МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

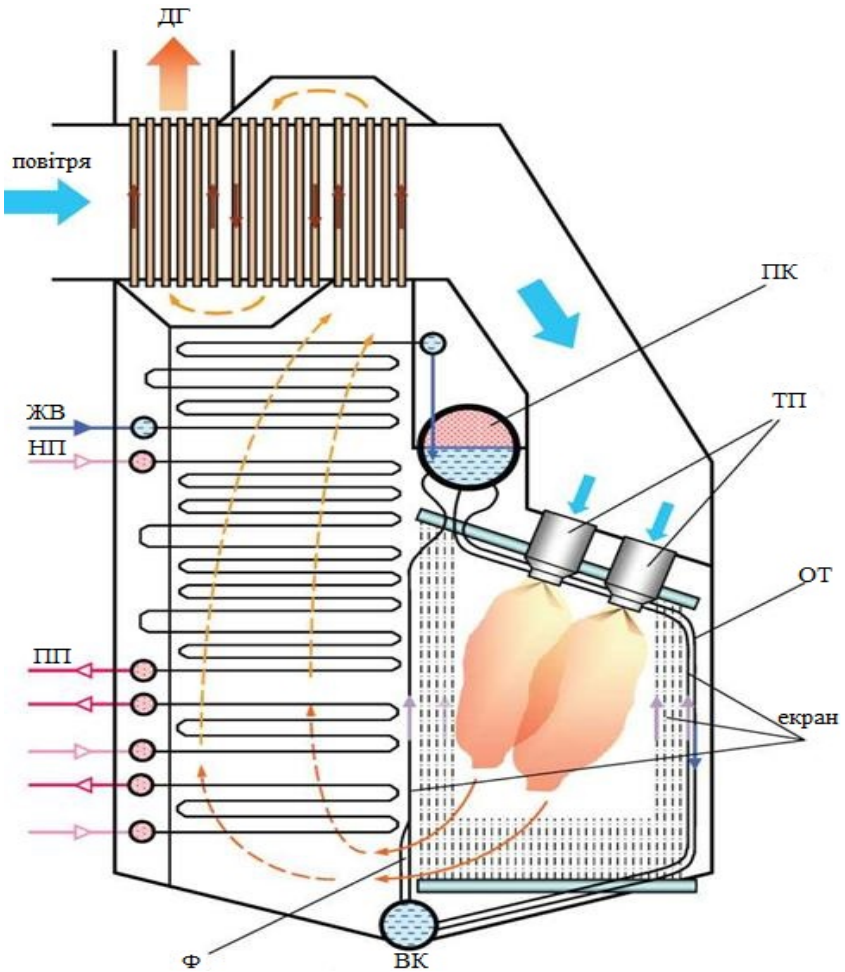
Кафедра «Суднові енергетичні системи і комплекси» (СЕСК)

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Суднові котельні установки»

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

«КОНСТРУКЦІЯ ТА БУДОВА СУДНОВИХ ПАРОВИХ КОТЛІВ»



Одеса 2026

Методичні вказівки до лабораторних робіт підготували: к.т.н., професор Соломатін Сергій Якович, ст. викладач Сторчак Олександр Олександрович та ст. викладач Клінаєв Юрій Васильович кафедри «Суднові енергетичні системи і комплекси» Одеського національного морського університету для студентів денної (очної) та заочної форм навчання.

Методичні вказівки укладено відповідно до освітньо-професійної програми «Експлуатація суднових енергетичних установок» спеціальності J5 «Морський та внутрішній водний транспорт» (спеціалізація J5.02 «Управління судновими технічними системами і комплексами») та освітньо-професійної програми «Суднові енергетичні установки (проектування, виробництво, експлуатація і ремонт)» спеціальності G11 «Енергетичне машинобудування».

Методичні вказівки до лабораторних занять з дисципліни «Суднові котельні установки» схвалено на засіданні кафедри суднових енергетичних систем і комплексів ОНМУ (протокол № 25 від 01.06.2026 р.).

Рецензент: кандидат технічних наук, доцент кафедри «Суднові енергетичні системи і комплекси» С.В. Козловський

©СЕСК, ОНМУ 2026 р.

ЗМІСТ

С

ВСТУП…….. 4
1 Загальна будова котельних агрегатів…… 5
2 Корпус котла…… 12
3 Пароперегрівачі…… 15
4 Економайзери…….. 17
5 Повітронагрівачі…….. 18
6 Топкова гарнітура…… 19
7 Повітрянапрямні пристрої…….. 21
8 Котельна гарнітура…….. 22
9 Сажеобдувні пристрої…… 22
10 Допоміжні елементи котла……23
11 Обмурування та ізоляція…… 24
12 Опори…….. 24
13 Арматура котла…….. 25
14 Прототипи конструкції суднових котлів…….. 27
15 Вказівки щодо порядку формування звіту у протоколі лабораторної роботи…….. 29
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ…….. 30

ВСТУП

Сучасні суднові енергетичні установки неможливо уявити без надійних і ефективних котельних агрегатів, які забезпечують виробництво пари для потреб судна. Вивчення конструкцій суднових парових котлів є базовою складовою підготовки інженерів-механіків морського транспорту та фахівців з експлуатації суднових технічних систем.

Основна мета лабораторної роботи - вивчення конструкції суднових парових котлів, призначення та принципу дії основних елементів котельних установок. Надання студентам практичних навичок та необхідних фахових компетенцій.

Під час роботи в лабораторії котельних установок студенти зобов'язані суворо дотримуватися правил техніки безпеки, поводження з діючими макетами та лабораторним обладнанням. Забороняється самостійно вмикати електричні чи гідравлічні стенди без попереднього інструктажу та дозволу викладача.

Лабораторну роботу студенти виконують самостійно за консультативної підтримки викладача на базі отриманих ними теоретичних знань і вивчення наявних у лабораторії котельних агрегатів, моделей, плакатів та атласів.

Рекомендована послідовність вивчення конструкцій:

1. Ознайомлення з вузлом, що вивчається, за рекомендованою літературою (альбом, підручник тощо), опрацювання всіх даних, що відносяться до досліджуваного вузла.

2. Опрацювання цього ж вузла в натурі на базі котлів КВВА 7/28 і КВ 1/5, встановлених у лабораторії.

Під час вивчення конструкції студент повинен не тільки вивчити конструкцію тієї чи іншої деталі або вузла, а й навчитися давати порівняльну оцінку різних варіантів конструкції з погляду їхньої технологічності, зручності експлуатації, ремонту та запобігання аварійним ситуаціям.

Порядок проведення лабораторних робіт

1. Під час вивчення конструкцій окремих вузлів студент виконує ескізи вузлів або елементів конструкції, проводить необхідні виміри і дає відповідні пояснення або описи, які оформляє у вигляді звіту.

2. Здає звіт викладачеві, який перевіряє ступінь засвоєння поданого матеріалу і самостійність виконання роботи шляхом опитування.

3. Робота вважається виконаною тільки після оцінки звіту викладачем.

4. Звіти за окремими лабораторними роботами, після закінчення лабораторного практикуму, оформлюють у вигляді «Журналу протоколів лабораторних робіт» на паперовому носії або в електронному форматі (PDF, Word тощо, за домовленістю).

Під час виконання завдань особливу увагу слід звертати на взаємозв'язок окремих елементів у загальній схемі котельної установки, розуміння процесів теплообміну, циркуляції робочого середовища та вимог до матеріалів, що працюють в умовах високих температур і тисків. Це дозволить успішно вирішувати практичні завдання з експлуатації та діагностики суднового котельного обладнання.

1 Загальна будова котельних агрегатів

Суднові головні котельні установки

Головним прийнято вважати котельний агрегат, що виробляє пару для приводу головного двигуна (парової турбіни) судна. У разі встановлення на судні з дизельним, електричним або іншим видом головної енергетичної установки, головним «умовно» можна вважити котельний агрегат з найбільшою продуктивністю пари. Але в цьому випадку він все одно буде виконувати допоміжні функції, як і інші суднові допоміжні механізми.

На рисунку 1 схематично показано конструкцію головного водотрубного котла з природною циркуляцією, який використовувався на транспортному судні.

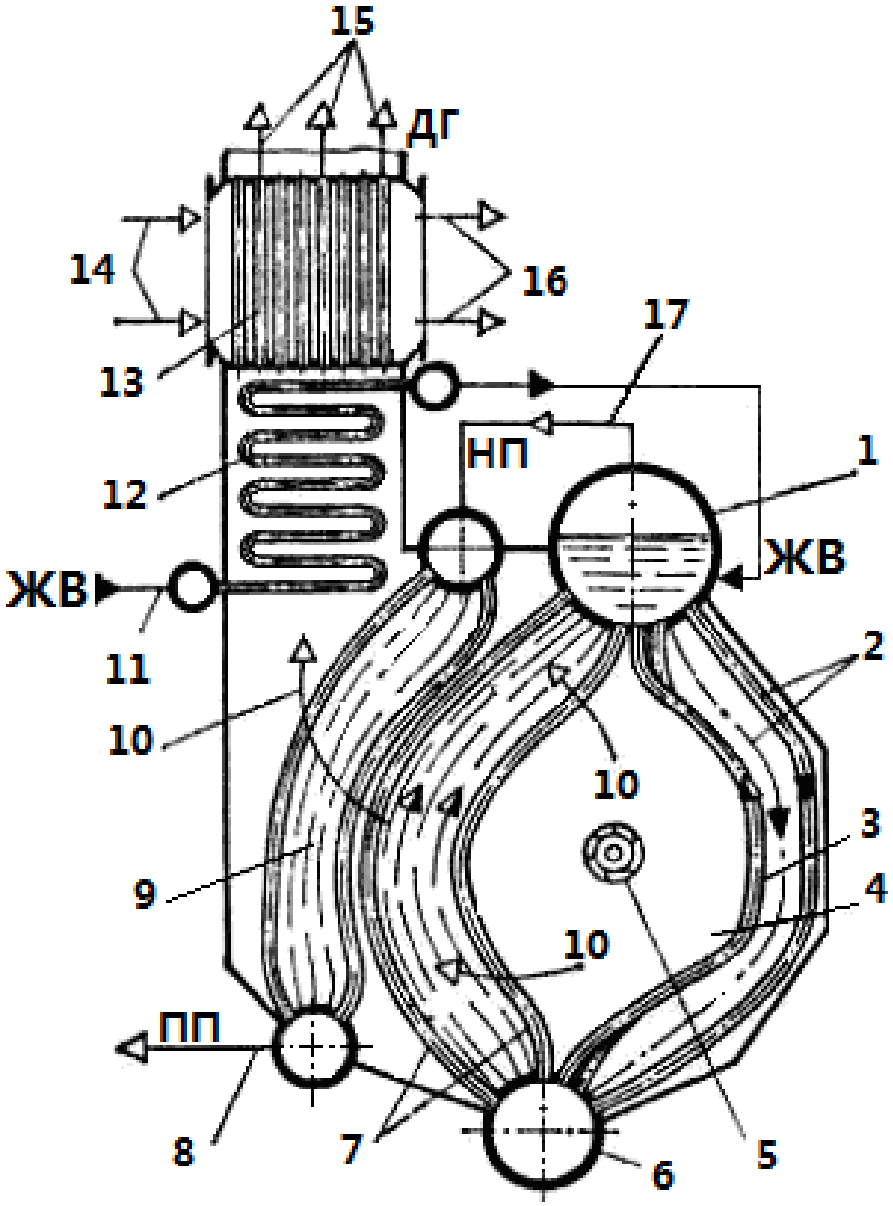


Рисунок 1 – Схема будови головного водотрубного котла із природною циркуляцією

Корпус котла утворюють пароводяний 1 і водяний 6 колектори, з'єднані між собою пароутворювальними трубами конвективного пучка 7, трубами екрана 3 та опускними трубами 2. Разом ці елементи утворюють замкнутий контур природної циркуляції робочого середовища.

У топку котла 4 через топковий пристрій 5 подається паливо і повітря, яке утворює паливо-повітряну суміш і горить у вигляді факела. Повітря попередньо нагрівається в повітропідігрівачі котла 13. Стрілки 14 вказують напрям підведення повітря до повітропідігрівача, а стрілки 16 – вихід нагрітого повітря, яке по передньому фронту котла подається до топкового пристрою 5.

Додаткові ***поверхні нагріву***, утворені пучками труб пароперегрівача 9, водяного економайзера 12 і повітропідігрівача 13, послідовно розміщені в газоході котла. Вони сприймають теплоту від димових газів, які, рухаючись газоходом котла, поступово охолоджуються. Димові гази температурою від 150 до 200 °С спрямовуються в димову трубу (стрілки 15). Додаткові поверхні нагріву дають змогу підвищити економічність котла, повніше використовувати теплоту, що виділилася під час згоряння палива.

Розглянемо принцип дії котельної установки за рисунком 1. За характером руху робочих середовищ вона поділяється на чотири тракти: повітряний, газовий, водяний і паровий. Для зручності опису їх традиційно об'єднують у два основні тракти: газоповітряний та пароводяний.

Газоповітряний тракт котла починається з нагнітання повітря котельним вентилятором у міжобшивковий простір. Циркулюючи у міжобшивковому просторі, повітря виконує дві важливі функції: підігрівається від стінок обшивки, водночас охолоджуючи їх. Під час пуску котла повітря спрямовується безпосередньо до топкового (форсуночного) пристрою 5 за допомогою спрямовувальної засувки. Після розпалювання котла та утворення димових газів повітря рухається у міжобшивковому просторі, омиваючи бічні поверхні котла, і подається до повітропідігрівача 13. Вхід повітря показано на рисунку стрілками (позиція 14). Повітря, омиваючи зовнішню поверхню труб повітропідігрівача, нагрівається за рахунок теплоти димових газів. Нагріте повітря (стрілки 16) по передньому фронту котла подається до топкового пристрою 5, де через повітронапрямний пристрій (фурму) спрямовується до топки котла 4.

Димові гази (ДГ), утворені в результаті згоряння паливо-повітряної суміші, омивають поверхні нагріву конвективного пучка 7 та екранні труби 3, передаючи теплову енергію, яка витрачається на утворення насиченої пари (НП). Напрям руху газів у газоході котла показано стрілками 10. Екранні труби 3 розташовуються суцільними рядами, захищаючи опускні труби 2 від прямих променевих теплових потоків факела топки та конвективного впливу димових газів. Конструктивно екрани можуть виконуватися в 1–3 ряди з відносним поперечним і поздовжнім кроком, що дорівнює одиниці, тобто без зазорів між трубами. Обігрів опускних труб може привести до зриву циркуляції і аварійної зупинки котла.

Далі димові гази омивають труби пароперегрівача 9, передаючи теплову енергію для утворення перегрітої пари (ПП).

Проходячи газоходом до димової труби, вони віддають тепло елементам, розташованим у хвостових поверхнях котельної установки. Відповідно димові гази омивають змійовики економайзера 12, передаючи теплоту, що витрачається на підігрів живильної води (ЖВ). Після економайзера димові гази спрямовують у внутрішній простір труб повітропідігрівача 13, де відбувається теплообмін із повітрям, що омиває зовнішню поверхню труб.

Повітропідігрівач є останнім елементом газоповітряного тракту, після якого димові гази (стрілки 15) видаляються до атмосфери.

Опис циркуляції середовищ за пароводяним трактом наведено нижче.

Живильна вода нагнітається живильним насосом трубопроводом у вхідний колектор 11 економайзера, де за рахунок конвективного теплообміну підігрівається у змійовику 12 до температури, яка є від 20 до 30 °С нижчою за температуру пароутворення. Після економайзера підігріта вода через живильну трубу надходить у водяну частину пароводяного колектора 1. Напрям показано стрілками ЖВ. По опускних трубах 2 живильна вода (напрям руху вказано стрілками на рисунку 1) подається до водяного колектора 6, де остаточно перемішується з котловою водою.

Вода і пароводяна суміш рухаються ***замкнутим контуром***: пароводяний колектор - опускні труби - водяний колектор - пароутворювальні труби - пароводяний колектор. Цей рух відбувається за рахунок різниці густини води і пароводяної суміші в трубах і називається ***природною циркуляцією***. Сукупність елементів котла, в яких здійснюється замкнутий рух води і пароводяної суміші, називають ***контуром циркуляції***. Котел, показаний на рисунку 1, має лише один контур циркуляції, однак котельні установки можуть мати й кілька таких контурів.

Вода з водяного колектора постійно підживлює труби 3, 7 в яких відбувається процес пароутворення. Перші три ряди пучка 7, які розташовані у шаховому порядку, і труби екрана сприймають теплоту випромінювання факела топки, що суттєво впливає на інтенсивність пароутворення. Інші котельні поверхні нагріву сприймають теплову енергію завдяки конвекції від димових газів.

Пароводяна суміш надходить у пароводяний колектор 1. Утворена в циркуляційному контурі пара, пройшовши водяну частину колектора, скупчується в його паровій зоні, звідки перепускною трубою 17 (напрям циркуляції насиченої пари НП показано стрілкою) прямує до верхнього колектора пароперегрівача 9. Частина насиченої пари може бути спрямована на інші суднові потреби.

У пароводяному колекторі 1 циркуляційного контуру котла розміщують сепарувальні пристрої (на схемі не показані), тому пара, яка спрямовується в пароперегрівач, має ступінь сухості, близький до одиниці. У пароперегрівачі 9 пара підсушується і перегрівається. Перегріта пара через головний стопорний клапан (на схемі не показаний) спрямовується до споживачів (ПП стрілка 8).

Загалом описаний процес утворює безперервний цикл роботи котельної установки: від нагрівання живильної води в економайзері до її перетворення у насичену пару в контурі циркуляції з наступним отриманням перегрітої пари у пароперегрівачі. Наявність економайзера і повітропідігрівача, які розташовані у хвостових поверхнях котельної установки, забезпечує максимальне використання теплоти згоряння палива для досягнення високого ККД установки.

Прямоточні та високонапірні котельні установки

Значно меншу масу і габарити мають **прямоточні котли** (рисунок 2), рух робочого середовища в яких відбувається за рахунок напору живильного насоса 12, що подає воду в економайзер 1 котла. Підігріта живильна вода спрямовується в пароутворювальну поверхню нагріву, що складається з труб 9, які повністю екранують топку 8, і конвективного пучка 10. Майже суха пара надходить у пароперегрівач 3, звідки перегріта пара через головний стопорний клапан спрямовується до споживачів (стрілка 11).

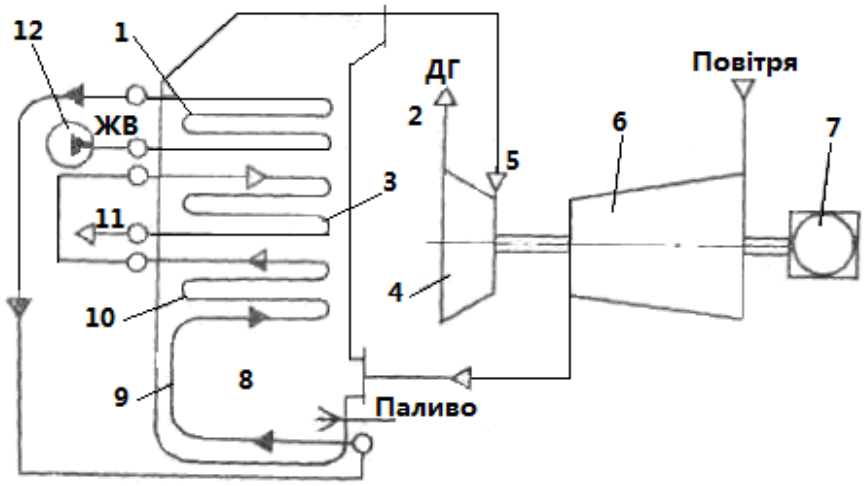


Рисунок 2 – Принципова схема високонапірного котла

Прямоточні котли можуть забезпечувати велику продуктивність і високі параметри пари. Вони компактні, маневрені, легко вписуються в габарити котельного приміщення, проте дуже чутливі до якості живильної води, а також ненадійні при роботі на малих навантаженнях.

Котли, в яких горіння палива в топці відбувається за тиску, що є від 2,5 до 4 разів вищий за атмосферний, називаються високонапірними. Вони можуть бути як із природною, так і з примусовою циркуляцією води.

Для подачі повітря у високонапірний прямоточний котел використовують турбонаддувний агрегат. До складу ТНА входять компресор 6, газова турбіна 4 і додатковий двигун 7. Димові гази, що утворилися в топці, омиваючи послідовно поверхні нагріву, розташовані в газоході котла, охолоджуються до температури від 550 до 650 °С і надходять (стрілка 5) до газової турбіни ТНА, тут відбувається їхнє розширення та зниження температури до діапазону від 150 до 250 °С. З турбіни газ надходить у димову трубу (стрілка 2). Турбіна приводить в обертання компресор. Таким чином, робота газу в турбіні витрачається на стиснення і нагрівання повітря в компресорі.

За малого навантаження котла потужність газової турбіни може виявитися недостатньою для стиснення повітря в компресорі та подачі його в топку. У цьому разі застосовується додатковий двигун (зазвичай парова турбіна). Він не тільки заповнює брак потужності газової турбіни, а й служить джерелом енергії під час пуску котла з холодного стану. Пара для цього двигуна надходить від іншого котла або від берегової котельної установки.

Суднові допоміжні парові котельні установки

Для суднових допоміжних парових котлів характерні велике різноманіття типів, широкий діапазон параметрів та паропродуктивності. Під час їх проєктування прагнуть максимально спростити конструкцію задля підвищення надійності, оскільки вони протягом рейсу працюють нетривало. На суднах, які мають як головні двигуни дизелі або газові турбіни, широко використовують водотрубні однотопочні котли, що працюють на рідкому паливі.

На рисунку 3 показано схему водотрубного котла КВВА 12/28 із природною циркуляцією. Котел має двофронтове опалення, випускається із загальним кожухом для випарної частини та пароперегрівача, де випарна поверхня утворена екранами та конвективним пучком із коридорним розташуванням труб.

Котел автоматизований, має такі параметри:

D = 3,34 кг/с (12 т/год);

Рк = 3 МПа;

η = 82 %.

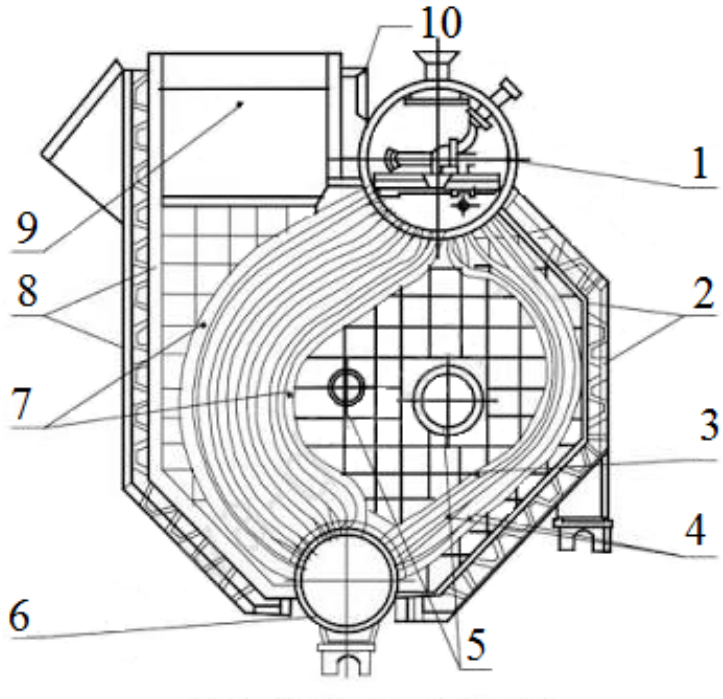
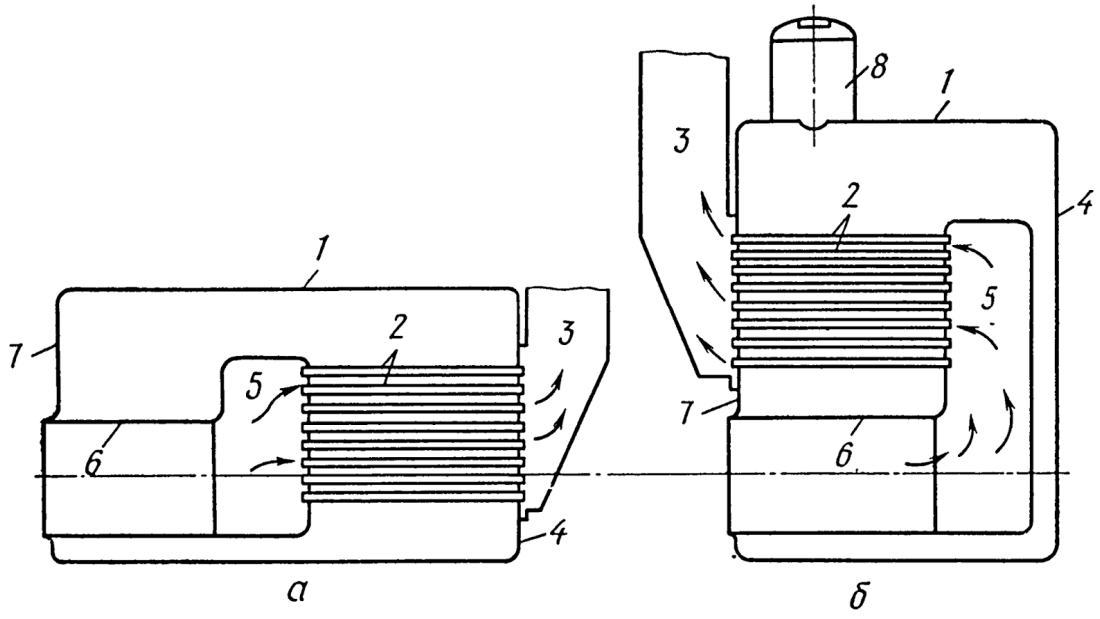


Рисунок 3 – Схема водотрубного допоміжного котла

Корпус котла складається з пароводяного 1 і водяного 6 колекторів, з'єднаних між собою підйомними пароутворювальними трубами екрана 3 і пучка 7 та опускними необігріваючими трубами 4, розташованими за екраном. Топка котла обладнана топковим пристроєм 5. Для спостереження за процесом горіння палива є оглядові люки. Для обдування і миття поверхонь нагріву встановлено сажеобдувні пристрої. Бокові стінки кожуха 2, 8 та 10 котла виконані з подвійною обшивкою, що охолоджується повітрям. У пароводяному колекторі розміщені живильна труба, нижній і верхній дірчасті щити. На виході встановлено пароперегрівач 9.

Аналогічну конструкцію мають котли типу КАВ.

У якості допоміжних котлів на суховантажних суднах дуже часто зустрічаються вогнетрубні і газоводотрубні котли. Принципові схеми суднових вогнетрубних допоміжних котлів показані на рисунку 4.



а – пролітні б – оборотні

Рисунок 4 – Схема суднових допоміжних вогнетрубних котельних установок

Котли Поділяються на ***оборотні*** (топки і димогарні труби паралельні, гази повертають в вогневій камері) та **пролітні** (гази не змінюють напрямку; на морських суднах не прижилися). Бувають клепаними та зварними.

Основні частини:

1 – Корпус котла (бочка) – циліндрична об'ємна обичайка, що утримує внутрішній об'єм води та пару.

2 – Димогарні труби – труби конвективного пучку, через які проходять гази для інтенсивної передачі тепла котловій воді.

3 – Димова коробка – камера для збирання охолоджених димових газів перед їх виходом у димову трубу.

4 – Заднє днище – торцева задня стінка корпусу котла.

5 – Вогнева камера – камера, де відбувається розворот потоку газів (в оборотних котлах) та їх догоряння.

6 – Жарова труба (топка) – циліндричний елемент, у якому безпосередньо згоряє паливо.

7 – Переднє днище – торцева передня стінка корпусу котла з фронтальним розташуванням пальників чи топок.

8 – Сухопарник – верхній виносний елемент (штуцер/барабан) для відбору та підвищення ступеня сухості пари (наявний на деяких конструкціях).

Паливо, що вводиться в котел, згоряє в топці, звідки утворені димові гази надходять у вогневу камеру, де відбувається їх перемішування та догоряння летких речовин. Потім гарячі гази спрямовуються в димогарні труби, через стінки

яких здійснюється інтенсивна передача тепла (основна частина) від газів котловій воді. Тепло котловій воді передається також через стінки жарових труб і стінки вогневих камер.

У результаті теплопередачі вода випаровується й утворюється пара, яка збирається в паровому просторі котла, а потім по паропроводах відводиться до споживачів.

Утилізаційні суднові парові котли

В утилізаційних котлах (УК) як джерело теплоти використовують гази головних двигунів суднових енергетичних установок, що відходять (двигунів внутрішнього згоряння або газових турбін). Застосування УК дає змогу економити паливо від 8 до 12 %. Крім утилізації теплоти газів, що відходять, УК забезпечують глушіння шуму випуску головних двигунів та іскрогасіння. Пар від УК витрачається в основному на суднові потреби.

Зі збільшенням потужності головних двигунів на деяких суднах перейшли до використання енергетичних установок, у яких УК виробляють пару для ходових турбогенераторів або парової турбіни, що працює на гвинт судна.

Найбільшого поширення на торгівельному флоті набули водотрубні УК з примусовою циркуляцією і з автономним сепаратором пари. Як приклад, розглянемо принципову схему утилізаційної котельної установки, представлену на рисунку 5. Під час руху судна котельна установка забезпечує перегрітою парою турбогенератор, а насиченою парою - допоміжні споживачі.

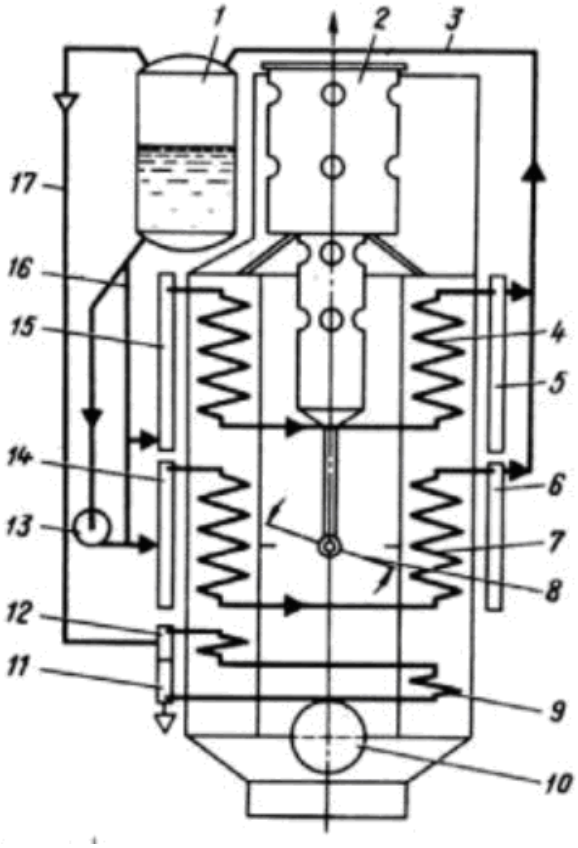


Рисунок 5 – Схема компонування циліндричного утилізаційного котла

Сепаратор 1 скомпонований разом з утилізаційним котлом в одному агрегаті. Поверхня нагріву виконана у вигляді спіральних змійовиків так, як це зазвичай робиться в утилізаційних котлах із циліндричним компонуванням. Змійовики пароутворювальних труб розділені на дві секції 4 і 7, тому водяна камера складається з двох частин 14 і 15, а пароводяна — з частин 5 і 6. Вода із сепаратора може подаватися в кожну з паралельно увімкнених секцій або самопливом по трубі 16, або циркуляційним насосом 13.

Пароводяна суміш відводиться з камер 5 і 6 по перепускній трубі 3 у сепаратор, звідки насичена пара спрямовується до споживачів. Колектор змійовикового пароперегрівача 9 розділений на дві порожнини — насиченої пари 12 і перегрітої 11. Пароперегрівач і сепаратор з'єднані сполучною трубою 17. Перегріта пара може бути використана в турбіні навчального електрогенератора.

В агрегаті змійовики секцій 4 і 7 виконані з труб діаметром 32×3 мм, а змійовики пароперегрівача — з труб 44,5×3,5 мм. Для камер 5, 6, 14 (на схемі часто вказується як 14/15), 15 та колектора пароперегрівача застосована труба 133×6 мм.

Відпрацьовані гази від двигуна підводяться до патрубка приймальної камери 10, а відводяться через глушник 2. У середній частині першої за ходом газів секції 7 змійовиків встановлена газоперепускна заслінка 8, яка дозволяє регулювати паропродуктивність парогенератора шляхом зміни співвідношення кількості газів, що омивають поверхню нагріву та протікають, минаючи її, через центральну частину агрегату.

Повна паропродуктивність 600 кг/год за робочого тиску 0,5 МПа забезпечується в горизонтальному положенні заслінки. Поверхня нагріву пароутворювальних труб — 134 м², пароперегрівача — 9 м²; об'єм сепаратора до середнього рівня — 0,31 м³, маса котла без води — 10,39 тонн.

2 Корпус котла

Корпус котла містить такі вузли й деталі: пароводяний колектор 1, водяний колектор 5, пароутворювальні (підйомні) труби 3 і труби екрану 4, необігрівальні (опускні) труби 2. Загальний вид корпусу котла показано на рисунку 6.

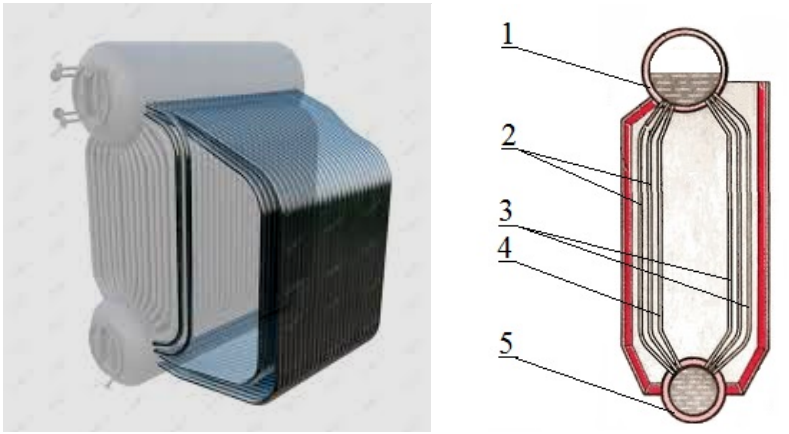


Рисунок 6 – Загальний вид корпусу котла

Труби, в яких вода і пароводяна суміш рухається від водяного колектора до пароводяного, називаються підйомними, а труби, в яких вода рухається з пароводяного колектора до водяного - опускними.

Такий поділ пучків труб на підйомні й опускні відноситься до котлів із природною циркуляцією. Замкнутий контур, що складається з опускних і підйомних труб, об'єднаних колекторами, називається ***контуром циркуляції***. У котлі їх стільки, скільки пучків опускних труб (дивись рисунок 1, атласу).

Зовнішні діаметри пароутворювальних труб (труби екрану 14, притопочного 9 і периферійного 2 конвективних пучків) приймають рівним 29, 32, 38 і 44,5 мм (з товщиною стінки 2, 2,5, 3, 4 мм) залежно від теплонапруженості, паропродуктивності та типу топки. Перші один-два ряди притопочного пучка, а також екрани виконуються з труб, діаметр яких перевищує діаметр інших труб. Це забезпечує надійну циркуляцію в цих рядах, що працюють більшою тепловою напруженістю.

Величина поздовжніх і поперечних кроків труб вибирається з умови забезпечення необхідної швидкості газів.

Для забезпечення нормальної циркуляції пароводяної суміші ділянки труб з кутом нахилу до горизонталі менше ніж від 15 до 20° не виконуються. Згини всіх труб робляться за радіусом. Введення труб у колектори здійснюється тільки в радіальному напрямку. Найменша відстань між трубами по внутрішньому діаметру колектора не має бути меншою за 13 мм. За менших відстаней між трубами трубна решітка буде значно ослаблена.

Поверхні нагріву котла (рисунок 1, атласу) мають два контури циркуляції: перший контур складається з притопочного пучка і першого ряду труб екрана - це підйомні труби, другий і третій ряди труб екрана 14 - це опускні труби; другий контур - пароутворювальні труби другого пучка - підйомні труби й опускні труби 14 діаметром 114 мм.

Тип пучка труб (шаховий або коридорний) обирають за умови отримання оптимальних теплотехнічних, конструктивних і експлуатаційних характеристик, тобто мають бути малі маса, габарити, газові опори пучка труб, а також хороші можливості самообдування і штучного очищення від сажі та золи.

З'єднання пароутворювальних труб з колекторами здійснюються шляхом їх розвальцьовування або приварювання до штуцерів колекторів.

Зовнішній діаметр опускних труб 13, розташованих за екраном, приймають рівними d = 51 мм або d = 57 мм, а розташовані в міжобшивочному просторі d = 114 мм або d = 133 мм. Сумарний перетин опускних труб становить від 0,25 до 0,7 сумарного перетину контуру підйомних труб. Менші значення належать до котлів меншого форсування з низьким тиском пари, більші - до котлів надвисокого форсування з високим тиском пари.

Зазначені значення перерізу опускних труб забезпечують надійну циркуляцію в контурах котла.

Щоб уникнути захоплення пари в опускні труби, що може призвести до перекидання циркуляції, останні вводять у пароводяний колектор у такому місці, щоб над входом в опускну трубу був шар води не менше 200 мм. Для цих же

цілей застосовують поперечні перегородки в пароводяному колекторі 12 (рисунок 2, атласу).

Колектори. Діаметр пароводяних колекторів приймають, виходячи з умови отримання чистої пари, розміщення пароутворювальних і опускних труб, а також достатньої водяної місткості, необхідної для підтримання рівня води в заданих межах під час маневрів.

Внутрішній діаметр пароводяного колектора в головних котлах становить від 1000 мм до 1300 мм.

Розміри водяних колекторів вибирають з умов можливості розвальцьовування труб зсередини. Внутрішній діаметр водяних колекторів становить від 500 мм до 700 мм.

Товщина стінок колекторів залежить від робочого тиску пари в котлі. Ослаблена отворами трубна решітка пароводяного барабана має більшу товщину, ніж верхня частина колектора (рисунок 2, атласу).

Колектори виготовляють зварними або ковано-зварними. Днища колекторів виготовляються кованими або штампуються з листової сталі.

У середній частині днища є лаз, що замикається спеціальним пристроєм (рисунок 3, атласу).

Принципова схема пароводяного колектора показана на рисунку 7

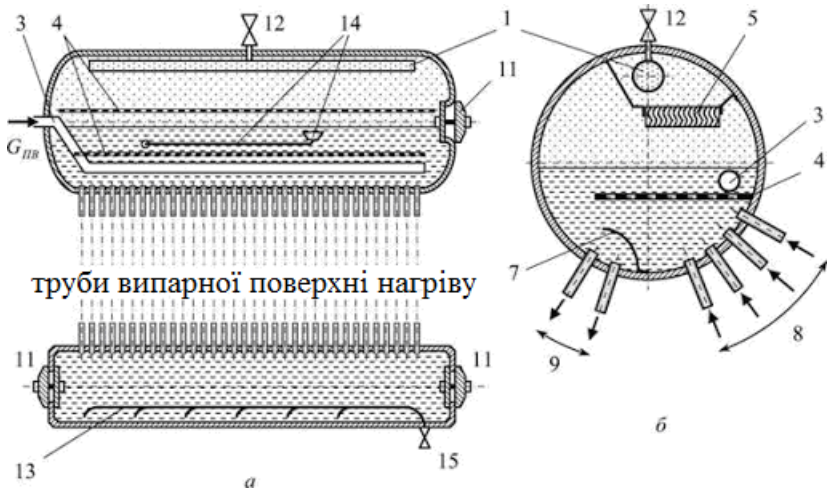


Рисунок 7 – Принципова схема пароводяного колектора

Внутрішні елементи пароводяних колекторів забезпечують:

- стійку циркуляцію води в котлі;
- отримання насиченої пари з мінімальною вологістю;
- можливість верхнього продування для підтримання загального солевмісту котлової води;
- регулювання температури перегрітої пари; охолодження перегрітої пари, що подається на допоміжні механізми.

Принцип дії будь-якого пристрою для осушення пари ґрунтується на відмінності густини води і пари. Ці пристрої виконують два основні завдання: гасіння кінетичної енергії потужних пароводяних струменів, що виходять із пароутворювальних труб, і сепарація дрібних крапель води від пари.

Сепараційні пристрої можуть виконуватися у вигляді ***дірчастих щитів*** (занурений дірчастий лист 8 і верхній дірчастий лист 3) (рисунок 2, атласу), застосовуються також ***циклонні сепаратори***.

Живильна труба 10 (рисунок 2, атласу), розташовується вздовж колектора у водяному просторі в районі опускних труб контуру циркуляції і забезпечує рівномірну роздачу води по всій довжині колектора.

Пароохолоджувачі поверхневого типу, встановлені у водяній порожнині колектора, застосовуються для регулювання температури перегрітої пари, а також для зниження температури пари, призначеної для роботи допоміжних механізмів. Конструктивно пароохолоджувач являє собою систему змійовиків або прямих труб, приварених до вхідного і вихідного колекторів.

Воронка верхнього продування. Для верхнього продування котла в пароводяному колекторі встановлюють воронки 6, з'єднані з клапаном верхнього продування. Воронки виготовляють із листової сталі і розташовують уздовж колектора на висоті від 50 до 100 мм нижче середнього робочого рівня води в тому районі, де спостерігається найбільша концентрація солей.

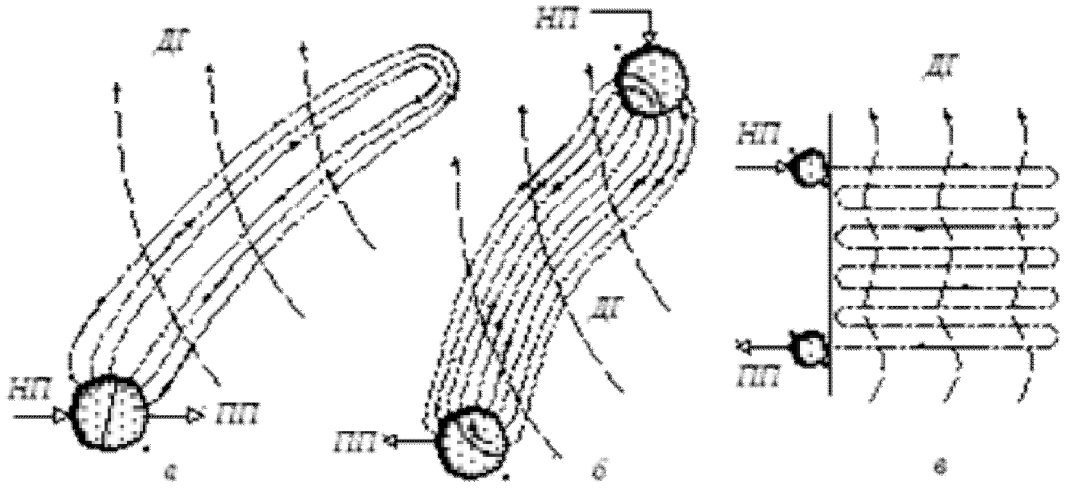
У водяному колекторі зазвичай встановлюють грушоподібну перегородку 1, (рисунок 6, атласу) для поділу опускних і підйомних труб. Цим забезпечується рівномірний розподіл води по підйомних трубах контуру циркуляції.

3 Пароперегрівачі

Пароперегрівач є найбільш теплонапруженою частиною котла.

Тип і конструкція пароперегрівача багато в чому залежать від параметрів пари, марки і виду палива, конструкції та місця розташування топкових пристроїв, прийнятих для даного пароперегрівача системи регулювання температури перегрітої пари, тощо.

Найбільшого поширення набули пароперегрівачі, схеми яких наведено на рисунку 8 та рисунку 4 атласу.



а – петльовий б – двоколекторний петльовий в - змійовиковий

Рисунок 8 – Принципові схеми типів пароперегрівачів

До переваг змійовикових пароперегрівачів слід віднести: компактність, зручність розміщення в будь-якій частині газоходу, можливість отримати будь-яку швидкість руху пари, не вдаючись до перегородок.

До недоліків належать: труднощі осушення змійовиків під час стоянки, що спричиняє корозію за поганої організації зберігання та консервації. Крім того, змійовикові пароперегрівачі мають більш високу гідравлічну розгортку порівняно з іншими конструкціями.

У разі виходу з ладу однієї труби і її глушіння поверхня нагріву змійовикового пароперегрівача різко зменшується, особливо коли кількість паралельно ввімкнених труб невелика. Змійовики мають велику кількість зварних з'єднань.

Петльові пароперегрівачі легко дренуються (осушуються). У разі перепалу труби в петльових перегрівачах виходить з ладу тільки одна петля, що становить невелику частку всієї поверхні нагріву. Вони також можуть встановлюватися в будь-якій частині газоходу.

Вертикальні петльові пароперегрівачі порівняно з горизонтальними мають додатково такі переваги: поверхня нагріву їх менше заноситься золою; очищення труб від зовнішніх відкладень полегшується тим, що труби їх розташовані паралельно трубам конвективного пароутворювального пучка; унеможливлено провисання труб. Під час встановлення вертикальних петльових пароперегрівачів спрощується конструкція повітряного короба, у цьому разі не потрібно в міжобшивочному просторі розміщувати колектори. Ремонт їх порівняно з горизонтальними простіший, оскільки не потрібно замінювати трубні дошки з жаростійкої сталі. Він зводиться до відрізання старих труб і приварювання нових.

Недоліки петльових пароперегрівачів: труднощі монтажу і демонтажу поздовжніх і поперечних перегородок колектора, якщо йдеться про однокільцеву колекторну конструкцію; можливість корозійного ушкодження труб через скупчення у верхніх частинах петель повітря (під час пуску і зберігання). Виникають великі труднощі і при ущільненні перегородок. Неминучі протікання пари з однієї камери в іншу призводить до погіршення умов роботи і зниження температури перегрітої пари. У цьому відношенні двоколекторні вертикальні пароперегрівачі не мають цього недоліку.

Кріплення труб до колекторів здійснюють шляхом вальцювання або зварювання.

Важливу роль відіграє конструктивне оформлення кріплень у пароперегрівачі окремих труб між собою і кріплення пароперегрівача загалом. Конструктивно кріплення мають виконуватися таким чином, щоб вони забезпечували можливість вільного теплового розширення труб уздовж їхньої поздовжньої осі та щоб запобігала можливість провисання окремих труб пакета труб загалом.

Прикладом кріплення, що забезпечує сталість поздовжнього і поперечного кроків труб, є конструкції, які зображені на рисунку 5 атласу. Для фіксації положення всього пароперегрівача щодо котла і для передачі зусиль, що виникають під дією сили тяжіння труб і колекторів, застосовують так звані опорні

кріплення. Опорними кріпленнями для пароперегрівачів служать охолоджувані водою труби великого діаметра або зварні коробки, охолоджувані повітрям.

У змійовиковому пароперегрівачі кріплення змійовиків 4 до колектора 1, кронштейна 6 і до каркаса здійснюється за допомогою гачків 7 (рисунок 5, атласу).

У змійовикових пароперегрівачах необхідна швидкість пари досягається шляхом створення в змійовиках так званих половинних, одинарних, дво-, трьох- і більше ходових змійок (рисунок 6, атласу).

Внутрішні діаметри колекторів змійовикових пароперегрівачів від 150 до 250 мм, а петльових і одинарних (без петель) - від 450 до 500 мм.

4 Економайзери

Під час установлення економайзера частина пароутворювальної поверхні, що працює в зоні малої різниці температур, замінюється поверхнею нагріву економайзера, який працює за вищого середнього логарифмічного температурного напору. Тому загальна поверхня нагріву котла при цьому зменшується.

Економайзер зазвичай розташовують у зоні низької температури газу.

Трубний пучок економайзера виконують, як правило, змійовиковим. Зовнішні діаметри труб від 20 до 38 мм. Для забезпечення хорошого обдування зазвичай застосовують коридорне розташування труб.

Внутрішній діаметр колектора перебуває в межах від 100 до 300 мм, можуть застосовуватися колектори прямокутного перерізу. Колектори і змійовикові економайзери розташовують зазвичай на фронті (частіше на задньому, перпендикулярно осі пароводяного колектора) (рисунок 3, атласу). У цьому разі змійовики, що йдуть уздовж довгого боку газоходу, мають меншу кількість поворотів, що знижує величину гідравлічних опорів.

Найчастіше застосовують у суднових котлах гладкотрубні економайзери, рисунок 9 (рисунок 7, атласу).



Рисунок 9 – Секція гладкотрубного економайзера

Знаходять також застосування труби з поперечними ребрами або шипами. Це зумовлено прагненням поліпшити теплопередачу в трубних пучках.

Змійовики економайзера кріпляться до колекторів вальцюванням або приварюванням.

Петлі змійовиків кріплять таким чином, щоб уникнути провисання, а також, щоб була забезпечена можливість вільного переміщення під час нагрівання.

5 Повітропідігрівач

Застосування повітропідігрівача покращує якість горіння і підвищує коефіцієнт корисної дії (ККД) котла. Значення повітропідігрівачів сильно зростає при застосуванні регенеративного підігріву живильної води теплотою відпрацьованої пари.

Найбільшого поширення в суднових котлах набули вертикальні гладкотрубні повітропідігрівачі. Наведений на рисунку 8 атласу повітропідігрівач має три ходи за повітрям і один хід за газом. Продукти згоряння омивають труби зсередини. Поділ на три ходи досягається встановленням перегородок.

Перш ніж потрапити у повітропідігрівач, все повітря, що подається вентилятором, надходить у верхню частину котла в патрубок 2 (рисунок 9, атласу) і заповнює канали, утворені обшивкою і стінками корпусу з боку заднього фронту 10 та збоку. Вертикальним бічним каналом 12 повітря прямує вгору до першої секції повітропідігрівача 3 і далі каналом 14 - до другої (за ходом повітря) секції 4, з якої повітря надходить у канал 11.

Наявність поздовжніх перегородок 13 забезпечує такий напрямок повітря в каналі 11, що в третій (за ходом повітря) секції 5 повітря рухається від заднього фронту до переднього і виходить, як показано стрілками 6, у повітряний короб 1 до повітрянапрямних пристроїв форсунок 8.

При помітному зниженні навантаження котла, наприклад під час стоянки, необхідно частково байпасувати повітропідігрівач по повітряній стороні. З цією метою передбачено спеціальний шибер 7, який розміщується у вертикальному каналі 12; привід цього шибера здійснюється вручну - рукояткою 9.

Труби діаметром 38/34 мм розташовані в шаховому порядку і закріплені в трубних дошках зварюванням. Для компенсації температурних подовжень труб встановлено компенсатор, що з'єднує верхню трубну дошку з косинцем верхнього фланця повітропідігрівача (рисунок 18, атласу). Корпус повітропідігрівача виконано з листової та профільної сталі. Для створення жорсткості фронтальні дошки каркаса розкріплені розпірними трубками, а бічні стінки - скобами з прутка. Для цієї ж мети бічні стінки першої камери забезпечені п'ятьма перегородками з вирізом для проходу повітря.

Вертикальні повітропідігрівачі можуть бути виконані триходовими по газу і одноходовими по повітрю.

Конструктивно труби повітропідігрівача можуть бути розташовані горизонтально. Тоді повітря буде рухатись внутрі труб, а зовні омиватись газами.

Принципові схеми конструкції пароперегрівача показані на рисунку 10.

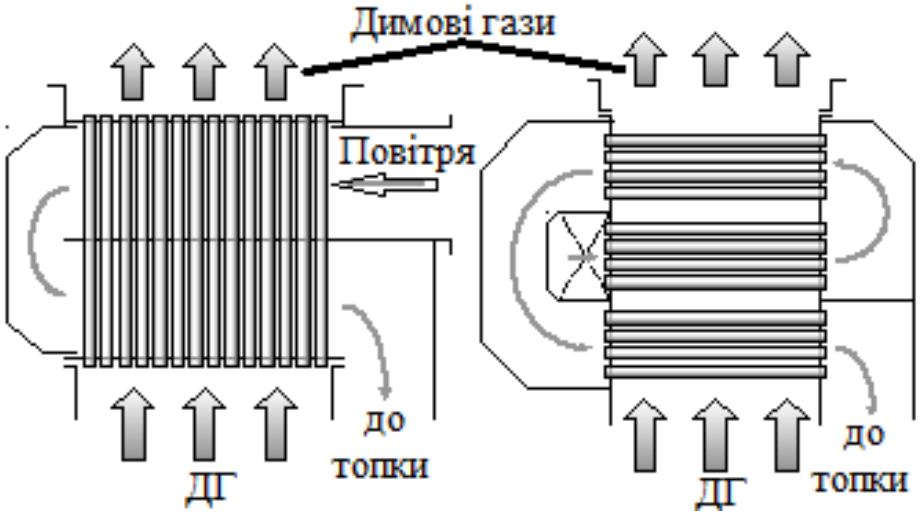


Рисунок 10 – Принципові схеми конструкції пароперегрівача

Крім газових застосовують парові повітропідігрівачі (рисунок 10, атласу), основна перевага яких полягає у виключенні низькотемпературної корозії труб повітропідігрівача.

До недоліків парового повітропідігрівача слід віднести наявність додаткових трубопроводів гріючої пари та конденсату, необхідна надійна система видалення повітря з конденсату.

6 Топкова гарнітура

Гарнітурою називають пристрої для контролю і регулювання процесів, що відбуваються в газоповітряному тракті, а також для його обслуговування.

До топкової гарнітури належать: форсунки, повітронапрамний пристрій (ПНП) із приводами, елементи кріплення топкового блока.

Форсунки. Усі форсунки можна розділити на три основні групи: парові, повітряні та механічні (рисунок 11, атласу). Крім цих типів застосовуються також комбіновані форсунки: паромеханічні та повітряномеханічні.

Принцип дії повітряних і парових форсунок полягає в тому, що повітря або пара, що рухається з великою швидкістю, захоплює за собою паливо, яке під дією кінетичної енергії повітря (пари) дробиться на дрібні краплі. Паливо надходить до форсунки самопливом із витратного бака, встановленого на певній висоті по відношенню до форсунки.

Повітряні (парові) форсунки прості за будовою, не вимогливі до якості обробки деталей і очищення палива. Гарне розпилювання палива досягається, якщо на 1 кг палива витрачається від 0,3 до 0,7 кг повітря або пари тиском від 0,3 до 0,5 МПа. У суднових котлах повітряні (парові) форсунки в даний час не застосовуються через велику витрату повітря (пари).

Механічні форсунки поділяються на ***відцентрові та ротаційні***.

У механічних відцентрових форсунках для розпилювання палива використовується відцентровий ефект, створюваний обертанням самого палива у вихровій камері. Щоб створити це обертання, паливо під тиском від 1 МПа до 4

МПа підводять до камери по тангенціальних каналах. З камери паливо, що обертається, виходить у топку через отвори розпилювача 1 у вигляді плівки, що утворює пустотілий конус.

У ***паромеханічній*** форсунці поєднуються принципи роботи парової та механічної форсунок. У цій форсунці паливо внутрішніми каналами подається через тангенціальні канали в таку саму вихрову камеру, як і в механічній форсунці. Пара рухається кільцевим каналом, проходить своїми тангенціальними каналами у вихрову камеру, де закручується і з великою швидкістю виходить через кільцеву щілину. У результаті взаємодії парового і паливного потоків відбувається розпилювання палива, що подається у форсунку за тиску від 0,2 до 1,0 МПа.

Механічні форсунки широко використовують у суднових котлах. Вони прості за будовою, забезпечують гарне розпилювання палива, надійні в роботі. До серйозного недоліку механічних форсунок відносять малу глибину регулювання витрати палива.

Для глибшого регулювання продуктивності застосовують ***форсунку з рециркуляцією палива***. Регулювання продуктивності форсунки досягається не зміною тиску подачі палива, а поверненням частини його з вихрової камери через центральну трубку в зливну магістраль (рисунок 11, атласу). Кількість палива, що зливається, залежить від величини відкриття клапана на зливній магістралі. Під час відкриття клапана зменшується тиск у зливному трубопроводі і продуктивність форсунки падає, оскільки кількість палива, що надходить у топку, зменшується, а того, що надходить у зливну магістраль, - зростає. Діапазон регулювання форсунки з рециркуляцією становить від 100 до 20 %.

До переваг форсунки, що розглядається, слід віднести, крім широкого діапазону регулювання, можливість групової роботи декількох форсунок, керованих одним клапаном на загальному зливному трубопроводі, що важливо для автоматичного регулювання.

До недоліків слід віднести непродуктивну роботу паливного насоса під час зливу з вихрової камери великої кількості гарячого мазуту і збільшення мережі гарячих паливних трубопроводів.

У ***ротаційних*** форсунках для розпилювання палива використовується відцентровий ефект, створюваний обертанням головки (розпилювача) форсунки. Розпилювачем ротаційної форсунки є порожнистий, злегка конусний стакан, що має частоту обертання n від 6000 до 10000 $хв^{-1}$. Паливо самопливом надходить у внутрішню порожнину склянки і під впливом відцентрових сил розтікається по її конусній поверхні у вигляді тонкої плівки. Плівка рухається до кромки склянки, стікає з неї і під дією відцентрових сил розривається на дрібні краплі.

На рисунку 11 атласу показано конструкцію паромеханічної форсунки. У цій форсунці витрата пари значно менша, ніж у паровій, і подавати її можна тільки на малих навантаженнях за низького тиску палива для поліпшення розпилу. На практиці пару подають на всіх навантаженнях, навіть якщо її участь у розпилі не потрібна. За конструкцією паромеханічні форсунки мало чим відрізняються від механічних відцентрових. Додатково є паровий канал 7, а на розпилювальній шайбі - тангенціальні канали для пари.

На рисунку 12 атласу показано конструкцію ротаційної форсунки. Вал 7, розпилювальна склянка 11 і робоче колесо вентилятора 4 приводяться в обертання від двигуна 5 через ремінну передачу 6. Паливо від паливного насоса підводиться по гнучкому шлангу 9 у канал 8, розташований усередині вала 7.

До розпилювальної склянки 11 мазут надходить через отвори в циліндричній частині голівки вала, що має торцевий ковпачок, який закриває її отвори і канал 8 від прямого випромінювання з топки, що необхідно для запобігання коксування мазуту. Вентилятор 4 забирає повітря через патрубок, в якому є регулювальна заслінка 10, і подає його в кільцеву щілину 12 з тиском, приблизно 500 мм вод. ст.: такий напір повітря потрібен для забезпечення високої якості розпилювання мазуту.

На цьому ж рисунку наведено розпилювальну голівку ротаційної форсунки, в якій паливо подають зовнішнім каналом 13, а вал 16 виконано суцільним без центрального отвору. Необхідно зазначити, що підведення підігрітого палива внутрішнім каналом 8 погіршує умови роботи кулькових і роликових підшипників.

Ротаційна форсунка має низку переваг. Вона відрізняється високою продуктивністю (до 1 кг/с) і великою глибиною регулювання, $i_{ф} = B_{\max} / B_{\min}$ яка становить від 15 до 20.

Недоліки цих форсунок обумовлюються складністю їхньої конструкції. Крім того, для надійної роботи форсунок і безпечного їх обслуговування потрібно підтримувати розрядження в топці за всіх навантажень котла. Пояснюється це тим, що в процесі експлуатації форсунки необхідно для огляду, очищення або в разі пошкодження виводити з топки. У цих умовах розрядження в топці унеможливлює викид полум'я: амбразура для розпилювальної склянки на час очищення її закривається сталевим щитком, який притискається до амбразури завдяки різниці тисків у котельному відділенні і топці.

Для створення розрядження в топці, як правило, потрібне застосування ***димососа***, який є вельми небажаним елементом котельні.

Форсунки з обертовим розпилювачем, особливо під час підведення палива усередині вала, працюють із підвищеним шумом.

Зазначені недоліки ротаційних форсунок перешкоджають широкому їх використанню.

7 Повітрянапрямні пристрої

Різноманітність конструкцій повітронапрамних пристроїв (ПНП) пояснюється великою кількістю конструктивних схем котлів і застосуванням різних типів форсунок.

На рисунку 13, атласу наведено ПНП з поворотними лопатками.

Повітря, необхідне для горіння палива, подається дуттьовим вентилятором у короб 1, в якому розташовані ПНП форсунок. ПНП складається з восьми заслінок 4 з приварениими до них точковим зварюванням штампованими сталевими лопатками 2, що мають криволінійну поверхню, яка необхідна для створення обертального руху повітря, що поліпшує перемішування його з частинками палива.

Заслінки також відштамповані з листової сталі і вигнуті за радіусом таким чином, що при повністю закритому ПНП утворюється замкнута поверхня кругового циліндра. Закриття і відкриття заслінок здійснюється вручну за допомогою рукоятки 16, яка переміщує кільце 8. До кільця 8 приварені вісім штирів 9, за допомогою яких повертаються хомути 7, жорстко з'єднані з провідними пальцями 6 заслінок 4. Кільце 8 переміщується по роликах 15.

8 Котельна гарнітура

Котельна гарнітура містить у собі пристрої для обслуговування газоповітряного тракту (рисунок 14, атласу).

Оглядові пристрої служать для спостереження за якістю горіння і станом цегляної кладки. В оглядовому пристрої змонтоване скло (внутрішнє - безбарвне, зовнішнє - синє), яке поміщають між двома металевими заслінками. Під час користування пристроєм заслінки піднімають, після чого вони опускаються під тиском власної ваги.

Пристрій для спостереження за димністю. Це пристосування дає змогу стежити за кольором продуктів згоряння, не виходячи з котельного відділення. Це здійснюється за допомогою системи дзеркал, встановлених у трубах, і лампового підсвічування. У разі димного горіння яскравість світла зменшується.

9 Сажеобдувні пристрої

Для забезпечення в умовах експлуатації високого ККД і заданої температури перегрітої пари котли мають розвинену систему сажообдувних пристроїв.

На рисунку 15 атласу показано загальне компонування сажообдувних пристроїв (СУ), підведення до них пари для обдування і гарячого повітря для захисту від корозії стосовно котла КВГ-34К.

Між секціями водяного економайзера розміщено вісім СУ 1. Три СУ розташовані в пазусі між гілками пароперегрівача, паропроводи до яких розміщені з боку заднього фронту 5. Два СУ 7 передбачені для обдування другого пучка кип'ятильних труб.

Сажообдувні труби 8 мають двостороннє розташування сопел 11, а труби 12, що призначені для обдування другого пучка випарних труб і нижнього пакета змійовиків другої секції економайзера, - одностороннє.

Решта сажеобдувних труб є двосторонніми, їхній поворот під час обдування здійснюється поршневими сервомоторами. Пар до СУ підводиться трубою 3; пар відбирається з проміжної секції колектора пароперегрівача 4 з температурою близько 370 °С, а його тиск редукується до 1,5 МПа.

Увімкнення сажообдувних апаратів здійснюється програмним пристроєм. Для запобігання низькотемпературній корозії через можливу конденсацію парів, що містяться у димових газах, на внутрішніх стінках голівок СУ до них підводиться під час їхньої бездіяльності гаряче повітря, яке забирається з короба переднього фронту 16 і подається трубою 13 через клапан 14 до розподільної труби 15.

Періодичність увімкнення залежить від низки чинників, основним з яких є якість спалюваного палива.

Шибери. Шибером називають поворотну заслінку, що перекриває в разі потреби перетин газоходу або повітроходу.

Штуцери. Це елементи гарнітури призначені для відведення брудної води з топки після промивання газоходу, зливання протічок палива, встановлення датчиків тиску і температури або відбору імпульсів у газоповітряному тракті для системи автоматичного регулювання.

Штуцери являють собою звичайні патрубки з різьбленням під штуцерноніпельне з'єднання або ж із фланцевим з'єднанням.

10 Допоміжні елементи котла

Стіни котла служать для відділення газоповітряного тракту від котельного приміщення. Тиск у газоповітряному тракті перевищує тиск у котельному приміщенні на величину від 0,005 до 0,01 МПа. Незважаючи на порівняно малу різницю тисків, стіни мають бути жорсткими, а також забезпечувати необхідну щільність, щоб унеможливити витік димових газів або присмоктування повітря в газоходи котла.

Стіни котла зазвичай роблять подвійними, що складаються з внутрішнього кожуха і зовнішнього кожуха. Між внутрішнім і зовнішнім кожухами проходить повітря, яке їх охолоджує. Цим досягається зменшення втрати теплоти у навколишнє середовище, а також зниження температури металу зовнішнього кожуха для безпеки обслуговуючого персоналу і пожежної безпеки. За вимогами класифікаційних товариств, зокрема Регістру судноплавства України, температура зовнішньої поверхні котла не повинна перевищувати 60 °С. Внутрішній кожух несе на собі внутрішню обмурівку та ізоляцію, підтримує разом із зовнішнім кожухом деякі поверхні нагріву (економайзер, повітропідігрівач, іноді пароперегрівач).

Зовнішній кожух з'єднується різними скобами та іншими розпірними елементами з внутрішнім кожухом, утворюючи єдину жорстку конструкцію. Зміна режиму роботи котла призводить до змін температури деталей стін. Тому мають бути передбачені компенсаційні пристрої, що дають змогу вільно переміщати елементи стін для запобігання виникненню небезпечних термічних напружень і механічних деформацій.

У стінах котла передбачають різні лази для огляду й очищення поверхонь нагріву, прорізи для монтажу та виймання пароперегрівача. Для забезпечення щільності кришки цих лазів встановлюються прокладки, виготовлені з тканинного матеріалу з еластомірним покриттям (використання азбесту нині заборонено). Зазвичай кришки внутрішнього кожуха мають менші розміри, ніж зовнішні. Кришки лазів зовнішнього кожуха можуть встановлюватися зовні або зсередини та кріпляться за допомогою задрайок.

11 Обмурування та ізоляція

Для захисту металевих конструкцій від перегріву та забезпечення нормальної експлуатації стіни котла покривають внутрішньою ізоляцією. У зоні високих температур понад 600 °С використовують вогнетривкі керамічні вироби, а за температури нижче 600 °С застосовують ~~азбестовий картон~~, різні ізоляційні матеріали.

Найскладнішим завданням є ізоляція камери згоряння, що виконується у вигляді кладки з вогнетривкої цегли - обмурування. Внутрішня частина обмурування топки, що стикається з факелом, називається футеруванням.

Для обмурування топок застосовують вогнетривкі та ізоляційні цеглини, фасонні вогнетривкі блоки, набивні вогнетривкі маси і різні види ізоляційних матеріалів. Кріплення цегли можуть бути у вигляді індивідуальних болтів (по одному на кожну цеглину) або на дві цеглини (рисунок 16, атласу). Найбільша робоча температура цегляної ізоляції у звичайних котлах близько 1600 °С.

Для ізоляції пароводяного барабана і колекторів котла традиційно використовували такі матеріали, як ньювель, совеліт та азбестовмісні вироби (застосування азбесту на сьогодні повністю заборонено, тому його замінюють сучасними безпечними аналогами на основі мінерального або керамічного волокна). Ці матеріали для ізоляції барабанів і колекторів виконуються у вигляді картону, плит, матраців і обмазки.

12 Опори

Для утримання котла на місці з одночасним забезпеченням вільних температурних розширень він має опори різних конструкцій (рисунок 17 і 18, атласу). Одна опора робиться ***нерухомою***, вона міцно затягнута болтами. Зазвичай це найнижча опора переднього фронту (іноді передня опора пароперегрівача). Інша опора робиться ***напіврухомою***, тобто вона має один ступінь свободи переміщень у напрямку від нерухомої опори. Обидві ці опори, нерухома і напіврухома, належать екранному колектору 2, причому напіврухома опора розташовується на задньому фронті.

Решта опор робляться ***рухомими***, вони мають два ступені свободи. Напрямок переміщень збігається з прямою, що проходить через центри рухомої і нерухомої опор (штрихпунктирні лінії на рисунку 17, атласу). Переміщення в напрямку R, наприклад, може бути розкладено на осьове переміщення в напрямку T і поперечне - в напрямку S. Таким чином, конструкція рухомих опор повинна допускати як поздовжнє, так і поперечне переміщення без відриву котла від площини ковзання.

Конструкція опор показана на рисунку 18 атласу. Зліва на цьому рисунку показана нерухома опора, вона туго затягнута болтами і тому не може пересуватися по перехідному стільцю в площині роз'єму.

Права рухома опора має можливість переміщатися завдяки наявності бічного зазору від 12 мм до 15 мм між опорою і Г-подібною скобою (вузли 1 і 11). Ці скоби перешкоджають відриву котла від фундаменту, але не заважають опорі

переміщатися в будь-якому горизонтальному напрямку. Скоби напіврухомої опори розміщені без такого великого бічного зазору, тому вона може переміщатися тільки в поздовжньому напрямку.

У центрі рисунка 18 атласу показано опору пароперегрівача, яка під час експлуатації котла працює так само, як звичайна рухома опора (вузли 1 і 11). Відмінність цієї опори полягає в тому, що в ній є ролики, які можна відтиснути вниз при обертанні спеціальних болтів. На цих роликах пароперегрівач, попередньо звільнений від зв'язків зі стінами котла, викочують у котельне приміщення по спеціально підготовленій платформі.

13 Арматура котла

Арматурою називають пристрої для контролю і регулювання процесів, що відбуваються в пароводяному тракті котла.

За призначенням арматура може бути розділена на чотири групи.

Першу групу становить ***арматура для управління роботою котла***, до якої належать стопорні та живильні клапани, водовказівні прилади, головний паливний клапан і клапан відбору насиченої пари. Головний стопорний клапан за конструкцією є незворотно-запірним кутовим і встановлюється на колекторі пароперегрівача. Усі стопорні клапани мають два приводи керування: один із котельного відділення, інший із палуби.

Живильні клапани працюють за таким самим принципом, що й стопорні, тобто є незворотно-запірними. Згідно з вимогами Регістру, незворотний клапан розміщується перед запірним живильним клапаном, який встановлюється безпосередньо на колекторі котла. Це пояснюється тим, що незворотний клапан зношується швидше, і під час ремонту він має бути відокремлений від колектора за допомогою запірного клапана. Головний паливний клапан має аналогічну конструкцію.

Водовказівні прилади (не менше двох на один котел) служать для систематичного контролю за рівнем води в пароводяному колекторі. На рисунку 19 атласу зображено конструкцію водовказівного приладу, що застосовується для котлів високого тиску. Фланець 5 з'єднується з фланцем верхнього штуцера пароводяного колектора. Звідси пара йде через верхній стопорний клапан 6, з'єднувальний канал 7, верхній швидкозапірний клапан 8 і далі до роз'ємного з'єднання 9 клапанного вузла з власною колонкою. Водомірною колонкою називають усі елементи, укріплені на рамці 4, включно з коротким штуцером із різьбленням угорі та патрубком, що проходить через сальник унизу. Водомірна колонка є змінною частиною водовказівного приладу.

Основною частиною колонки є рамка 4 з прорізами 15, через які ведеться спостереження за рівнем води. Ці прорізи з обох боків закриваються слюдяними пластинками 12 на паронітових прокладках 13. Зверху на слюдяні пластини накладають притискні рамки 11 і опорні планки 14, а вся конструкція стягується гайками на шпильках 10. Колонка має риски 3 з літерами ***в.р.***, ***с.р.***, ***н.р.***, що відповідають верхньому, середньому і нижньому рівням води. Нижня частина колонки проходить через сальник 2, який дозволяє їй вільно розширюватися.

Нижній клапанний вузол зі швидкозапірним 19 і стопорним 21 клапанами закінчується фланцем 1, що приєднується до нижнього штуцера пароводяного колектора.

У разі руйнування слюдяних пластин із майданчика обслуговування натискають угору на стрижень, прикріплений до нижнього кінця 22 шарнірного чотириланкового паралелограмного шарніра ABCD. При цьому малі сторони паралелограма AD і BC повертаються на кут близько 120° і повертають осі обох швидкозапірних клапанів 8 і 19. Для можливості щільного перекриття обох клапанів верхній 16 і нижній 20 стрижні з'єднують через пружинний елемент. Нижній стрижень 20 закінчується втулкою 18, яка може входити всередину коробки, стискаючи пружину 17. Таким чином, подача цих стрижнів угору викликає спочатку перекриття верхнього клапана 8, а потім — після додаткового зусилля для стиснення пружини 17 — перекривається і нижній клапан 19.

Другу групу становить ***арматура захисту котла***, куди входять запобіжні клапани. Вони застосовуються для захисту від надмірного підвищення тиску (згідно з діючими нормативами — за перевищення номінального тиску на 5 %). Кожен котел має бути забезпечений двома запобіжними клапанами, що встановлюються на пароводяному колекторі: один із них є робочим, а інший — контрольним, який пломбується інспектором Регістру для уникнення стороннього втручання з боку обслуговуючого персоналу. У процесі експлуатації можливі випадки раптового припинення відбору пари з пароперегрівача, що може призвести до перепалу його труб. Щоб уникнути аварії, на збірному колекторі пароперегрівача також встановлюють запобіжний клапан, який регулюють на відкриття раніше за колекторні клапани для забезпечення постійного протоку пари й охолодження труб.

На сучасних потужних котлах запобіжні клапани прямої дії не застосовуються, оскільки масивні пружини не можуть забезпечити задану точність регулювання, тому набули поширення клапани непрямої дії, що складаються з імпульсного та головного запобіжних клапанів (за вимогами Регістру встановлюють по два таких комплекти). Головний запобіжний клапан встановлюють безпосередньо на барабані котла (рисунок 20 атласу). Він забезпечує малий ступінь нечутливості (приблизно від 5 % до 6 % від робочого тиску пари) за рахунок того, що клапани 13 пересуваються сервомоторами 3. Імпульсний тиск пари від здвоєного контрольного клапана передається по трубах 2 у порожнину 9 під поршнем сервомотора 3. Якщо тиск у барабані перевищить допустимий, зусилля в порожнині 9 долає натяг пружини 7, і клапан відкривається для пропуску пари від патрубка 11 до патрубка 1. За правилами Регістру запобіжні клапани повинні підриватися за тиску, що перевищує робочий на 5–8 %, після чого на них встановлюють пломбу.

Третю групу складає ***арматура фізико-хімічного контролю***, до якої належать пристрої для відбору проб живильної та котлової води, пристрої для введення присадок, а також клапани верхнього і нижнього продування. Клапан верхнього продування встановлюють на пароводяному колекторі за стандартною схемою. Нижнє продування слугує для видалення з водяних колекторів

мулоподібного осаду — шламу, що може містити частинки накипу й забивати щілину клапана, через що цей елемент має спеціальну конструкцію.

Четверту групу утворює ***допоміжна арматура***, яка виконує супутні функції, необхідні для повноцінної експлуатації котла. До неї належать дренажні й повітряні клапани для випуску повітря під час заповнення котла водою, манометрові клапани, а також паливні клапани, що забезпечують подачу палива до кожної окремої форсунки за звичайною конструктивною схемою.

14 Прототипи конструкції суднових котлів

Опрацювавши вищевикладений матеріал, студент здатний самостійно розібратися з конструкціями наведених нижче головних, допоміжних і утилізаційних котлів.

На рисунку 22 атласу наведено конструкцію головного парового котла КВГ-25К, який раніше встановлювали на суховантажних суднах типу «Ленінський Комсомол».

Технічні характеристики:

Паропродуктивність котла D = 25 т/год;

Тиск пари в пароводяному колекторі $P_{п.к.}$ = 4,5 МПа;

Температура перегрітої пари $t_{п.п.}$ = 470 °С;

η = 93 %

Для отримання такого високого ККД котел має розвинену хвостову частину, що складається з водяного економайзера і газового повітропідігрівача.

На рисунку 23 атласу показано котел КВГ-34К, який встановлювали на танкерах типу «Прага» і «Софія».

Технічні характеристики:

Паропродуктивність D = 34 т/год;

Тиск пари в пароводяному колекторі $P_{п.к.}$ = 4,4 МПа;

Температура перегрітої пари $t_{п.п.}$ = 470 °С;

η = 93 %

На відміну від котла КВГ-25К цей котел має паровий повітропідігрівач.

У світовому торговельному флоті переважна кількість суден має дизельну енергетичну установку. Ці судна обладнуються допоміжними котельними установками, що складаються з допоміжного котла, що працює на паливі, і утилізаційного котла, де використовується теплова енергія випускних газів головних двигунів.

Допоміжні та утилізаційні котли є основними типами котлів на сучасних суднах.

Значення допоміжних і утилізаційних котлів як елементів суднової енергетичної установки дуже суттєве. Про це свідчать такі дані, відношення потужності допоміжних котлів до потужності ГЕУ:

- на морських транспортних суднах становить: від 20 до 60 % (на суховантажах), від 200 до 300 % (на танкерах);
- на суднах річкового флоту від 10 до 60 % (суховантажі, пасажирські), до 100 % (танкери).

– потужність утилізаційних котлів на великих морських суднах досягає від 40 до 50 % потужності ГЕУ.
– на газотурбоходах – понад 100 %.

Для отримання насиченої пари, використовуваної споживачами різного призначення, застосовують автоматизовані котлоагрегати типів КАВ і КВА.

На рисунку 24 атласу показано будову парового котла КАВ-6,3/7. Відсутність хвостової частини обумовила низьку економічність котла (η = 80,5 %).

На великих теплоходах і газогурбоходах встановлюють потужніші котли типу КВ, які, на відміну від КАВ, мають повітропідігрівач, економайзер або пароперегрівач, і, як наслідок, високий ККД (η від 91 до 95 %).

На рисунку 25 атласу показано конструкцію котла КВ-1 паропродуктивністю 35 т/год. Високе значення ККД (η = 95 %) досягнуто завдяки застосуванню розвинених хвостових поверхонь нагріву: економайзерної та повітропідігрівальної. Котел виробляє тільки насичену пару, тому пароперегрівач відсутній.

На рисунку 26 атласу показано конструкцію котла КВ-2 паропродуктивністю 25 т/год слабоперегрітої пари. Пароперегрівач петльового типу, двоколекторний, складається з одного ряду петель. Є газовий повітропідігрівач, одноходовий по повітрю і газу.

На рисунку 27 атласу показано конструкцію допоміжного котла КВ-35/25-1, який встановлювали на танкерах типу «Крим». Паропродуктивність 35 т/год, η = 91 %.

Утилізаційні парові котли (УПК) здебільшого виконуються з примусовою циркуляцією, хоча є на деяких суднах УПК з природною циркуляцією.

УПК для звичайної утилізації (для одержання насиченої пари для загальносуднових потреб) виконуються з циліндричною формою кожуха і спіральними горизонтальними змійовиками (рисунок 28, атласу). Поверхня нагрівання складається з 16 паралельно включених змійовиків 3. Кожен змійовик містить дві послідовно включені спіралі, виконані з труб діаметром 29 х 2,5 мм. Кінці змійовиків приварені до стаканів 2. Останні приварені у вхідний 7 і вихідний 11 колектори, виготовлені з труб діаметром 138 х 8 мм. Колектори приварені до жорсткої сталевої рами 1, яка кріпиться до обшивки 6 фланцями і болтами.

Змійовики лежать на нижній хрестовині 22 і притискаються до неї верхньою хрестовиною 25 за допомогою стяжних шпильок 24, приварених до труби 23. Для фіксації кроку в пучку і забезпечення зазору між змійовиками призначені дистанційні гребінки і смуги, що встановлюються радіально. Кожух парового котла циліндричний, газощільний складається з приймальної камери 20, обшивки 6 і випускної камери 26, з'єднаних між собою фланцями і болтами. Приймальна камера являє собою циліндр з конусним днищем, на якому розташовано патрубок 18 для приймання газів, патрубки 19 і 33 для дренажу води і спуску гудрону. Для доступу в камеру є вікно зі знімним щитом.

Ізоляція зовнішніх поверхонь котла являє собою шар совєлітової штукатурки 38, що накладається на сталевий лист кожуха. Поверх шару покладені совєлітові плити 34, на які натягнута металева сітка 36, прикріплена до кожуха привареними

шпильками 37. Далі йде шар совєлітової штукатурки 35, покритий тонколистовою оцинкованою сталлю. Фланцеві з'єднання, колектори, знімні щити ізольовані.

Арматура котла містить клапани циркуляційної води 15 і пароводяної суміші 13, два клапани осушення 32, запобіжний клапан 14, клапан випуску повітря 31.

Утилізаційні котли, що працюють у системі глибокої утилізації і слугують для вироблення перегрітої пари для утилізаційного турбогенератора, мають прямокутну форму кожуха, а поверхні нагріву утворені вертикальними змійовиками (рисунок 29, атласу). Під час обігріву газами паралельні змійовики кожного пучка перебувають в однакових умовах на відміну від спіральних горизонтальних змійовиків. Випускні гази послідовно омивають пароперегрівальні, пароутворювальні і економайзерні поверхні нагріву, виконані з труб 22х2,5 мм, що мають шахове розташування.

Кожух 2 виконаний зварним газощільним зі сталевих листів, смуг і швелерів. На стінках кожуха є вікна зі знімними щитами 3, що забезпечують доступ у пазухи між трубними пакетами під час огляду та ремонту. На фронтовій стінці економайзера змонтовано три обмивальні пристрої 1.

Для кріплення котла до фундаменту на бічних стінках пароперегрівача розташовуються чотири опори 4. З них три опори мають рухоме з'єднання, а одна опора кріпиться нерухомо. На бічній стінці економайзера є дві опори 18 для вертикального розкріплення котла.

Іскровловлювач 15 складається із закручувальних лопаток 14, сітки-діафрагми 17 і конуса 16, укладених у кожух. Лопатки 14, встановлені по дотичній до окружності, забезпечують потоку обертальний рух, що сприяє кращому випаданню розпечених частинок золи і сажі. Видалення їх відбувається через вікна зі знімними щитами, розташовані в бічних стінках кожуха іскровловлювача. Інші елементи (ізоляція, арматура) такі самі, як і для котла на рисунку 28 атласу.

15 Вказівки щодо порядку формування звіту у протоколі лабораторної роботи

Звіт з лабораторної роботи оформлюється в «Журналі протоколів лабораторних робіт» за таким планом:

1. Навести схему парового котла КВВА-7,5/28 (за зразком рисунка 1).
2. Вказати основні технічні характеристики парового котла (ПК).
3. Опис основних елементів, вузлів та деталей котельних установок (внутрішньоколекторний пристрій, елементи корпусу котла, пароперегрівач, економайзер, повітропідігрівач). Схематично і спрощено виконати пояснювальні ескізи елементів.
4. Опис циркуляції газоповітряного та пароводяного трактів котла.

Креслення і заповнення бланка протоколу виконуються від руки та здаються в паперовому або електронному (фотографії, скани єдиним файлом у форматі PDF або Word) вигляді.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 Сторчак О. О. Суднові котельні установки : конспект лекцій для студентів спеціальностей «Морський та внутрішній водний транспорт» і «Енергетичне машинобудування». Одеса : ОНМУ, 2026. 188 с.

2 Кузнецов В.В., Кузнецова С.А., Мовчан С.М., Соломонюк Д.М. Утилізаційні котли газотурбінних установок: навчальний посібник. – Миколаїв: НУК, 2011. 248 с.

3 Суднові котельні установки та їх експлуатація : методичні вказівки до практичних занять для студентів спеціальності 271 «Морський та внутрішній водний транспорт» / О. А. Єпіфанов, Б. В. Димо, П. А. Пацурковський, О. К. Чередніченко ; Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. – Миколаїв : НУК, 2022. 143 с.

4 McGeorge H. D. Reed's Marine Engineering Series: Steam Engineering for Marine Engineers. London : Adlard Coles Nautical, 1988. 384 p.

5 Taylor D. A. Introduction to Marine Engineering. 2nd ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 1996. Chapter: Marine Steam Plant and Boilers. P. 145–190.

6 Котел водогрійний допоміжний вертикальний типу КВВА 7,5/28. Технічний опис та інструкція з експлуатації. Миколаїв : ЧСЗ, 1985. 64 с.

7 Правила класифікації та побудови морських суден. Том 3 / Регістр судноплавства України. Київ : Регістр судноплавства України, 2020. 632 с.

8 Alfa Laval Marine — Steam and heat generation [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.alfalaval.com/industries/marine-transportation/marine/steam-and-heat-generation/ (дата звернення: 2026 р.).

9 Kangrim Heavy Industries Co., Ltd. Official Website [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.kangrim.com (дата звернення: 2026 р.).

10 SAACKE GmbH. Marine Systems and Boilers [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.saacke.com (дата звернення: 2026 р.).