальной | | | |
| 0,25 | 0,50 | 0,75 | 1,00 |
| Относительное схеме утилизации использовано в может быть, которое частично выпускных газов количество теплоты | *gг* | (2.4) |  |  |  |  |
| Абсолютное количество теплоты выпу­скных газов на долевом режиме, кДж/ч | *Qг* | (2.9) |  |  |  |  |
| Температура точки росы, °С | *tp* | (2.10) |  |  |  |  |
| Разность между температурами стенки и выпускных газов, °С | Δ*tn* | принима­ется |  | | | |
| Температура выпускных газов за утили­зационным котлом, °С |  | (2.11) |  | | | |
| Расчетная температура выпускных газов за утилизационным котлом, °С |  | принима­ется |  | | | |
| Снижение температуры выпускных газов в газовом канале перед утилизационным котлом, °С | Δ*tг* | принима­ется |  | | | |
| Расчетная температура выпускных газов перед утилизационным котлом, °С | *tг.p* | *tг–*Δ*tг* |  |  |  |  |
| Максимальный коэффициент использо­вания теплоты выпускных газов |  | (2.13) |  | | | |
| Действительный коэффициент использо­вания теплоты выпускных газов |  | (2.14)\* |  |  |  |  |
| Количество теплоты, которое может быть принято утилизационным котлом, кДж/ч |  | (2.15) |  |  |  |  |

\*В (2.13) вместо *tг.* подставляется *tг.p.*

**2.6 Определение количества теплоты, уносимой охлаждающей водой**

Количество теплоты, уносимой охлаждающей водой зависит от конструкции и режима работы дизеля, степени наддува, средней температуры охлаждающей воды и других факторов. При оценке возможностей утилизации теплоты, уносимой охлаждающей водой, необходимо учесть сле­дующее:

– относительная величина *qoxл* с уменьшением мощности дизеля уве­личивается;

– применение высокотемпературного охлаждения дизелей увеличи­вает температурный потенциал охлаждающей воды и повышает эффектив­ность утилизации; с увеличением давления наддува происходит уменьше­ние удельного количества теплоты, уносимой охлаждающей водой;

–при использовании теплоты, отводимой от воды внутреннего контура системы охлаждения, следует учитывать недопустимость понижения температуры воды на входе в двигатель ниже допускаемых значений, поскольку это может привести к нарушению температурного режима деталей цилиндропоршневой группы, увеличению скоростей изнашивания, сернистой коррозии и т. д.

При отсутствии опытных данных для конкретных типов дизелей по *qoxл* и *Qoxл*. Для их расчета можно воспользоваться обобщенной зависимо­стью изменения относительной величины удельного количества теплоты, уносимой охлаждающей водой от изменения относительной величины мощности, полученной для четырехтактных дизелей речного флота и спра­ведливой в диапазоне (0,4 ÷ 1,0)*Ne*

**, (2.16)

где *******−* относительное количество теплоты, уносимой охлаждающей водой.

По характеру изменения всей (или части) потери теплоты с охлаждающей жидкостью на долевых режимах работы двигателей определяется удельное количество теплоты, кДж/(кВт⋅ч), которое может быть использовано в схеме утилизации,

**.(2.17)

Абсолютная величина потерь теплоты с охлаждающей жидкостью на долевом режиме

******.(2.18)

Перепад температур охлаждающей воды внутреннего контура в процессе ее охлаждения после выхода из двигателя, как правило, не превышает Δtвд = 8 ÷ 12 К, т. е. минимальная температура выпускных газов за СУТ должна быть не ниже– Δtвд(здесь – температура охлаждающей воды на выходе из двигателя).

Максимальный коэффициент использования теплоты охлаждающей водыбез учета изменения теплоемкости воды на входе и выходе СУТ равен

,(2.19)

где  – максимальная температура охлаждающей воды на выходи из двигателя при работе на номинальном режиме, °С. Принимается в пределах 75 ÷ 90 °Св зависимости от степени форсированности двигателя; – минимально допустимое значение температуры охлаждающей воды на входе в двигатель при работе на номинальном режиме, °С.

Действительный коэффициент использования теплоты охлаждающей воды

.(2.20)

Температура охлаждающей воды на выходе из двигателя зависит от режима его работы

. (2.21)

Таким образом, количество теплоты, которое может быть переданов СУТ, с учетом (2.20) определяется по формуле

. (2.22)

Студенты выполняют расчеты количества теплоты, уносимой с охлаждающей водой, итоговые результаты которых представляются в табличной форме (см. табл. 2.7).

Таблица 2.7

Расчет количества теплоты, уносимой охлаждающей жидкостью

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Определяемый параметр, размерность | Обозначение | Расчетная формула | Нагрузка в долях  от номинальной | | | |
| 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 |
| Мощность двигателя эффективная, кВт | *Ne* |  |  |  |  |  |
| Удельный эффективный расход топлива, кг/(кВт∙ч) | *ge* | табл. 2.5 |  |  |  |  |
| Рабочая низшая теплота сгорания, кДж/кг |  | (2.2) или табл. 2.2 |  | | | |
| Относительные потери теплоты с охлаждающей жидкостью на номинальном режиме |  | табл. 2.3 |  | | | |
| Удельные потери теплоты с охлаждающей жидкостью, кДж/(кВт⋅ч) |  | (2.16) |  |  |  |  |

Окончание табл. 2.7

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Определяемый параметр, размерность | Обозначение | Расчетная формула | Нагрузка в долях  от номинальной | | | |
| 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 |
| Абсолютная величина потерь теплоты с охлаждающей жидкостью на долевом режиме, кДж/ч | *Qохл* | (2.17) |  |  |  |  |
| Максимальная температура охлаждающей воды на номинальном режиме, °С |  | принимается |  | | | |
| Расчетная температура охлаждающей воды °С |  | (2.21) |  |  |  |  |
| Снижение температуры воды внутреннего контура в процессе ее охлаждения, °С | Δ*tвд* | принима­ется |  |  |  |  |
| Расчетная температура воды внутреннего контура после ее охлаждения (перед входом в двигатель), °С |  | – Δtвд |  |  |  |  |
| Максимальный коэффициент использо­вания теплоты охлаждающей воды |  | (2.19) |  |  |  |  |
| Действительный коэффициент использо­вания теплоты охлаждающей воды |  | (2.20) |  |  |  |  |
| Количество теплоты, которое может быть передано в систему утилизации теплоты от охлаждающей воды внутреннего контура, кДж/ч |  | (2.22) |  |  |  |  |

**2.7 Теоретические схемы использования вторичных энергетических**

**ресурсов**

При анализе энергетической эффективности судовых энергетических установок баланс судна и тепловой баланс главных двигателей необходимо рассматривать совместно. Использование потерь теплоты с выпускными газами и охлаждающей жидкостью в различных утилизационных устройствах, к которым относятся: утилизационные котлы, подогреватели, турбогенераторы, работающие на паре утилизационного котла, вакуумные испарители, эжекторные и абсорбционные холодильные установки, позволит повысить процент полезной теплоты в балансе энергетической установки.

С учетом тепловых балансов отдельных потребителей уравне­ние (2.2) в относительных величинах примет вид

, (2.23)

где дополнительно приняты следующие обозначения:

− теплота, преобразованная в работу во вспомогательных двигателях;

− потери теплоты с выпускными газами, охлаждающей во­дой и другие потери во вспомогательных двигателях;

− полезно используемая теплота в котельной установке;

− потери теплоты в котельной установке. Группируя все потери, которые не могут быть использованы или которые нецелесообразно использовать в утилизационных ус­тройствах, получаем

, (2.24)

где  − общее количество тепловых потерь, неиспользуемых в схемах утилизации.

В зависимости от значений *х, у,z*могут быть предложены сле­дующие схемы использования теплоты выпускных газов.

1. Полное или частичное замещение вспомогательных котлов утилизационными

. (2.25)

2. Полное замещение вспомогательного котла утилизационным и частичное замещение вспомогательных двигателей турбогенератором

. (2.26)

3. Полное или частичное замещение вспомогательных двигателей турбогенератором, работающим на паре утилизационныхкотлов

. (2.27)

4. Полное замещение вспомогательных двигателей турбогенератором и частичное замещение вспомогательного котла утилизационным

. (2.28)

5. Полное замещение вспомогательных двигателей турбогенератором и вспомогательного котла утилизационным

. (2.29)

где *ηт.у* − КПД турбинной установки, работающей на паре ути­лизационных котлов принимается в пределах 0,29 ÷ 0,34.

Наддув двигателей на судах осуществляется обычно при помощи газовых турбин, работающих на выпускных газах. Однако возможно применение и паровых турбин, работающих на паре утилизационных котлов. Этот случай может рассматриваться как один из вариантов схем 2, 4 и 5.

В рассмотренных неизбыточных тепловых схемах утилизации целесообразно также использовать потери теплоты с охлаждающей жидкостью. При определенном температурном уровне эти потери можно употребить на получение пара, который может быть исполь­зован в паротурбинной установке. Использование этих потерь имеет смысл во всех схемах, за исключением схемы 5. Потеря теплоты с охлаждающей жидкостью может быть также утилизирована на рефрижераторных судах в абсорбционных или эжекторных холо­дильных машинах и на сухогрузных судах в системах кондициони­рования воздуха. Это позволит сократить расходы теплоты на полу­чение электроэнергии *у*в ходовом режиме на привод компрессор­ных холодильных машин.

Таким образом, тепловая энергия выпускных газов и охлаж­дающей двигатель жидкости может быть использована совместно как в паросиловом цикле вместо вспомогательных двигателей, так и для получения тепловой энергии, расходуемой на различные нужды судна.

При совместном использовании обеих потерь теплоты главных двигателей (2.25÷ 2.29) запишутся следующим образом:

6.

. (2.30)

При частичном замещении вспомогательного котла утилизаци­онным коэффициент замещения находится из соотношения

. (2.31)

7.

. (2.32)

Коэффициент замещения вспомогательных двигателей при ра­боте по этой схеме

. (2.33)

8.

. (2.34)

При частичном замещении вспомогательных двигателей турбогенератором коэффициент замещения

. (2.35)

9.

. (2.36)

Коэффициент замещения вспомогательных котлов утилизационными при работе по этой схеме

. (2.37)

При работе по схеме 5 не требуется использование теплоты охлаждающей двигатель жидкости, так как все расходы электрической и тепловой энергии по судну покрываются за счет потери теплотыс выпускными газами главных двигателей.

Эта схема является наиболее эффективной.Однако она не всегда может быть использована вследствие ограниченного количества теплоты, теряемой с выпу­скными газами, которая может быть использовано в этой схеме. В настоящее время на судах чаще реализуются схемы утилизации 1 и 2 с частичным использованием теплоты охлаждающей воды, в основном в вакуумных испарительных установках и для подогрева воздуха в системах кондиционирования.

По итогам анализа результатов выполненных расчетов с использованием (2.23 – 2.37) студенты должны выбрать теоретическую схему использования вторичных энергетических ресурсов на судне.

Там, где это возможно, необходимо стремиться к снабжению потребителей тепловой энергией за счет использования теплоты ох­лаждающей двигатель воды внутреннего контура. В этом случае весь пар (или бόльшая его часть), производимый утилизационными котлами, работающими на выпускных газах, может быть использован в турбогенераторе.

Чтобы найти оптимальное решение реализации отходов теплоты главных двигателей, в первую очередь необходимо определить ко­личество вторичных энергоресурсов, которые могут быть использованы в схеме утилизации (*qг*, *qохл*, *ψг*, *ψв*) при эксплуатационных режимах работы судна.

Зная потребители электрической и тепловой энергии на судне и значения *х, у, z,* а также ориентировочные значения к. п. д. вспомогательной паротурбинной установки *ηт.у*, можно последовательно определить коэффициенты замещения *Rz, Rу*с учетом максимального использования теплоты охлаждающей воды на тепловые нужды судна, а затем выбрать схему утилизации.

Выбор оптимального варианта схемы утилизации с наиболее полным использованием отходов теплоты главных двигателей производится путем технико-экономического сопоставления выбранных вариантов.

**2.8 Рекомендации по определению расчетной тепловой нагрузки**

**схемы утилизации теплоты**

Для определения расчетной тепловой нагрузки утилизационного устройства, работающего на выпускных газах, необходимо знать характер ее изменения в зависимости от режима работы главных двигателей. Изменение тепловой нагрузки зависит также от при­нятой схемы утилизации. Если потребителями утилизационных устройств являются вспомогательные механизмы и аппараты, обслу­живающие главные двигатели, характер ее изменения будет одним, а если потребителями являются общесудовые системы – другим.

С учетом характера изменения тепловой нагрузки утилизационного устройства (для принятой схемы утилизации) на рис. 2.1,*а* наносится кривая *QСУТ = f(n)*. Точка пересечения с линией располагаемой теплоты выпускных газов, которая может быть полезно использована, определяет расчетную тепловую нагрузку и диапазон частоты вращения, при котором

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 2.1. Зависимости *QСУТ = f(n)* и  *= f(n)* для различных систем утилизации  теплоты выпускных газов |

возможна устойчивая работа устройства. Как видно из приведенного графика, в диапазоне частоты вращения от nmin до nн имеет место запас по располагаемому теплоперепаду (затененная область). Отношение количества теплоты, которая может быть реализована в утилизационных устройствах, к количеству теплоты, действительно используемой в них, называется коэффициентом запаса

. (2.38)

Если схемой утилизации предусматривается полное замещение вспомогательных котлов или вспомогательных двигателей, или тех и других, вместе взятых, то коэффициент запаса, равный единице, выбирается при, соответствующем среднеэксплуатационному режиму судовой энергетической установки. Для большинства транспортных судов при проектировании утилизационных устройств минимальная частота вращения при работе на винт принимается *nmin*= (0,88 ÷ 0,92)*nн*, что соответствует снижению мощности на 25 ÷ 30% номинальной. При этом желательно подбирать такие потребители утилизационного устройства, которые обеспечивали бы минимальный запас по располагаемой теплоте во всем диапазоне частоты вращения отnminдоnн.

Построенная линия*QСУТ = f(n)* может расположиться ниже линии *= f(n).* В этом случае тепловая схема утилизационного устройства во всем рассматриваемом диапазоне частоты вращения является избыточной (рис. 2.1,*б*).

При частичном замещении вспомогательных котлов или вспомо­гательных двигателей коэффициент запаса по располагаемой теплоте *ξз*= 1 выбирается при номинальной частоте вращения (рис. 2.1,*в*). В этой схеме с уменьшением, частоты вращения коэффициент запаса располагаемого тепла оказывается меньше единицы. Недостающее количество теплоты (затененная область) здесь восполняется за счет вспомогательных котлов.

**2.9 Определение потребности в тепловой энергии на судне**

Тепловая нагрузка потребления для судна *Qcyт*, определится в первом приближении следующим образом.

Суммарный расход теплоты на собственной нагрузке для реч­ных судов при температуре наружного воздуха –10°С и температуре за­бортной воды– 4 °С составляет для буксирных судов, кДж/ч

*Q = 42 000 + 115Nе,* (2.39)

для сухогрузных судов

*Q = 42 000 + 215Ne,* (2.40)

или

*Q = 110 000 + 63G,* (2.41)

где *G* − грузоподъемность судна, т;

*Ne*– суммарная номинальная мощность главных двигателей, кВт;

для пассажирских судов

*Q = 1250(6,5nэк +5nпасс),* (2.42)

где *nэк*и*nпасс*– численности экипажа и пассажиров, чел.

Расход теплоты на санитарно-бытовые нужды

*Q = (nэк +nпасс)(qв.м + qв.п),* (2.43)

где *qв.м*– удельный расход теплоты на приготовление горячей мытьевой воды, принимаемый равным для грузовых судов и буксиров-толкачей 1880 ÷ 2720 кДж/(чел∙ч), для пассажирских судов 1250 ÷ 1670 кДж/(чел∙ч);

*qв.п*– удельный расход теплоты на приготовление кипяченой питьевой воды,принимаемый равным для грузовых судов и буксиров-толкачей 400 ÷ 420 кДж/(чел∙ч), для пассажирских судов 380 ÷ 395 кДж/(чел∙ч);

Дополнительные расходы теплоты на танкерах связаны с необходи­мостью подогрева перевозимого груза, рассчитываются из условий под­держания средней температуры груза 60 °С.

Приближенный расчет расхода дополнительной теплоты на подогрев тяжелых нефтепродуктов в холодное время навигации ведется по формуле

*Q = 730G* (2.44)

или

*Q = 2 850 Ne.* (2.45)

Расход теплоты в системе подогрева вязких грузов приближенно может быть определен по формуле:

 (2.46)

где *G*− масса груза, кг;

*ст* − теплоемкость груза, кДж/(кг⋅К),

Δ*t*– среднесуточное снижение температуры груза при остывании без подогрева (Δ*t*= 3 ÷ 15 ° в сутки).

Суточный расход пара на мойку танков судов подсчитывается по приближенной формуле, т/сут:

*Dcyт = 100 + 0,0065 Ne.* (2.47)

Расход электрической энергии на различных судах приближенно может быть определен с помощью графиков, представленных на рис. 2.2, 2.3.

Расход электрической энергии на буксирных морских и речных су­дах, приблизительно одинаков и равен расходу на сухогрузных речных су­дах.

**3 Структурно-функциональные схемы утилизации теплоты**

**3.1 Выбор схемы утилизации теплоты**

Потери теплоты с выпускными газами и охлаждающей водой ДВС, называемые вторичными энергетическими ресурсами (ВЭР), могут быть использованы в схемах утилизации для получения теплоты, механической энергии, в опреснительных и абсорбционных холодильных установках по отдельности или в комбинированных схемах СУТ.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. 2.2. Нагрузка *Р* на судовые генераторы в ходовом режиме для су­дов различных типов в зависимости от их грузоподъемности *G*.  1 - морские сухогрузные; 2 - речные сухогрузные; 3 - морские нефтеналивные. | Рис. 2.3. Удельная мощность генераторов (1) и расход электроэнергии (2) на сухогрузных и наливных речных судах в зависимости от мощности главных двигателей |

Структурно-функциональная схема утилизации теплоты (СУТ) включает основные части системы (элементы или группы элементов) и отображает основные взаимосвязи между ними, устанавливает общую последовательность взаимодействия основных частей системы.

Исходными данными при проектировании утилизационной установки для системы теплоснабжения судна являются: тип и водоизмещение судна, тип и мощность главных двигателей, удельный расход топлива и его теплота сгорания, величина потери тепла с выпускными газами на номинальном режиме работы двигателя, температура и коэффициент избытка воздуха выпускных газов на этом режиме. Должны быть также известны потребители тепловой энергии и рабочее тело, используемое в системе теплоснабжения судна (горячая вода, пар).

Таким образом, в соответствии с итогами выбора теоретической схемы утилизации теплоты, выполненного в соответствии с п. 2.7, проводится анализ существующих систем утилизации.

На данном этапе выполнения работы студент должен выполнить сравнительный анализ не менее 3 ÷ 4 схем и выбрать (либо разработать) наиболее рациональную с его точки зрения в соответствии с итогами анализа расчетов, выполненных в п. п. 2.8, 2.9, предоставив в пояснительной записке к курсовой работе обоснование своего выбора.

**3.2 Рекомендации по предварительному определению основных**

**характеристик отдельных элементов систем утилизации теплоты**

Для предварительной оценки производительности опреснительной установки может быть использована формула

*G = 2 + 0,003Ne*. (3.1)

Максимальная производительность утилизационной опреснительной установки, работающей на охлаждающей воде главного двигателя определяется следующим образом.

Количество теплоты, необходимой для получения 1 кг дистиллята в одноступенчатой установке с испарителем кипящего типа равно

, (3.2)

где m – коэффициент продувки, равный отношению количества питательной воды к производительности опреснителя;

 - температуры забортной воды соответственно на входе в испаритель и на выходе из него, С;

*r* – скрытая теплота парообразования, кДж/кг;

*ср*–теплоемкость забортной воды, кДж/(кг·К) при температуре ;

*η* − коэффициент, учитывающий потери тепла установкой в окружающую среду (0,98).

Максимально возможная производительность опреснительной установки

, (3.3)

где*qохл* − относительная величина потерь теплоты с охлаждающей водой внутреннего контура;

*ge*− удельный эффективный расход топлива, кг/(кВт·ч).

Холодопроизводительность компрессорной холодильной машины, может быть определена по следующей формуле

, (3.4)

*ψг*– коэффициент использования теплоты с выпускными газами (в случае применения водяного пара в утилизационной установке может быть принят равным 0,5 ÷ 0,6, а при использовании фреонов 0,53 ÷ 0,65;

*ξ* − тепловой коэффициент холодильной поршневой компрессорной машины, равен 0,60 ÷ 0,70 при положительных температурах кипения холодильного агента и 0,40 ÷ 0,50 – при отрицательных температурах

Количество теплоты, необходимой для работы холодильной машины заданной холодопроизводительности, определяется по следующей формуле

. (3.5)

По итогам выполненных расчетов студент выполняет анализ полученных результатов, на основании которого производится выбор теоретической схемы системы утилизации теплоты.

Студент должен выбрать направление использование ВЭР на судне, обосновать свой выбор и, по согласованию с руководителем курсовой работы, выполнить анализ существующих схем утилизации теплоты (не менее шести). По результатам сравнительного анализа (критерии оценки студен выбирает самостоятельно) должна быть предложена структурно-функциональная схема утилизации теплоты.

В качестве базовых могут использоваться структурно-функциональные схемы, рассмотренные в [6] и представленные в прил. 5.

Рисунки схем должны быть четкими, содержать подрисуночные надписи и ссылки на первоисточники (которые должны быть указаны в списке литературы).

В тексте пояснительной записки необходимо привести описание действия всех рассматриваемых систем утилизации теплоты.

По итогам выполненных расчетов студент выполняет анализ полученных результатов, на основании которого производится выбор теоретической схемы системы утилизации теплоты.

Студент должен выбрать направление использования ВЭР на судне, обосновать свой выбор и, по согласованию с руководителем курсовой работы, выполнить анализ существующих схем утилизации теплоты (не менее шести). По результатам сравнительного анализа (критерии оценки студен выбирает самостоятельно) должна быть предложена структурно-функциональная схема утилизации теплоты.

В качестве базовых могут использоваться структурно-функциональные схемы, рассмотренные в [4] и представленные в прил. 5. Для удобства нумерация рисунков соответствует [4].

Рисунки схем должны быть четкими, содержать подрисуночные надписи и ссылки на первоисточники (которые должны быть указаны в списке литературы).

В тексте пояснительной записки необходимо привести описание действия всех рассматриваемых систем утилизации теплоты.

Схемы СУТ с тепловыми насосами могут быть применены на судах для повышения температурного уровня теплоты во вторичном контуре системы охлаждения дизелей. Полученная высокопотенциальная теплота может быть использована в системе теплоснабжения судна или для полу­чения электроэнергии в турбогенераторе.

Тепловые насосы, как и холодильные установки, работают по обрат­ным циклам, подразделяются, в основном, на компрессорные и абсорбци­онные.

На рис. 3.1 и 3.2представлены принципиальная схема и идеальный цикл компрессорного теплового насоса, работающего по обратному циклу Ренкина.

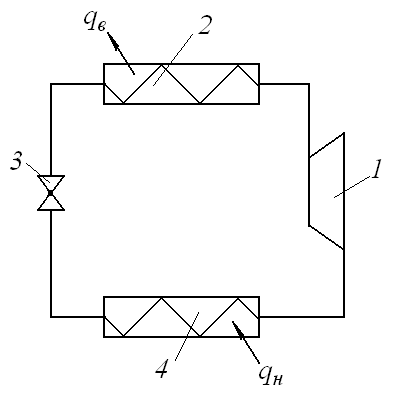


Рис. 3.1.Схема парокомпрессорного теплового насоса

Компрессор 1адиабатически сжимает пар − рабочее тело до давле­нии рконд, соответствующего температуре Т2. В конденсаторе 2 первоначально перегретый пар охлаждается до насыщенного состояния, затем конденсируется, отда­вая теплоту qв потребителю. Из конденсатора жидкость поступает к редук­ционному клапану 3, где происходит снижение давления до рисп. Образовавшийся в результате дросселирования влажный пар направ-

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 3.2. Идеальный цикл теплового насоса |

ляется в испаритель 4, где, испаряясь, отнимает теплоту qн от источника теплоты низ­кой температуры.

Термодинамическая эффективность теплового насоса характеризует­ся коэффициентом трансформации *μ* (называемым иногда отопительным коэффициентом *ψ*)

 , (3.6)

где *qн* − подведенная теплота низкого потенциала;

*qв* − теплота высокого потенциала, отданная потребителю; *| lк |* − работа, затраченная на привод компрессора; *ε* − холодильный коэффициент (показатель эффективности для холо­дильных установок).

Для цикла, представленного на рис. 3.2, коэффициент трансформации теплоты запишется как

, (3.7)

где *i1, i2, i3* - энтальпии пара и жидкости в характерных точках цикла.

Таким образом, коэффициент трансформации теплоты численно ра­нен количеству единиц теплоты, отдаваемых потребителю, на единицу затраченной энергии.

Энергетическая целесообразность применения теплового насоса по сравнению с котлом, работающем на жидком топливе, может быть доказа­на совместным решение уравнений количества полезной теплоты. Расход энергии на тепловой насос будет меньше, чем на вспомогательный котел,

>. (3.8)

Принимая КПД котельной установки *η*к.у = 0,78 ÷ 0,82, а КПД дизеля *η*е = 0,35 ÷ 0,40, получаем, что тепловой насос может дать экономию топ­лива при условии *μ* ≥ 2,0 ÷ 2,5.

Приближенный расчет коэффициента трансформации теплоты мож­но произвести по формуле:

, (3.9)

где *φ*е − коэффициент, учитывающий все потери при передаче теплоты от одного источника к другому (*φ*е> 0,5 ÷ 0,65);

*μ*к - коэффициент трансформации теплоты обратного цикла Карно.

Расчетами установлено, что применение установок с компрессорны­ми тепловыми насосами оправдано на нефтеналивных судах, а с абсорбци­онными − на сухогрузных судах большой мощности.

**3.3Расчет узлов систем утилизации теплоты**

По заданию преподавателя студент выполняет расчет одного из узловвыбранной (разработанной) им системы утилизации теплоты.

В качестве рассчитываемых узлов рассматриваются теплообменные аппараты – охладители, подогреватели, утилизационные котлы различных конструкций.

Расчет выполняется с использованием программы MathCad и состоит из двух этапов:

– на первом этапе выполняется конструктивный расчет теплообменного аппарата при работе двигателя на номинальном режиме;

– на втором этапе выполняется поверочный расчет теплообменного аппарата при работе двигателя на долевых режимах работы.

По итогам выполненных расчетов строятся графики зависимостей значений количества передаваемой теплоты и выходных параметров теплоносителей от нагрузки двигателя (или от частоты вращения коленчатого вала).

**Список литературы**

|  |  |
| --- | --- |
|  | Буянова Л.Н., Пастущак Т.Н., Куликова И.В. Методические рекомендации по выполнению дипломного проекта (работы). – СПб.: СПГУВК, 2000. – 49 с. |
|  | Емельянова Т.В., Монахова Е.А., Николаева М.В. Инструкция по оформлению рукописей, представляемых в ИИЦ СПГУВК. - СПб.: СПГУВК, 2000. – 14 с. |
|  | Кузьмин А.К., Ерофеев В.Л. дипломное проектирование на судомеханическом факультете. Методическое пособие. – СПб.: СПГУВК, 2003. – 40 с. |
|  | Селиверстов В.М. Утилизация тепла судовых дизелей. – Л.: Судостроение, 1975. |
|  | Судовая теплоэнергетика. Справочник под редакцией Селиверстова В.М. - М.: Транспорт, 1983, 321 с. |
|  | Хряпченков А.С. Судовые вспомогательные и утилизационные котлы. Л.: Судостроение, 1988, 296 с. |
|  | Речная справочная книжка <http://russrivership.ru/page/istochniki> Сайт с проектами судов |

Приложение 1

Образец бланка задания на курсовую работу

**ЗАДАНИЕ**

**на курсовую работу по дисциплине**

**«Судовое теплообменное оборудование и энергосбережение»**

**(специальность «Эксплуатация судовых энергетических установок»)**

Студенту \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Группа \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Шифр \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(Фамилия И.О.) (номер зачетной книжки)

Тема курсовой работы

«Расчет схемы утилизации теплоты \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_»

(тип судна и номер проекта в соответствии с индивидуальным заданием)

Номер варианта \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Исходные данные: Тип судна \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Номер проекта\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Расчетно-пояснительная записка в объеме не менее 15 листов.

Состав:

Содержание.

Введение.

1. Основные характеристики судна.
2. Характеристики основных элементов энергетической установки судна.
3. Расчет теплового баланса судна.
4. Расчет теплового баланса главных двигателей.
5. Определение количества теплоты, которое может быть использовано в судовой системе утилизации теплоты.
   1. Определение количества теплоты, теряемой с выпускными газами главных двигателей, которая может быть использовано в утилизационном котле.
   2. Определение потерь теплоты, отводимой от воды внутреннего контура охлаждения главных двигателей.
6. Расчет потребностей в тепловой энергии на судне.
7. Анализ существующих и перспективных систем утилизации теплоты.
8. Разработка системы утилизации теплоты для судовой энергетической установки.
9. Расчет основных показателей элемента системы утилизации теплоты.
10. Выводы.

Заключение.

Список литературы

Дата выдачи задания «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 201 \_\_ г.

Срок защиты «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 201 \_\_ г.

(в соответствии с графиком учебного процесса)

Руководитель (подпись)

Студент (подпись)

Приложение 2

Варианты заданий на курсовую работу

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Номер варианта | Тип судна | Номер проекта |
|  | грузовое | 199-200 |
|  | буксир | Р131 |
|  | танкер | 1553 |
|  | грузопассажирское | 1862 |
|  | грузовое | Р32.3.2 |
|  | буксир | Р47 |
|  | танкер | СК2000КН |
|  | грузопассажирское | Р51 |
|  | грузовое | 1052.3 |
|  | буксир | 1741А |
|  | танкер | 14891 |
|  | грузопассажирское | 543-426 |
|  | грузовое | 05074А |
|  | буксир | Н3181 |
|  | танкер | 866 |
|  | грузопассажирское | P104 |
|  | грузовое | 15790 |
|  | буксир | 81170 |
|  | танкер | 414Н |
|  | грузопассажирское | 301 |
|  | грузовое | 16290 |
|  | буксир | 81173H |
|  | танкер | 19612 |
|  | грузопассажирское | РС871.02 |

Окончание приложения 2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Номер варианта | Тип судна | Номер проекта |
|  | Грузовое | 16510 |
|  | буксир | 81510 |
|  | танкер | 81180 |
|  | грузопассажирское | 302 |
|  | грузовое | 16530 |
|  | буксир | С07521 |
|  | танкер | 550А |
|  | грузопассажирское | 81080 |
|  | грузовое | 17310 |
|  | буксир | Р153 |
|  | танкер | 1754Б |
|  | грузопассажирское | RC-TV2008 |
|  | грузовое | 19611 |
|  | буксир | 81200 |
|  | танкер | Р42 |
|  | грузопассажирское | 92-016 |

Примечание: исходные данные берутся с сайта http://russrivership.ru/ships

«Речная справочная книжка».

Информация о судне и его энергетической установке копируется с сайта в полном объеме.

Приложение 3

Титульный лист курсовой работы

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА**

**ИМЕНИ АДМИРАЛА С.О. МАКАРОВА**»

Кафедра Теории и конструкции судовых двигателей внутреннего сгорания

Курсовая работа

по дисциплине «Судовое теплообменное оборудование и энергосбережение»

**расчет системы утилизации теплоты**

**(далее указываются тип судна и номер проекта)**

Пояснительная записка

Студент В.В. Петров

группа СЭ-51

Руководитель

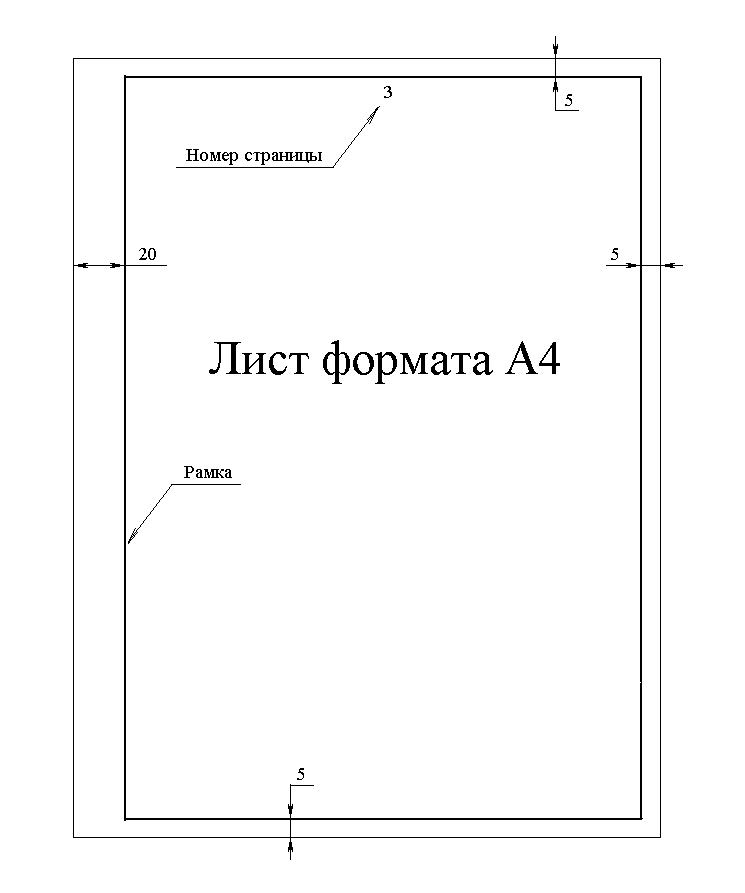
канд. техн. наук, доцент А.А. Сергеев

Санкт-Петербург

2013

Приложение 4

Оформление листа пояснительной записки



1. \* Следует учитывать, что , т. е. данная составляющая теплового баланса рассчитывается, а не принимается произвольно. [↑](#footnote-ref-1)