УДК 621.1.016 (075)
ББК 65.9(2)304.14 я7
П25

Затверджено вченою радою Національного університету водного господарства та природокористування
(Протокол № від28 травня 2010 р.)

Рецензенти:
Лозбін В.І., д-р техн. наук, професор Національного університету водного господарства та природокористування;
Рябенко О.А., д-р техн. наук, професор Національного університету водного господарства та природокористування.

Пеньков В.І.
П25 Проектування та спорудження об'єктів теплоенергетики. Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2010. – 210 с.

Навчально-методичний посібник містить типову програму, вказівки до вивчення розділів курсу, плани практичних занять, модулі перевірки знань студентів, методичні вказівки по виконанню курсового проекту, зразки теплових схем і методику їх розрахунку, каталоги і характеристику основного і допоміжного теплоенергетичного обладнання, список рекомендованої літератури. Комплекс може біти використаним при вивченні дисципліни і виконанні курсового проекту на тему „Проектування котелень і ТЕЦ" в умовах кредитно-модульної організації навчального процесу студентами спеціальності 7.090510 „Теплоенергетика".

УДК 621.1.016 (075)
ББК 65.9(2)304.14 я7

© Пеньков В.І., 2010
© Національний університет водного господарства та природокористування, 2010

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Зміст

Передмова 4
1. Типова програма нормативної навчальної дисципліни „Проектування та спорудження об'єктів теплоенергетики" 5
1.1. Опис навчальної дисципліни 5
1.2. Програма навчальної дисципліни 5
Змістовий модуль 1. ТГУ, вибір 5
Змістовий модуль 2.ТС, розрахунок 6
Змістовий модуль 3. Основне, допоміжне обладнання 7
1.3. Структура навчальної дисципліни 8
2. Методичні рекомендації до вивчення дисципліни 9
Змістовий модуль 1. ТГУ, вибір 9
Змістовий модуль 2.ТС, розрахунок 35
Змістовий модуль 3. Основне, допоміжне обладнання 74
3. Методичні рекомендації до практичних занять 178
Змістовий модуль 1. ТГУ, вибір 178
Змістовий модуль 2.ТС, розрахунок 179
Змістовий модуль 3. Основне, допоміжне обладнання 180
4. Контрольні питання 181
Змістовий модуль 1. ТГУ, вибір 181
Змістовий модуль 2.ТС, розрахунок 183
Змістовий модуль 3. Основне, допоміжне обладнання 185
5. Контрольні вправи 188
Змістовий модуль 1. ТГУ, вибір 188
Змістовий модуль 2.ТС, розрахунок 191
Змістовий модуль 3. Основне, допоміжне обладнання 193
6. Контрольні тести 194
Змістовий модуль 1. ТГУ, вибір 194
Змістовий модуль 2.ТС, розрахунок 196
Змістовий модуль 3. Основне, допоміжне обладнання 199
7. Порядок тестування 202
7.1. Поточний контроль 202
7.2. Підсумковий контроль 202
7.3. Розподіл балів 203
8. Індивідуальна робота – КП 204
8.1. Тема і завдання 204
8.2. Зміст РПЗ 205
8.3. Оформлення РПЗ та графічної частини 206
9. Література 208

Національний університет
водного господарства
та природокористування

ПЕРЕДМОВА

Рівень розвитку економіки будь-якої країни, в першу чергу визначається рівнем розвитку енергетики, об'ємом вироблення електричної і теплової енергій. Основними енергетичними установками є теплові електричні станції (ТЕС), теплоелектроцентралі (ТЕЦ) і промислово-опалювальні котельні, проектування їх, набуття знань, вміння, навичок є основною **метою** курсу „Проектування та спорудження об'єктів теплоенергетики", який є важливим етапом професійної підготовки спеціалістів-теплоенергетиків.

Студент повинен:

знати сучасне теплоенергетичне обладнання, теплогенеруючі діючі установки (ТГУ), їх техніко-економічні показники, нові сучасні методи отримання корисної енергії – теплової, електричної;

вміти раціонально обирати сучасні ТГУ для покриття потрібного теплового навантаження підприємства, мікрорайону, складати і розраховувати технологічні, теплові схеми, раціонально обирати основне і допоміжне сучасне теплоенергетичне обладнання, раціонально використовувати вторинні енергоресурси, забезпечити екологічно чисту роботу ТГУ.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Національний університет

1. Типова програма нормативної навчальної дисципліни „Проектування та спорудження об'єктів теплоенергетики"

1.1. Опис навчальної дисципліни

<table>
<tr><td rowspan="2">Найменування показників</td><td rowspan="2">Напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень</td><td colspan="2">Характеристика навчальної дисципліни</td></tr>
<tr><td>Денна форма навчання</td><td>Заочна форма навчання</td></tr>
<tr><td>Кількість кредитів, відповідних ECTS – 4, 5</td><td rowspan="8">Напрям підготовки 7.090601 „Теплоенергетика"</td><td colspan="2">нормативна</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Змінних модулів – 3</td><td colspan="2">Рік підготовки</td></tr>
<tr><td>5</td><td>6</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Курсовий проект – 1</td><td colspan="2">семестр</td></tr>
<tr><td>9</td><td>11</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Загальна кількість годин – 162</td><td colspan="2">Лекцій, год.</td></tr>
<tr><td>36</td><td>8</td></tr>
<tr><td rowspan="8">Тижневих годин для денної форми навчання:
аудиторних – 4
СРС – 5</td><td rowspan="8">Освітньо-кваліфікаційний рівень: спеціаліст</td><td colspan="2">Практичні, год.</td></tr>
<tr><td>36</td><td>10</td></tr>
<tr><td colspan="2">Самостійна робота, год.</td></tr>
<tr><td>66</td><td>120</td></tr>
<tr><td colspan="2">Курсовий проект – 24 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Вид контролю: іспит</td></tr>
<tr><td colspan="2">80</td><td>15</td></tr>
<tr><td colspan="3">Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить, %:</td></tr>
</table>

1.2. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. ТГУ, вибір

Тема 1. Види теплогенеруючих установок (ТГУ)

Первинні енергоресурси – ПЕР, їх використання. Види ТГУ. Технологічні схеми котельні, ТЕЦ. Обладнання.

Тема 2. Порядок проектування

Об'єм, зміст, строки проектування. Норми. Техніко-економічне обгрунтування – ТЕО, технічний і робочий проекти. Погодження, за-

твердження. Кошторис, капвкладення, експлуатаційні витрати. Витрати на будівництво.

Тема 3. Питання спорудження об'єктів ТЕ

Уніфікація обладнання. Блочно-модульна система. Типорозміри. Залізо-бетонні конструкції, фундамент, колони, каркас, міжетажні перекриття, стіни, панелі, комунікації. Будівельно-монтажна зона, обладнання. Графік будівництва, строки, етапи, норми витрати матеріалу.

Тема 4. Компоновка котелень, ТЕЦ

Вибір майданчика. Генплан. Компановка головного корпуса. План котельні, ТЕЦ. Поперечний, поздовжній розрізи. Електрична частина ТЕЦ.

Тема 5. Вибір систем ТГУ

Система теплопостачання – централізована і децентралізована. Вибір ТЕЦ, центральної і індивідуальної котельні. Густина теплового навантаження. Тепловикористовуючі установи, споживачі тепла. Розрахунок теплового навантаження (технологічне, опалення, вентиляція, гаряче водопостачання).

Тема 6. Схеми теплопостачання

Види СТ: відкрита, закрита, одно- і багаторубні, парова і водяна. Графіки регулювання і споживання. Параметри робочих тіл.

Змістовий модуль 2. Теплові схеми, розрахунок

Тема 7. Проектування котелень

Класифікація котелень. Потужності котелень. Принципова ТС парової котельні, закритої. Принципова ТС парової котельні з великою витратою мереженої води. Параметри.

Тема 8. Теплові схеми котелень

Принципова ТС водогрійної котельні. Принципова ТС змішаної промислово-опалювальної котельні. Обладнання. Параметри.

Тема 9. Розрахунок теплової схеми котельні

Параметри. Енергобаланс. Паровий баланс. Баланс сирої води. Втрати в котельні. Витрата мереженої води. Розрахунок обладнання: РК (РОУ), ПСВ, Р(С), МП, ОПВ, КБ, ОВ, Д живильної води і підживлення.

Тема 10. Проектування ТЕЦ

Вибір ТЕЦ. Комбіноване вироблення електричної і теплової енергій. Типи турбогенераторів для ТЕЦ. Принципова ТС ТЕЦ.

Тема 11. Розрахунок ТС ТЕЦ

Побудова $h-s$ діаграми. Вибір параметрів відборів. Обґрунтуван-

ня вибору вторинного перегріву, кількості регенеративних підігрівників. Розрахунок ТА, теплової схеми, витрати пара.

Тема 12. Енергобаланс ТЕЦ, ТЕП

Потужності, ККД ТЕЦ. Техніко-економічні показники – ТЕП.

Змістовий модуль 3. Основне і допоміжне обладнання

Тема 13. Основне обладнання

Парові водогрійні котли, номенклатура, класифікація, параметри, характеристика, принципові схеми. Сучасні жаротрубні котли з наддувом, з циклонним предтопком, з киплячим шаром. Вибір палива, витрата палива, заноси палива.

Тема 14. Система водопостачання

Водопостачання і водопідготовка котлів. Розрахунок водопідготовки. Продувка котлів. Деаерація. Технічне водопостачання. Насосні станції. Градирні, насоси, вибір насосів. Витрата води. Вимоги до сирої води, до котлової води, до пари, до мереженої води. Трубопроводи, маркування.

Тема 15. Теплообмінні апарати – ТА

Види ТА. Поверхневі, зміщуючи. Розрахунок ТА, тепловий і на міцність. Конструкції, номенклатура, вибір ТА.

Тема 16. Система паливопостачання

Спалювання твердого палива. Паливоподача, паливоприготування. Склади палива, збереження, розвантажувальні устрої, дробарка, транспортування. Естакади, вузли пересипки, бункери. Система палоприготовлення. Обладнання: шарові барабанні млини, сепаратори, циклони, млинний вентилятор, сушіння палива.

Тема 17. Газомазутопостачання

Газове господарство: ГРП, ГРУ, газопроводи, прилади контролю. Мазутне господарство, схеми, мазутосховище, підігрів мазуту, насоси перекачки. Підвід мазуту, газу до котлів. Техніка безпеки при експлуатації ГМ котлів.

Тема 18. Золошлаковідвід

Способи відводу золи, шлаку. Шлаковідвід: шлакові ванни, грануляція, дробарки, багерні насоси, струминні апарати. Утилізація тепла шлаку. Використання шлаку. Золовловлення: циклони, золовловлювачі батарейні, скрубери, електрофільтри. Тягодутьєве обладнання: вентилятори, димосмоки. Димові труби, розрахунок, вибір. Захист поверхонь нагріву від золи: обдувка, дробоочищення. Компресорні станції. Питання екології, охорона навколишнього середовища. Очищення від оксидів азоту, сірки. Утилізація бака відхідних газів.

Національний університет
та природокористування

1.3. Структура навчальної дисципліни

Назва змістових модулів і тем	Кількість годин									
	Денна форма					Заочна форма				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі			
		ЛК	ПР	ІНД	СРС		ЛК	ПР	ІНД	СРС
Змістовий модуль1. Види ТГУ, вибір										
Тема 1. Види ТГУ	6	2	2	-	2	5	-	-	-	5
Тема 2. Порядок проекту	6	2	2	-	2	5	-	-	-	5
Тема 3. Питання спорудж.	6	2	2	-	2	5	-	-	-	5
Тема 4. Компоновка котельні, ТЕЦ	8	2	2	2	2	7	-	-	2	5
Тема 5. Вибір ТГУ	8	2	2	2	2	11	2	2	2	5
Тема 6. Системи теплопостачання	8	2	2	2	2	7	-	-	2	5
Змістовий модуль 2. Теплові схеми, розрахунок										
Тема 7. Проектування котелень	8	2	2	2	2	7	-	-	2	5
Тема 8. ТС котельні	8	2	2	2	2	11	2	2	2	5
Тема 9. Розрахунок ТС котелень	10	2	2	4	2	13	2	2	4	5
Тема 10. Проектування ТЕЦ	6	2	2	-	2	5	-	-	-	5
Тема 11. Розрахунок ТС ТЕЦ	6	2	2	-	2	7	-	2	-	5
Тема 12. Енергобаланс	6	2	2	-	2	5	-	-	-	5
Змістовий модуль 3. Основне і допоміжне обладнання										
Тема 13. Основне обладнання	8	2	2	2	2	11	2	2	2	5
Тема 14. Системи водопостачання	8	2	2	2	2	7	-	-	2	5
Тема 15. Теплообмінні апарати - ТА	8	2	2	2	2	7	-	-	2	5
Тема 16. Система паливопостачання	8	2	2	2	2	7	-	-	2	5
Тема 17. Газомазутопостачання	6	2	2	-	2	5	-	-	-	5
Тема 18. Золошлаковідвід	8	2	2	2	2	7	-	-	2	5
Курсовий проект	24	-	-	-	24	24	-	-	-	24
Підготовка до іспиту	6	-	-	-	6	6	-	-	-	6
Всього годин	162	36	36	24	66	162	8	10	24	120

Національний університет водного господарства та природокористування

Національний університет
та природокористування

2. Методичні рекомендації до вивчення дисципліни

Змістовий модуль 1. ТГУ, вибір

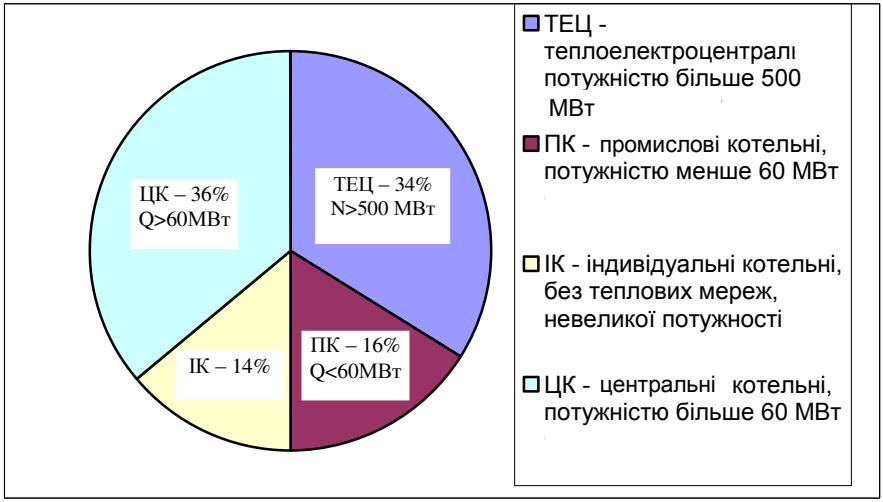
Тема 1. Види теплогенеруючих установ – ТГУ

1.1. ТГУ, ПЕР

Теплогенеруючі установки – ТГУ – обладнання для перетворення первинного енергоресурсу – ПЕР в корисні види енергії: теплову, механічну і електричну. Найбільш поширені ТГУ – теплові електричні станції і теплоелектроцентралі (ТЕС, ТЕЦ), центральні і індивідуальні котельні, а також атомні електростанції, сонячні, вітрові, гідроелектростанції, дизельні ЕС, які використовують слідуючи ПЕР: ядерну енергію, хімічну енергію палива, енергію води, сонячну, вітрову енергію, енергію земних надр, біоенергію. По запасах ПЕР 98,5% належать до термоядерної енергії – перспектива розвитку енергетики. Для вироблення теплової енергії сьогодні в основному використовується хімічна енергія палива – твердого, газоподібного і рідкого. Основний споживач – комунальне господарство, ТЕС і промисловість.

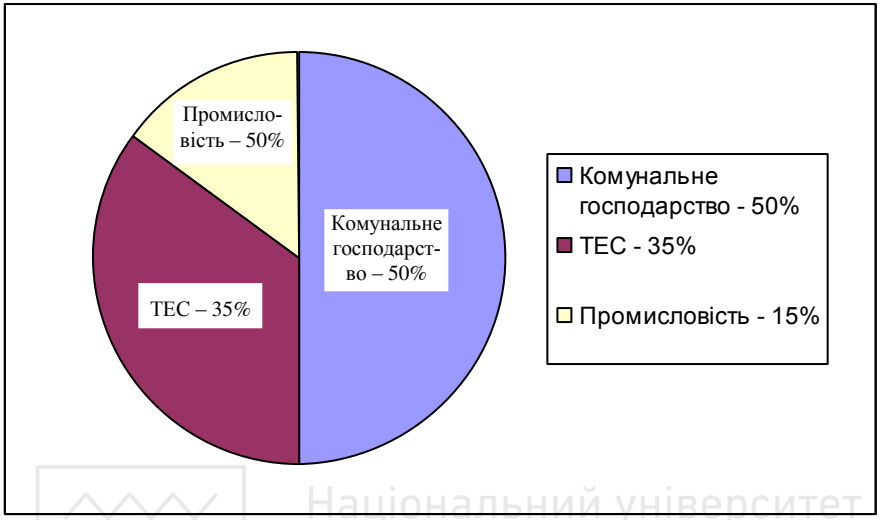
Тепло використовується для технологічних потреб, для опалення, вентиляції і гарячого водопостачання.

1.2. Структура покриття теплового навантаження



Національний університет
та природокористування

1.3. Використання хімічної енергії палива



Національний університет
водного господарства
та природокористування

1.4. Технологічні схеми

Позначення обладнання ТЕЦ - теплоелектроцентралі: (рис.1.1)

ПК – паровий котел;
Б – барабан котла;
е – екрани котла;
Ф – фестон котла;
П – пальники;
В – вентилятор;
Дс – димосмок;
Дт – димова труба;
ЗУ – золовловник;
БН – багерний насос;
ЦНТ – циліндр низького тиску;
ЦВТ – циліндр високого тиску;
Г – електрогенератор;
К – конденсатор;
ЦН – циркуляційний насос;
Д – деаератор;
ПП – пароперегрівник;
ВПП – вторинний пароперегрівник;
ВЕ – водяний економайзер;
ВП – повітряпідігрівник;
БСВ – бункер сирого вугілля;
Ц – циклон;
С – сепаратор;
БП – бункер пилу;
Дз – дозатор;
МВ – млинний вентилятор;
МП – мережевий підігрівник;
МН – мережевий насос;
ТС – тепловий споживач;
КН – конденсатний насос;
РП – регенеративний підігрівник;
ЖН – живильний насос

Національний університет
водного господарства
та природокористування

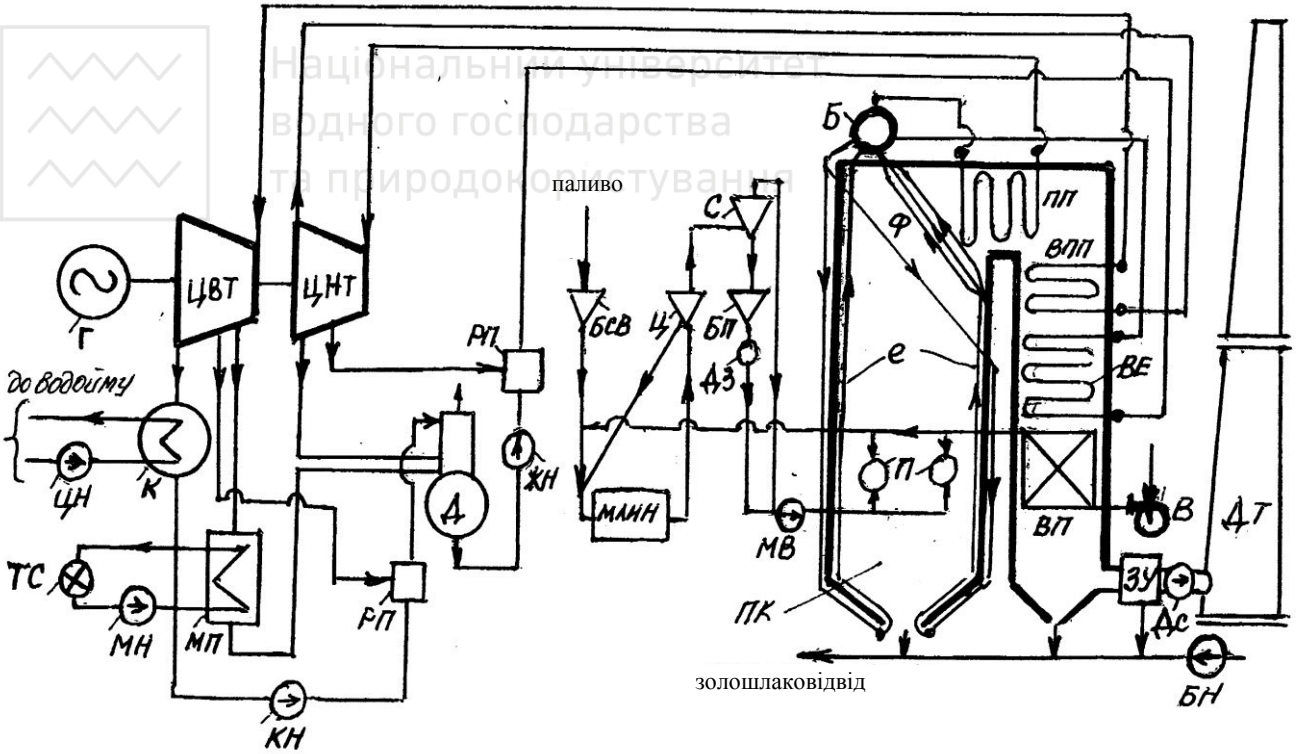


Рис. 1.1. Технологічна схема ТЕЦ

Національний університет
та природокористування

Позначення обладнання центральної котельні – ЦК (рис.1.2)

ПК – паровий котел;

Б – верхній і нижній барабани;

Е – екран топки;

Ф – фестон котла;

$КП_{1, 2}$ – конвективні пучки;

Кр – колосникова решітка;

ДРЗ – дробарка і закидач;

ВЕ – водяний економайзер;

ЖН – живильний насос;

ОВ – охолодник випару;

Др – дренаж;

КН – конденсатний насос;

КБ – конденсатний бак;

ХВО – хімводоочищення;

РК – редукційний клапан;

БН – багерний насос;

ЗУ – золовловник;

Дс – димосмок;

Дт – димова труба;

Р(с) – розширник (сепаратор) продувки;

Д – деаератор;

ПН – підживлюючий насос;

МП – мережевий підігрівник;

МН – мережевий насос;

ТС – тепловий споживач;

ОПВ – охолодник продувальної води.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

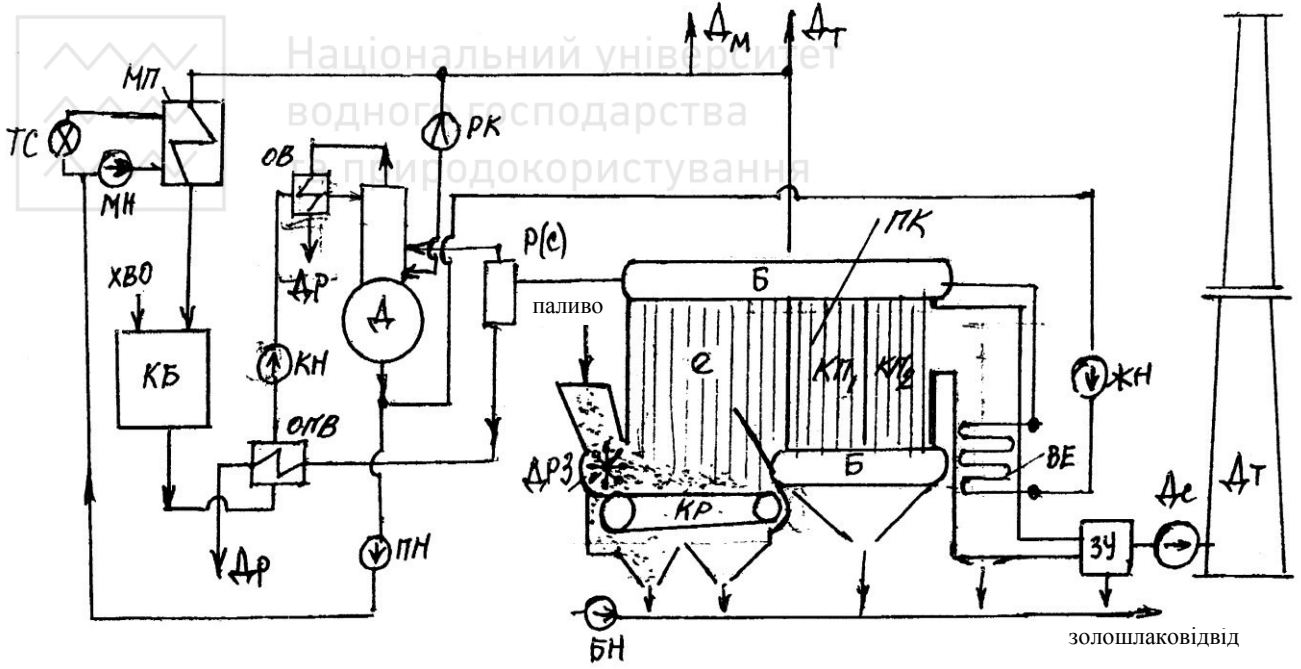


Рис. 1.2. Технологічна схема ЦК

Національний університет
та природокористування

Тема 2. Порядок проектування

2.1. Документація

Склад, обсяг, порядок проектування, погодження та затвердження проектної документації визначається Нормами по будівництву теплоенергетичних об'єктів України [1, 15, 22, 25, 37, 46]. Ці норми є обов'язкові для замовника (інвестора), для проектної організації (ТЕП), для підрядника будівельно-монтажної організації, які повинні мати відповідну ліцензію. Додатки до цих норм є в окремих документах, доповненнях, інструкціях.

Проектування здійснюється на підставі завдання яке затверджене адміністративними органами, архітектурними, фінансово-плановими органами, замовником.

2.2. Техніко-економічне обґрунтування – ТЕО (ескізний проект)

Національний університет
та природокористування

Склад комісії: замовник, проектувальник, адміністрація, архітектор, сейсмолог, геодезист, еколог, представники органів охорони навкілля, пам'ятників архітектури, санітарного нагляду, водного господарства, пожежної безпеки.

Обирається майданчик, орендується земля і вирішуються питання:

- назва об'єкта, його потужність:
- енергетичне, теплове навантаження мікрорайону;
- сучасне обладнання;
- паливо, витрата, доставка;
- водні ресурси; умови затоплення, осідання грунту;
- наявність доріг, транспорт, зв'язок;
- лінії ЛЕП;
- наявність робочої сили, житла;
- наявність залізобетонних, цементних заводів;
- наявність будівельно-монтажного обладнання;
- фінансування, кошторис;
- тривалість будівництва;
- підземні, наземні комунікації;
- техніки безпеки, охорони праці, екології.

Акт прийому майданчика, ТЕО підписують всі члени комісії. Розгляд ТЕО – 2 роки.

Національний університет
та природокористування

2.3. Технічний проект включає:

- розрахунок теплового навантаження, визначення потужності ТЕЦ, котельні;
- складання ТС-теплової схеми, системи теплопостачання, розрахунок ТС;
- вибір основного обладнання ПК, ВК (парові, водогрійні котли), розрахунок котлів, їх характеристика, техніко-екологічні показники;
- вибір і розрахунок допоміжного обладнання, систем паливоприготовлення, паливопостачання, пилоприготовлення, газо- і мазутопосточання, шлакозоловідділення і відводу, водопостачання і водопідготовки, тяги і дуття;
- автоматизації обладнання;
- розрахунок техніко-економічних показників;
- розроблення питань охорони праці, техніки безпеки, охорони навколишнього середовища, екології;
- штатний розпис;
- кошторис;
- питання монтажу, блочності обладнання, їх доставки;
- питання житлових умов.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Здійснюються всі розрахунки, креслення, планування – генплан, головний корпус, поперечний, повздовжній розрізи ТЕЦ (котельні), план, компановка обладнання.

Строк розробки технічного проекту 1 рік.

2.4. Робочий (монтажний) проект

Складається по вузлах для будівельно-монтажних робіт. Розраховуються будівельно-монтажні роботи, витрата матеріалів. Строк будівництва ТЕЦ, котельні - 2÷3 роки при радіусі транспортування теплової енергії до 3 км, якщо більше, строк будівництва збільшується на коефіцієнт k =1,1÷1,6.

Період будівництва складається з 3 етапів:

- підготовчий період – створення будівельно-монтажних площадок, споруд, кранів, житла, з/доріг, а/доріг, побудова підземних робіт, фундамента, комунікацій;
- основний період – монтаж обладнання; введення в дію блоків;

- завершальний період – демонтаж будбази, будівництва містечка, благоустрій:

При потужності: N=300 МВт, містечко потрібне на 700 чол.;
N=200 МВт потрібне 600 чол.;
N=100 МВт потрібне 400 чол.;
N=50 МВт потрібне 300 чол. при нормі 9 м^2/чол.

Проектування та будівництво ведеться по типовим проектам на базі модульної, блочної системи виготовлення типових вузлів, в залежності від потужності.

Парк будівельно-монтажних машин: екскаватори, крани, скрепери, грейдери, трактори, конвейєри, бетонозмішувальні механізми, землесосні снаряди, землерийні машини, автомобілі (різні), цементні, залізобетонні заводи і т.ін.

Монтаж ЛЕП (35 кВ) довжиною 20 км – 3 місяці (40 км – 5 м.; 100 км – 6 м.; 200 км – 8 м.). Підстанція з 2 трансформаторами – 2 місяці.

2.5. Кошторис

Загальні втрати $B = K + E$,

де K - капвкладення,

E - експлуатаційні витрати (паливо, зарплата, ремонт, амортизація, електроенергія, вода).

Таблиця 2-1

Кошторис основного обладнання - K

Котел	тис.грн.		
	паливо		
	Вугілля - B	Газ - $\tilde{A}$	Мазут - $\grave{I}$
ПК			
Е-25	2700	1900	2000
Е-35	4000	3000	3500
Е-50	6000	4000	5500
ВК			
Е-10	2200	1600	1800
Е-20	2800	1900	2300
Е-30	5800	3500	5000

Вартість палива:

Вугілля ~ 120 грн./т;
Мазут ~ 140 грн./т;
Газ ~ 1 ÷ 2 грн./м^3.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Таблиця 2-2

Кошторис систем ТГУ

Потужність МВт	тис.грн./МВт					
	Централізована			Децентралізована		
	B	*Ã*	*Ì*	*B*	*Ã*	*Ì*
2	-	-	-	165	92	106
12	-	-	-	116	63	83
18,9	-	-	-	94	57	74
23	-	-	-	83	50	63
35	-	-	-	78	46	56
63	46	36	46	63	40	51
126	59	36	50	-	-	-
189	66	36	46	-	-	-
252	69	38	49	-	-	-
315	71	40	51	-	-	-
420	78	42	54	-	-	-
630	83	45	59	-	-	-
755	85	47	60	-	-	-

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Таблиця 2-3

Кошторис теплової мережі

МВт	*l* м/МВт	тис.грн./МВт
2	400	33
12	490	99
120	580	122
240	600	132

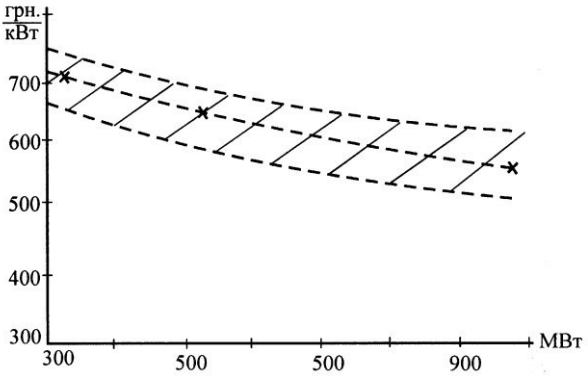


Рис.2.1. Кошторис будівництва

Національний університет
та природокористування

Тема 3. Питання спорудження об'єктів ТЕ

3.1. Уніфікація обладнання

Основні вимоги до обладнання теплоенергетики (ТЕ):

- уніфікація обладнання;
- блочність виготовлення вузлів обладнання, їх доставка залізничним транспортом на місце збирання. Металеві каркаси заповнюються уніфікованими панелями стандартного розміру, а також перекриття, ферми, стінні панелі з чіткою геометрією та уніфікованим кріпленням;
- стандартні типорозміри по модулю M в залежності від потужності змінюються пропорційно. Наприклад, крок колон: 6, 12, 18 M ;
- обладнання (вироби) мають стандартну марку.

Елементи споруд, які повинні бути уніфіковані з модульними розмірами: фундамент, колони, башмаки, стінні плити, панелі, перекриття, форми, кровельні покриття, балки, сходи, карнизи, вікна, двері, тунелі, канали, швелера, труби, консолі, елементи каркасу, арматура, будівельна сталь, глибина закладання фундаменту, марка бетону, металу:

- зварка автоматична, місцями – ручна;
- з'єднання болтове, стандартне, вузли кріплення;
- отвори в панелях з направляючими, болти, гайки, будівельно-монтажні пістолети, самозаклинюючі болти, ручні станки для різки з/б виробів та ін. інструменти.

Вимоги до корпусів: передбачається стандартне освітлення, теплоізоляція, шумоізоляція, гідроізоляція, вентиляція, кондиціонування, протипожежна безпека, естетика.

3.2. Елементи споруд

Фундамент – монолітний бетон, збірний залізобетон.

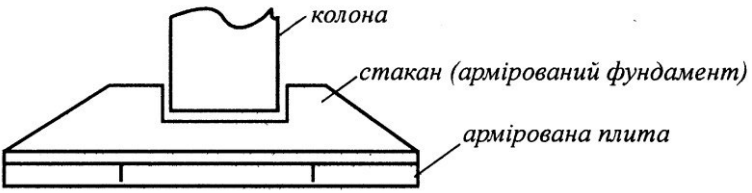


Рис.3.1. Фундамент

Глибина промерзання грунту 4-5 м. сваї $l = 10 \div 20$ м, діаметром 800 мм, глибина до 5 м.

Каркас головного корпусу складається з колон і ферм.

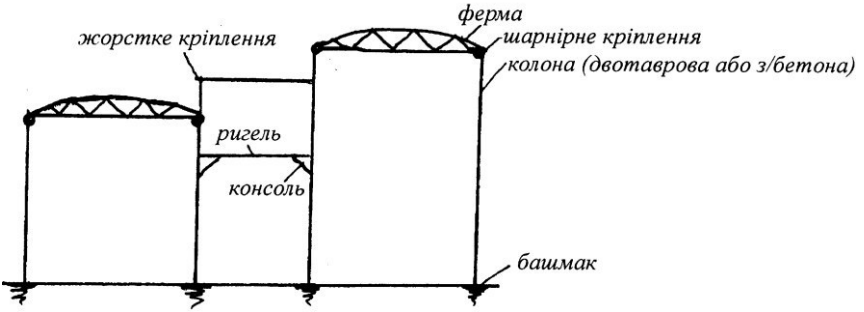


Рис.3.2. Поперечний розріз

Ферми забезпечують поперечну міцність.

Перекриття мають поперечне або поздовжнє кріплення. Через кожні $50 \div 200$ м встановлюються температурні компенсатори для погашення температурних розширень. Розпорки приєднуються до колон. Каркас сприймає навантаження обладнання, панелів, огороджень, ферм. Колони збираються по секціям. Ригеля встановлюються тільки для бункеро-деаераторного приміщення де немає ферм. В машинному і котельному залі перекриття не встановлюються.

Встановлення настінних залізобетонних плит та їх кріплення показано на рис.3.3.

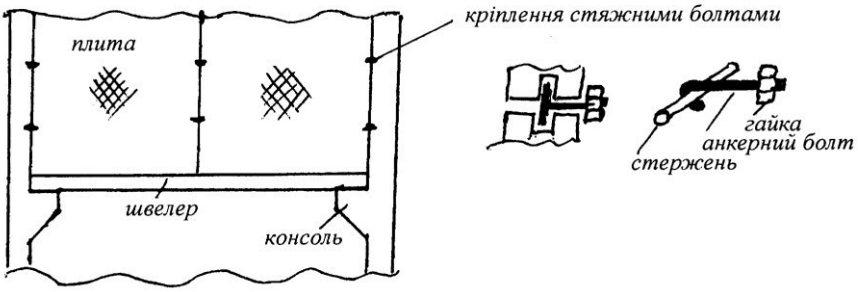


Рис.3.3. Кріплення плит

Каркас збирається зварюкою, а також болтами і металевими башмаками.

Шви між панелями герметизуються термоізоляцією – пороізол, бітум, резина, смола, азбест, антисептик, пенопласт, шлаковата, гермомастика. Металевий каркас встановлюють коли немає залізобетонного заводу, де велика сейсмічність, великі вітрові навантаження і для невеликих ТЕЦ, котелень.

Світлові панелі – подвійне армоване скло з гумовими профілями (рис.3.4).

Рис.3.4. Кріплення світлової панелі

Вікна, двері мають гнучке кріплення до панелів для компенсації температурної деформації.

Міжетажні перекриття – відповідальна частина монтажних робіт. Панелі повинні мати точні отвори під пальці консолів, під труби та інші комунікації. Розмір панелі $3\times12\times0,6$ м. Шви заливаються бетоном. Направляючі штирі в ригелях, консолях забезпечують міцне і точне кріплення. Марки панелей: ПМЖН – панель міжетажна з натяжною арматурою; ПНРС – панель натяжна з стержневою арматурою.

Кровельні перекриття працюють без навантаження і покриваються гідроізоляцією. Панелі перекриття в бункеро-деаераторному приміщенні несуть навантаження.

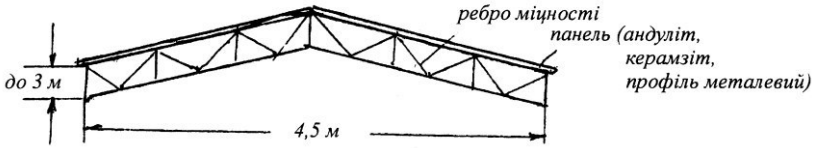


Рис.3.5. Ферма

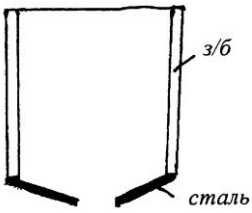


Рис. 3.6. БСВ з опаленням

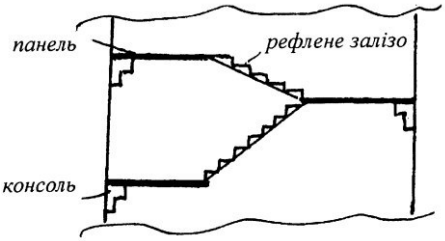


Рис. 3.7. Сходи

Національний університет водного господарства

Рис. 3.8. Непрохідний канал

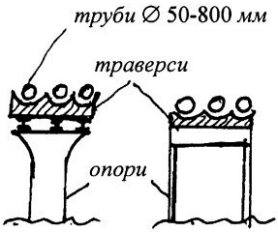


Рис. 3.9. Естакади

Тема 4. Компановка котелень, ТЕЦ

4.1. Вибір майданчика

Таблиця 4-1

Площа забудови

	Котельня – 30 МВт	ТЕЦ – 400 МВт
Площа F, га	2-3	25
Водосховище S м^2/кВт при глибині 4 м	10	10
Золошлаковідвал (кар'єри, рови на 3 роки або з/б завод), га	1	15
Селище, га	2	25
Будбаза, га	1	4
Паливне господарство, га	1	4-5

Лінії електропередач (ЛЕП) мають такі коридори:

35 кВт – 40 м

500 кВт – 500 м

Між ТЕЦ і селищем в 1 км розташована санітарна зона, де може бути побудоване пожежне депо, склади, гаражі, службові приміщення, охорона, торгівельні будинки, їдальні, лазні.

Грунт будмайданчика – скальна порода (граніт), пісковий без грунтових вод, зона не затоплена, сейсмічно безпечна. Необхідні: з/б завод, пісок, глина, цементний завод, водосховище (нижче майданчика на 3 м); артезіанська вода, з/дорога і а/дорога без уклонів, мостів. Па-

Національний університет
та природокористування
ливна база бажано на відстані $8 \div 12$ км.

4.2. Генплан. Головний корпус

ТЕЦ будуються на окремих майданчиках за межами міста. Центральні котельні в центрі теплових навантажень в окремих будівлях з санітарною зоною – 25 м. Малі котельні з котлами до 4 т/год можуть розміщуватись в прибудовах в закритих приміщеннях.

Головний корпус – центр розміщення котлів, турбогенераторів та допоміжного обладнання. Корпус складається з каркасу з колонами на відстані $L = 6 \div 12$ м, висотою $h = 7$ м для малих котелень, для центральних котелень $L = 18 \div 30$. Розміри по обладнанню, 2 вихода. Двері з відкриттям назовні. Корпус передбачає розширення з вільного торця. Обладнання розміщується з мінімальною довжиною трубопроводів з площадками для обслуговування, доступом для ремонту, експлуатації. Фронт однотипних котлів на одному рівні, в одну сторону з нормативним освітленням, мінімальна відстань між котлами 1 м. Запобіжні пристрої на відкритому повітрі. З другого торця корпуса котельні, ТЕЦ передбачаються приміщення: механічні майстерні, лабораторії водопідготовки, КВП і автоматизації, побутові приміщення, корпус адміністрації, щити управління. Генплан ТЕЦ зображений на рис.4.2. Відстань до складу вугілля – 30 м, до РУ – 60 м, до градірні – 25 м. Мінімальна відстань між будинками – 5 м. Комунікації наземні Т – і П-подібні. Підземні: дренажна, пожежна, водопостачальні комунікації, електрокабелі, каналізація, газопостачання в спецканалах поза дорогами. Навколо ТЕЦ окружна дорога шириною 6 м з твердим покриттям. Водосховище зі сторони РУ. Роза вітрів в сторону $Ä_{Ò}$. ГРП поза територією ТЕЦ.

Основні вимоги до головного корпусу: компактність, мінімальні комунікації, відстань між обладнанням забезпечує зручність експлуатації, її безпеку, необхідні екологічні умови, безшумність, нормативне освітлення, міні вібрація, наявність температурних компенсаторів, доступність обслуговування і ремонту, можливість розширення.

Деаераторні відділення, системи паливоприготування, звичайно розміщуються між котельним і турбінним цехами і нижче нульової відмітки.

Система золошлаковідводу, димова труба за котельним відділенням. Колони, каркас, перекриття, фундамент, огорожа – збірний залізобетон. Нижче нульової відмітки розміщуються: насоси, конденса-

тор, ШБМ, система золошлаковідведення. Площадки обслуговування розміщуються на відмітки 9.00. Промбункер, млинний вентилятор, дозатори, циклони, сепаратори розміщуються в бункеро-деаераторному відділенні на відмітці $\nabla 15 \div 25$ м (рис.4.1).

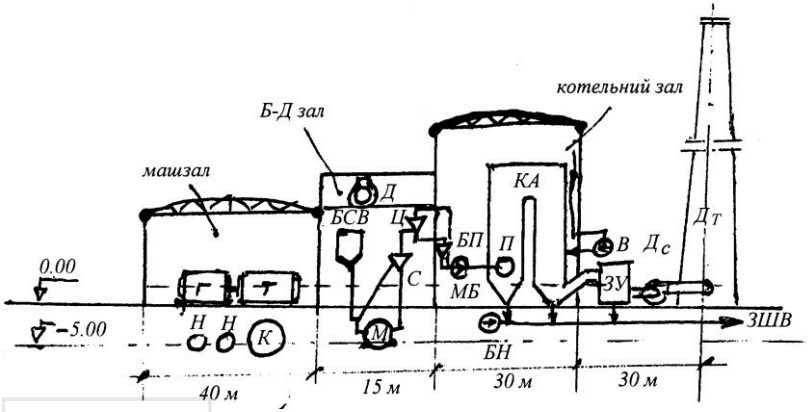


Рис. 4.1. Головний корпус ТЕЦ

План, поперечний, поздовжній розрізи ТЕЦ, котельні представлені на рис. 4.3, 4.5, 4.6. Компановка парогазової установки зображена на рис.4.4. Генеральний план представлений на рис. 4.2.

4.3. Електрична частина ТЕЦ

Розподіл пристрію РУ бувають відкриті і закриті. Обладнання: підвищувальні трансформатори (35, 110 кВ); трансформатори власних потреб; портали; масляні вимикачі; роз'єднувачі. Електричний струм передається ЛЕП до споживача, біля якого встановлюється РС-розподіляюча понижувальна станція з трансформаторами 220 В. Струм від генераторів подається по закритим токопроводам, а далі до ЛЕП – по гнучким проводам. Приміщення не опалюються, в той же час стіни не повинні промерзати. Під трансформаторами, баками трансформаторного мастила роблять фундамент з гравію, з дренажем. Трансформатори розміщуються на відстані 15 м від стін на рейках з протипожежними засобами.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

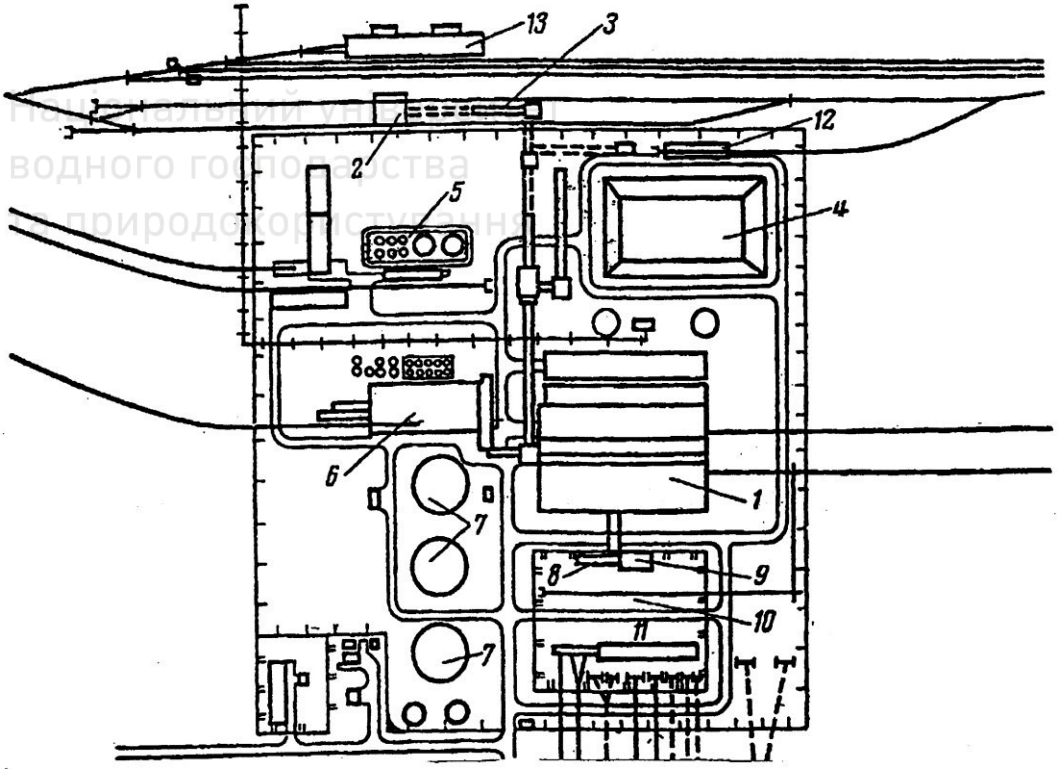


Рис. 4.2. Генплан ТЕЦ:
1.- головний корпус; 2 – вагонорозвантажувач; 3 – конвейєр; 4 – склад вугілля; 5 – мазутне господарство; 6 - допоміжний корпус; 7 – градірня; 9 – ЩУ; 10 – РУ-відкрите; 8,11 – РУ-закрите; 12 – розвантажувальна естакада; 13 – розморожувальний пристрій

Національний університет
водного господарства
та природокористування

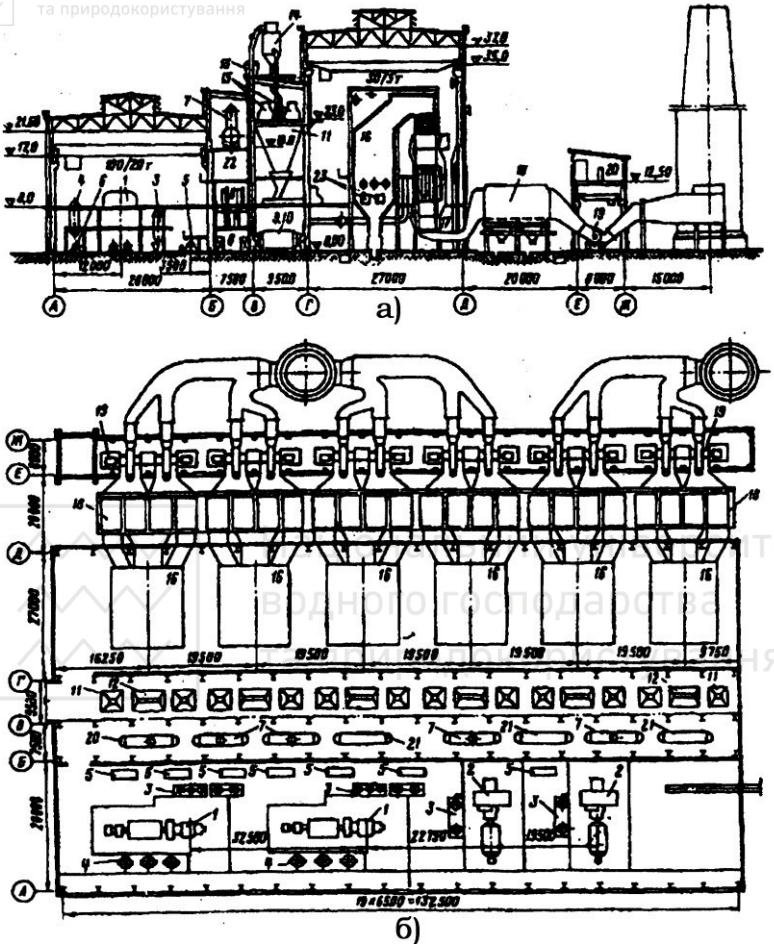


Рис. 4.3. Головний корпус ТЕЦ
а) поперечний розріз; б) план
1, 2 – турбогенератори; 3 – регенер, підігрівники; 4 – бойлер; 5 – живильний насос; 6 – мережевий насос; 7 – деаератор; 8 – РУ; 9 – млин; 10 – млинний вентилятор; 11 - бункер вугілля; 12 – проміжний бункер; 13 – сепаратор пилу; 14 – циклон; 15 - паливоподача; 16 – парогенератор; 17 – вентилятор; 18 – електрофільтр; 19 – димосмок; 20 – кран; 21 – бак живильної води; 22 – приміщення трубопроводів;
23 - пальники

Національний університет
водного господарства
та природокористування

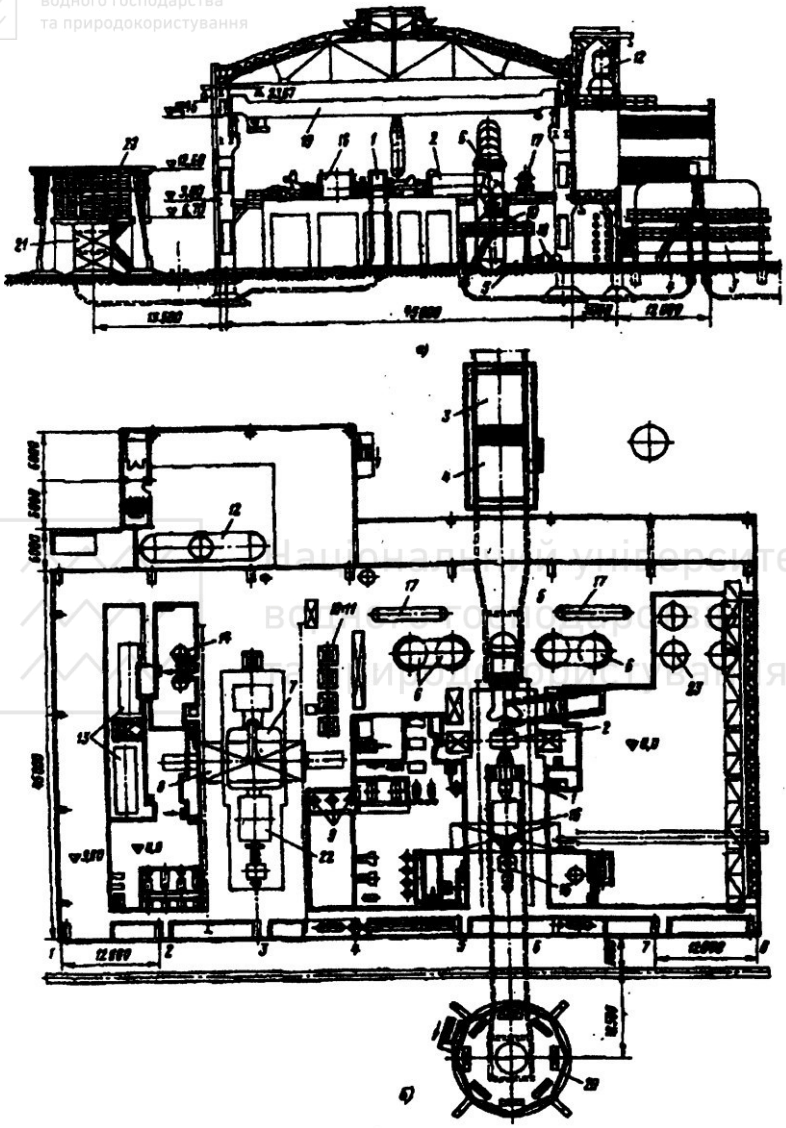


Рис. 4.4. Компоновка ПГУ:
А – поперечний розріз; б) – план.
1 – компресор; 2 – газова турбіна; 3, 4, 5 – економайзери; 6 - парогенератор; 7 – парова турбіна; 8 – конденсатор; 9 – коденсатний насос; 10, 11 – підігрівник високого тиску; 15 – пускова турбіна; 16 – генератор; 17 – сепаратор; 18 – циркуляційний насос; 19 – кран; 20 – камери всмоктування; 21 – шумопоглинач

Національний університет
водного господарства
та природокористування

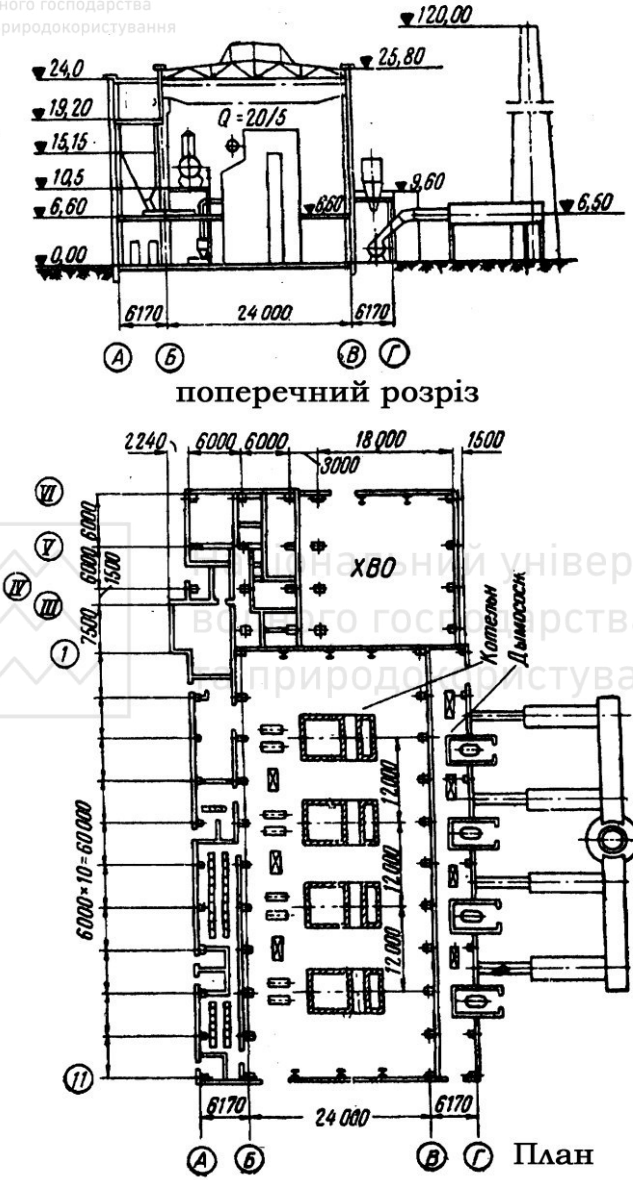


Рис. 4.5. Компановка парової котельні

Національний університет
водного господарства
та природокористування

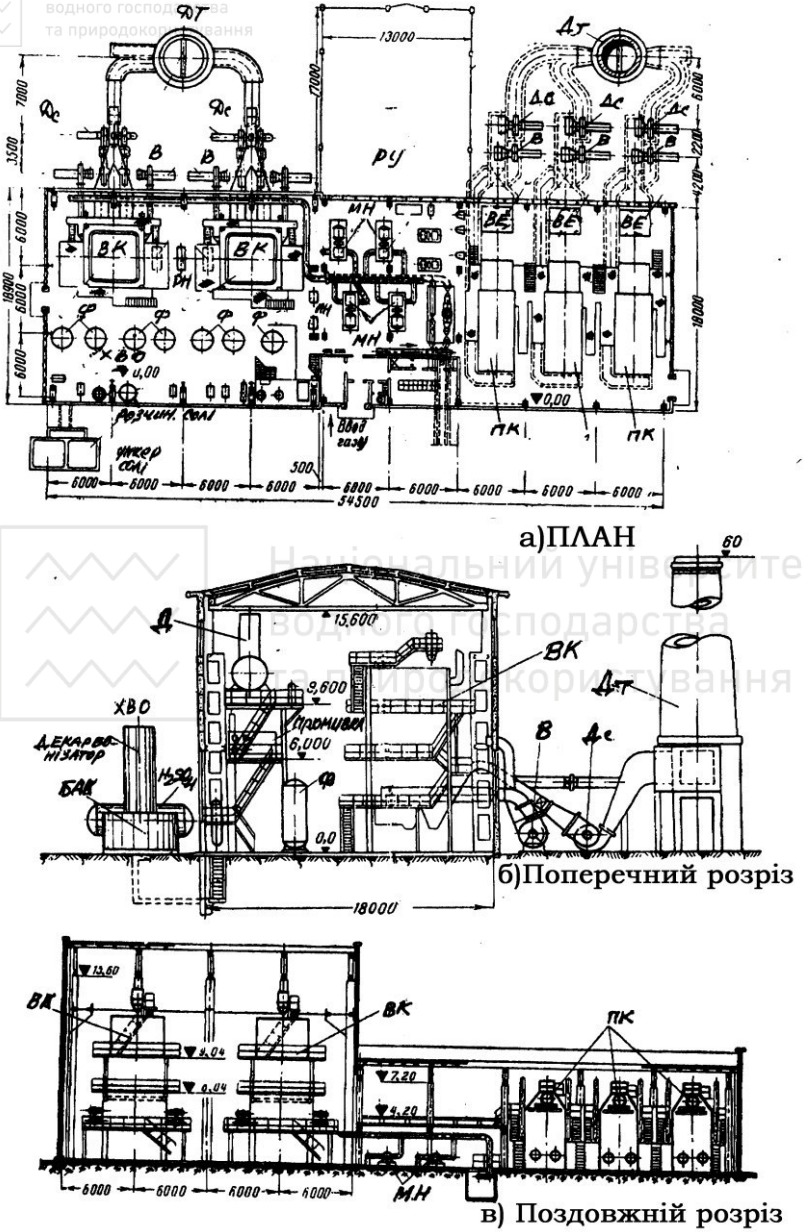


Рис. 4.5. Компановка котельні (змішаної)

Національний університет
та природокористування

Тема 5. Вибір системи ТГУ

5.1. Системи теплопостачання (СТ) та їх вибір

Розрізняють централізовану і децентралізовану системи теплопостачання. Централізована СТ-ТЕЦ, ЦК потужність 60 МВт, індивідуальна СТ – будинкові, квартальні, підприємства, яка характеризується відсутністю тепломережі і невеликої потужності. Для вибору СТ треба знати: кошторис - B тис.грн./МВт; співвідношення технологічного і загального навантаження – $\frac{Q_T}{Q_{ÇÀÃ}}$; густину теплового навантаження $q\ \frac{Ì\ Âò}{ãà}\left(\frac{Âò}{ì^2}\right)$, яка по Україні прийнята $0,7\frac{Ãêàë}{ñì\cdot ä\cdot ãà}$ = $= 0,814\ \frac{Ì\ Âò}{ãà} = 80\ \frac{Âò}{ì^2}$.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

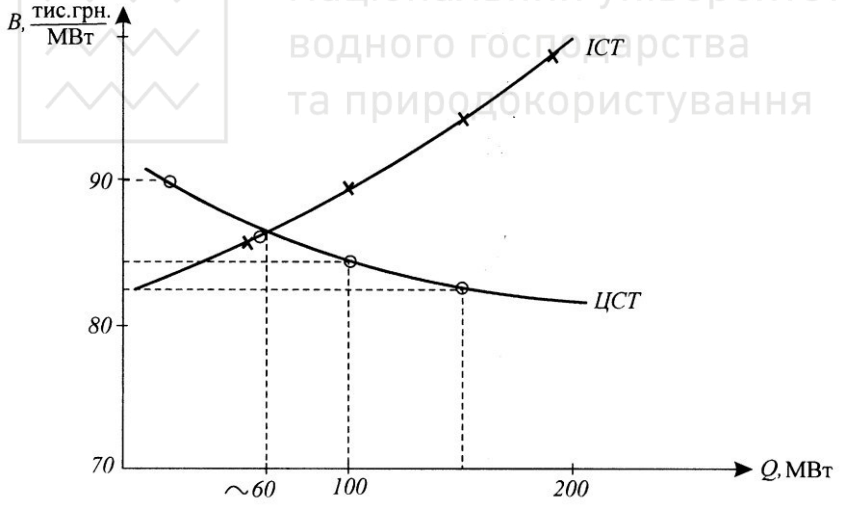


Рис. 5.1. Залежність кошторису від виду СТ

Як бачимо, до 60 МВт вигідніше будувати індивідуальні системи теплопостачання ІСТ. ТЕЦ будують при значних концентраціях теплового навантаження (більше 300 МВт) і при радіусі транспортування теплової енергії до 7 км. В окремих віддалених мікрорайонах будуються ЦК – центральні котельні, а також сьогодні промисловість ви-

Національний університет
пускає високо економічні індивідуальні ТГУ. Однак треба пам'ятати, що комбіноване вироблення електричної і теплової енергії завжди більш економічне, ніж роздільне. На ТЕЦ коефіцієнт використання тепла

$$K = \frac{Q_{ÒÅÏ} + Q_{ÅË}}{Q_{Ï\ ÀÊ}} \approx 70\,\%.$$

5.2. Тепловикористовуючі установки - ТВУ

Споживачи теплової енергії: – технологічний споживач – Q_T;

– опалення – Q_O;

– вентиляція – Q_B;

– гаряче водопостачання – $Q_{ÃB}$.

Загальні витрати тепла $Q_{ÇÀÃ} = Q_T + Q_O + Q_B + Q_{ÃB}$, МВт. Коли $Q_T / Q_{ÇÀÃ}$ більш 40% потрібне будувати централізовані системи теплопостачання – промислово-опалювальні центральні котельні, ТЕЦ. При великій густині теплового навантаження $q > 0,8 \frac{Ì\ Âò}{ãà}$ і значному електричному навантаженні також доцільно будувати ТЕЦ. При цьому зменшуються: питома витрата палива B, $\frac{êã(ì^3)}{Ì\ Âò}$, кошторис, забруднення навколишнього середовища. Однак сьогодні значно покращуються техніко-економічні показники (ТЕП) індивідуальних котелень, котлів малої продуктивності на газу, мазуті, їх ККД зростає до 98%. А також відсутність тепломереж значно розширює діапазон роздільного вироблення електричної і теплової енергії. Для індивідуального теплопостачання також використовуються економічні сонячні, вітрові та біоустановки. З другого боку, для ЦК створені високопродуктивні і економічні теплогенеруючі установки потужністю до 200 МВт на тверде паливо. Перехід від обладнання 30 МВт до 300 МВт зменшує витрату палива на 15 %. При потужності котельні більше 100 МВт доцільно спалювати паливо у камерних топках.

У місті при зростанні етажності будинків доцільно будувати ЦК. Оптимальний радіус теплотрас з гарячою водою до 3 км, а при більших краще транспортувати пару. Розташування ТГУ у центрі тепло-

Національний університет
вих навантажень зменшує тепловтрати до 10 %. Зростання етажності і квадратова форма будинків зменшує капвтрати до 50 % і витрати тепла.

5.3. Розрахунок теплового навантаження

Витрата електроенергії на 1 людину ~ 100 Вт. З врахуванням чисельності населення і потреб сьогоднішнього виробництва України вироблення електроенергії повинно бути на рівні ~ 250 млрд.кВт-год.

Витрата теплової енергії сьогодні по Україні $\sim 0,7$ $\frac{\text{ê Âò}}{\div \text{î ë.}}$, а потрібно $\sim 1,5$ $\frac{\text{ê Âò}}{\div \text{î ë.}}$.

Витрати тепла та опалення – Q_o

$$Q_o = 1,25q \cdot F \cdot 10^{-6}, \text{ МВт}$$

Національний університет
водного господарства
та природокористування

де q – питома витрата тепла, по Україні при $t_{çî â} = -20^\circ C$

$q = 150$ $\frac{\text{Âò}}{\text{ì}^2}$;

F - житлова площа, ì^2 (норма - $5 \div 10$ ì^2/людину).

При зміні зовнішньої температури на $15^\circ C$ тепло навантаження змінюється на 10%.

При відомому зовнішньому об'єму будівель витрата тепла

$$Q_o = 1,17 \cdot q_o \cdot V_{çî âí} \cdot (t_{âí} - t_{çî âí}) \cdot 10^{-6}, \text{ МВт}$$

де q_o – питома витрата тепла, $q_o \approx 0,4 \div 0,9$ $\frac{\text{Âò}}{\text{ì}^3 \cdot \text{ãð}}$;

$V_{çî âí}$ – зовнішній об'єм будівель, ì^3;

$t_{âí}$, $t_{çî âí}$ – внутрішня і зовнішня температура, $^\circ \tilde{N}$.

Річні витрати $Q_o^p = Q_o \cdot n \cdot 24 \cdot 3600$ МДж, де $n = 190$ діб.

Витрата тепла на вентиляцію $Q_â$

$$Q_â = V_{çî âí} \cdot q_â \cdot (t_{âí} - t_{çî âí}) \cdot 10^{-6} \text{ МВт},$$

Національний університет водного господарства та природокористування

де $q_{\hat{a}}$ – питома витрата тепла на вентиляцію в залежності від характеру виробництва $q_{\hat{a}} \approx 0,1 \div 1,2 \dfrac{\text{Âò}}{\text{ì}^{3} \cdot \text{ãð}}$.

Річні витрати $Q_{\hat{a}}^{p} = Q_{\hat{a}} \cdot \chi \cdot n \cdot 3600$ МДж, де χ – кількість год. роботи вентиляції за добу, $\chi = 16$ год/добу.

Наближено $Q_{\hat{a}} \approx 0,08 Q_{\hat{\imath}}$ МВт.

Витрата тепла на гаряче водопостачання – $Q_{\tilde{A}\hat{A}}$.

$Q_{\tilde{A}\hat{A}} = q_{\tilde{A}\hat{A}} \cdot N \cdot 10^{-6}$ МВт,

де $q_{\tilde{A}\hat{A}}$ – норма витрати тепла на людину при гарячому водопостачанню, $q_{\tilde{A}\hat{A}} \approx 300 \div 400$ Вт/люд.;

N – чисельність населення.

Наближено $Q_{\tilde{A}\hat{A}} \approx 0,4 Q_{\hat{\imath}}$ МВт.

Річні витрати $Q_{\tilde{A}\hat{A}}^{p} = Q_{\tilde{A}\hat{A}} \cdot n \cdot 24 \cdot 3600$ МДж.

Q_T – технологічне навантаження (задається), МВт.

Розрахунок $Q_T = \ddot{A}_{\grave{O}}({}^{3}_{\ddot{\imath}} - {}^{3}_{\hat{e}}) - \grave{I}_{\hat{e}}({}^{3}_{\hat{e}} - {}^{3}_{\tilde{o}\hat{a}}) \cdot 10^{-3}$, МВт – для пари.

Для води $Q_T = \grave{I}_{\tilde{A}\hat{A}}({}^{3}_{\tilde{A}\hat{A}} - {}^{3}_{\tilde{o}\hat{a}}) - \grave{I}_{\tilde{o}\hat{a}}({}^{3}_{\text{ç}\hat{a}} - {}^{3}_{\tilde{o}\hat{a}}) \cdot 10^{-3}$, МВт.

Річні витрати $Q_{\grave{O}}^{p} = Q_{\grave{O}} \cdot \ddot{\imath}_{\grave{O}} \cdot 24 \cdot 3600$, МДж.

Тема 6. Схеми теплопостачання – СТ

6.1. Види СТ

В залежності від виду робочого тіла СТ бувають водяні, парові. Якщо мережева вода, яка нагрівається у ВК витрачається як гаряча вода для споживача, то така СТ буде відкрита, в іншому випадку – закрита. Також СТ бувають одно-, дво- і більше трубні. Однотрубна СТ застосовується, коли використовується споживачем вся гаряча вода. Найбільш поширена двотрубна СТ (пряма і зворотня лінії). Додатково третя лінія встановлюється, коли є споживач I категорії (лікарня, безперервне виробництво).

Національний університет водного господарства та природокористування

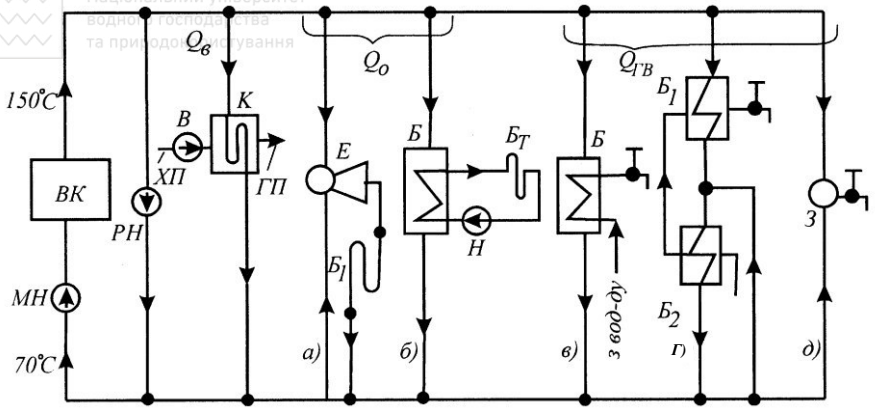


Рис. 6.1. Двотрубна водяна СТ

ВК – водогрійний котел; МН – мережевий насос; РН – рециркуляційний насос; В – вентилятор; К – калорифер; ХП, ГП – холодне і гаряче повітря; Е – елеватор; $Б_Т$ - батарея опалення; Б – бойлер; Н – насос системи опалення; $Б_1$, $Б_2$ – піковий і основний бойлери; З – змішувач (елеватор).

а – відкрита система опалення; б – закрита система опалення; в, г – закриті системи гарячого водопостачання; д – відкрита система гарячого водопостачання

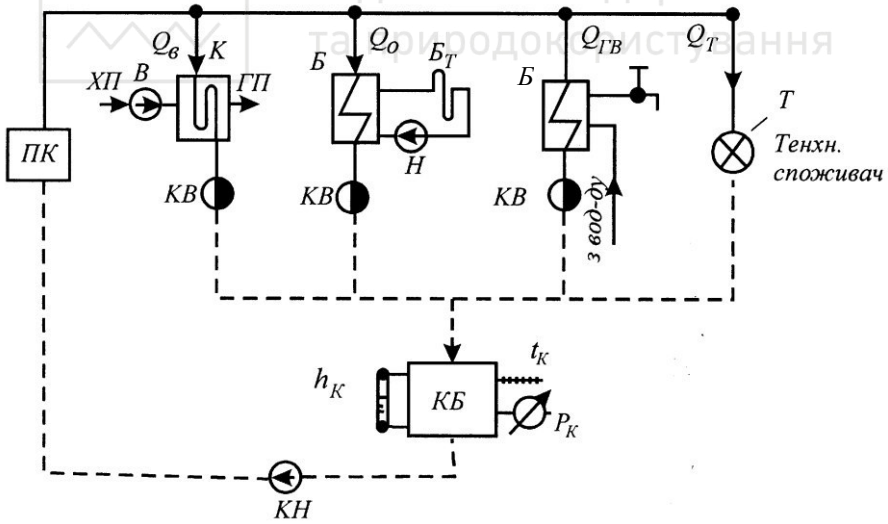


Рис. 6.2. Двотрубна парова СТ

ПК – паровий котел; КВ – конденсатовідвідник; Т – технологічний споживач пари; КБ – конденсатний бак, де вимірюється рівень конденсату - $h_К$, тиск $P_К$ і температура $t_К$; КН – конденсатний насос

Конденсатний бак знаходиться під надлишковим тиском $P_K \approx 0,05$ бар, щоб попередити підсмоктування повітря з атмосфери до конденсату.

Коли параметри технологічного споживача відрізняються для кожного з них встановлюються РОУ – редукційно-охолоджувальний пристрій, де регулюються P_n і t_n, або РК – редукційний клапан для регулювання тільки тиску P_n. Для відповідального теплового споживача може бути проведений окремий парапровід.

Найбільші споживачі: хімічна промисловість, машинобудування, нафтопереробка, харчова промисловість.

Об'єм води у СТ

Q	50	200	400 МВт
V_{MB}	80	15	21 м^3/МВт

Об'єм води в елементах СТ V_{MB} м^3/МВт табл.6-1.

Таблиця 6-1

$t_{ÃÂ}$, $^\circ C$	95	130	150
калорифер	8,5	6,5	5,5
радіатор (Бт)	3,1	24	22
оребр. труби	14	13	9
гладкі труби	37	27	24

В інших випадках приймаємо: комунальні СТ – 30 м^3/МВт;
промислові СТ – 8 м^3/МВт.

6.2. Графіки регулювання і споживання

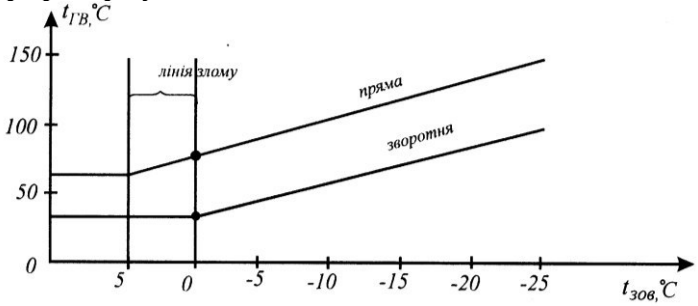


Рис. 6.3. Графік регулювання $t_{ÃÂ}$

Національний університет водного господарства та природокористування

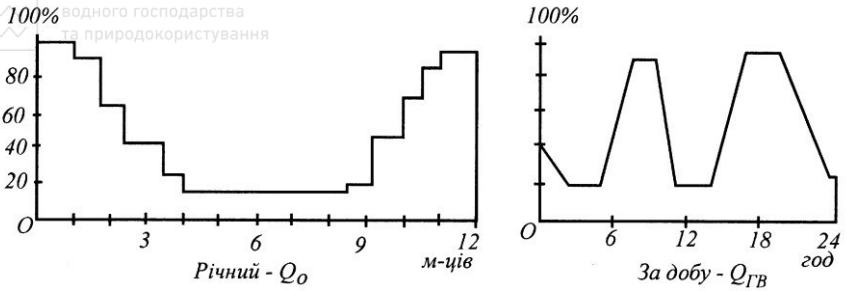


Рис. 6.4. Графіки споживання теплової енергії

Змістовий модуль 2. Теплові схеми, розрахунок

Тема 7. Проектування котелень

7.1. Класифікація котелень

Котельні бувають: - парові, водяні, змішані (в залежності від робочого тіла);
- низького, середнього, високого тиску;
- з відкритої і закритої СТ;
- на газі, мазуті, вугіллі;
- малої, середньої і великої продуктивності (відповідно до 20 МВт і більш 100 МВт);
- опалювальні, промислові і промислово-опалювальні;
- центральні, індивідуальні...

7.2. Теплові схеми котелень – ТС

Принципова теплова схема – графічне зображення основного і допоміжного обладнання пов'язаного комунікаціями (трубопроводами).

У повних ТС трубопроводи зображені з запірною і регулювальною арматурою. Робоча (монтажна) ТС показується по вузлах (в аксонометрії) з вказівкою діаметрів труб, кріпленням, температурними компенсаторами і по рівню розміщення. ТС передбачає встановлення стандартного, блочного, уніфікованого обладнання зі стандартним для теплоенергетики позначенням.

У процесі складання ТС вирішуються такі питання:
- підбираються по навантаженню ПК, ВК робочі тіла, їх парамет-

Національний університет
водного господарства
та природокористування

ри;
- підбирається допоміжне обладнання: Д; ОВ; НП; РОУ (РК); Р (С); ПСВ; ХВО; ОПВ; КБ; ОК; КВ; Н та інші. ТА для утилізації вторинного тепла;
- раціонального розташування комунікацій;
- зменшення теплових втрат, втрат конденсату.

Визначається загальна потужність котельні, її призначення, вид основного і резервного палива, передбачається резерв.

7.3. Потужність котельні

Загальне теплове навантаження $Q = Q_T + Q_O + Q_B + Q_{ÃÂ}$ (резерв на потужність $K = 1,02 \div 1,4$). $Q_{ÊÎ} = \hat{E} \cdot Q$, МВт. Явний резерв передбачає встановлення додаткового котла. Кількість котлів:

- парових – ПК $n_{Ï Ê} = \dfrac{Q_T}{Q_{Ï Ê}}$,
- водогрійних – ВК $n_{BÊ} = \dfrac{Q_{ÃÂ}}{Q_{ÂÊ}}$.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Найменша кількість котлів – 2, які повинні забезпечити повне навантаження котельні на випадок аварійного, поточного капремонту і промивки одного з них.

Оптимальна кількість котлів для змішаної котельні з ПК і ВК: 2 – 3; 3 – 4; 5 – 7.

ТС повинна бути раціонально спрощеною, з мінімальними втратами. Треба менше використовувати РОУ (РК), які дають великі наявні втрати енергії. Треба обирати сучасні, більш потужні і економічні котли з меншими експлуатаційними витратами і з повною автоматизацією. Котли обираються в залежності від необхідного теплоносія (пара, гаряча вода) та їх параметрів.

Котли в залежності від продуктивності позначаються наприклад, Е-10, де $D = 10$ г/год (2,64 МВт). Стандартна продуктивність: 2,5; 4; 6,5; 10; 16; 25; 35; 40; 75 і більша відповідна потужність: 0,6; 1,6; 2,6; 4,3; 7; 10; 15; 28; 38; 47; 63. Для котелень тиск звичайно $P = 14$ бар, насичена пара, або кипляча вода при $t_k = 195^\circ$C.

Національний університет
та природокористування

7.4. Принципова ТС парової котельні (рис.7.1)

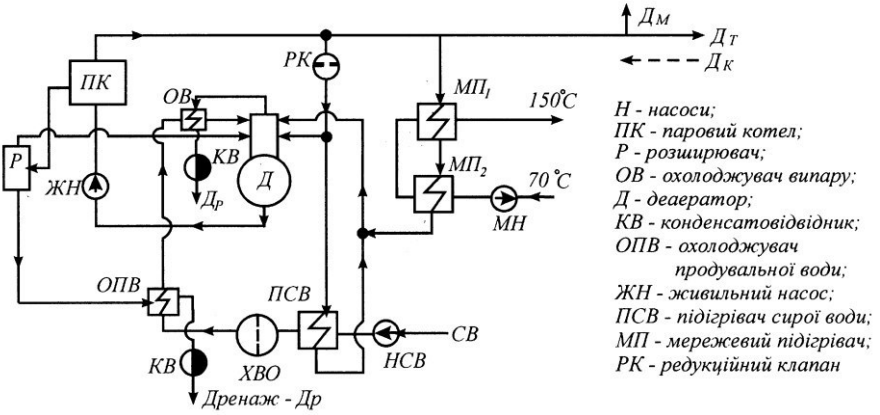


Рис. 7.1. Принципова ТС парової котельні

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Утилізація вторинного тепла здійснюється у ОВ, КВ, СПВ, Р. В конденсатовідвіднику КВ – здійснюється утилізація тепла і конденсату. Мережеві підігрівники – піковий і основний. В розширнику (сепаратору) безперервної продувки випар відводиться в деаератор, а брудна продувальна вода заохолоджується в ОПВ сирою водою після хімводоочищення ХВО. Сира вода СВ подається насосом НСВ в підігрівник ПСВ для забезпечення нормальної роботи фільтрів ХВО. Підігрів здійснюється на $30^\circ C$. Пара після ПК подається через редуктор на Д, на виробництво $Д_Т$, потім на мазутне господарство $Д_М$ і на МП для підігріву мереженої води. Стандартні параметри мережевої води $t_{пр} = 150^\circ C$, зворотня $t_{çâ} = 70^\circ C$. Конденсат з виробництва повертається в кількості $Ä_{Ê}$. Якщо значні втрати мереженої води (відкрити СТ), то встановлюється додатковий деаератор підживлення води $Ä_{ÏÂ}$ з насосом, а також охолодник деаераторної води ОДВ, конденсатний бак КБ, насос перекачки – НП. Для збору конденсату використовують конденсатний бак КБ і конденсатний насос КН для подачі зібраного конденсату в деаератор Д для деаерації – очищення від розчинених у воді газів $ÑÎ_2$, $Î_2$. При необхідності встановлюються дві ступені ХВО. При ремонті МП (бойлерної) гарячу воду в мережеву лінію мо-

жна подавати після ОДВ, або встановлюється додатковий підігрівник хімічно очищеної води ПХОВ.

7.5. Принципова ТС парової котельні з великою витратою мережевої води (рис.7.8)

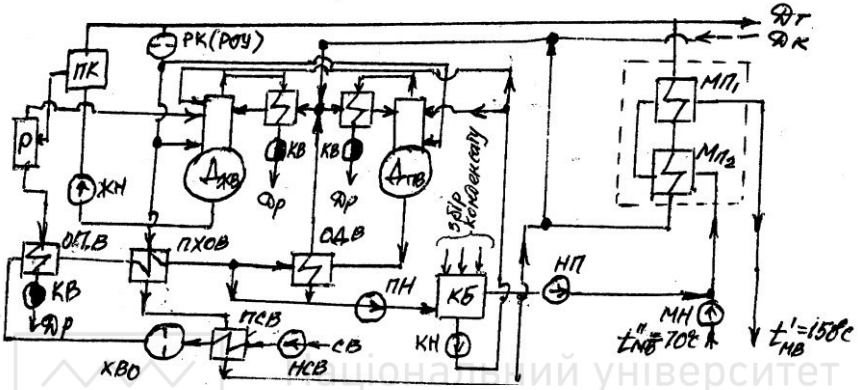


Рис. 7.2. Принципова ТС парової котельні з великою витратою МВ

Тема 8. Теплові схеми котелень (водогрійних)

8.1. Принципова ТС водогрійної котельні

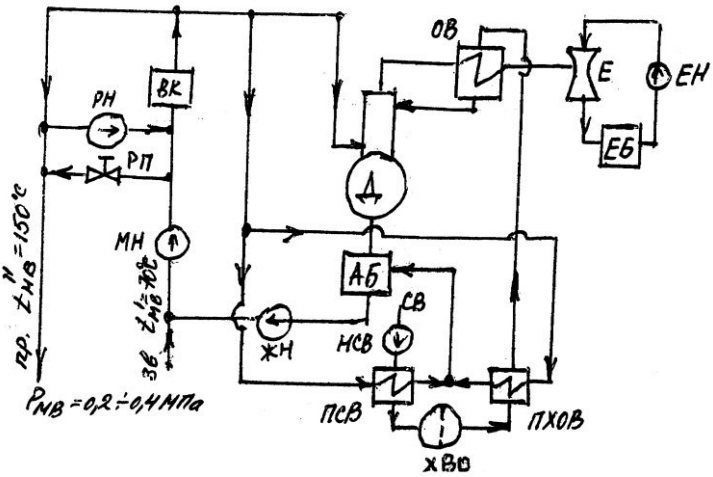


Рис. 8.1. Принципова ТС водогрійної котельні
ВК – водогрійний котел;

РН – рециркуляційний насос для підігріву зворотної води при необхідності до температури більше температури точки роси – t_p для запобігання конденсації пари в продуктах згорання на поверхнях нагріву;

РП – регулятор перепуску для регулювання температури мереженої води $t''_{MB} = 150^\circ C$ - зимою і $t''_{MB} = 95^\circ C$ - влітку;

АБ – акумуляторний бак для поповнення МВ в системі;

Д – вакуумний деаератор $P_{â} = 0,03$ Мпа. Деаерація відбувається гарячою водою з ВК. Відсмоктування газів з деаератору після дегазації здійснюється ежатором Е у комплекті з ежекторним насосом ЕН і ежекторним баком ЕБ у якому знаходиться вода для ежектора. Наявність ежекторного насосу веде до додаткових витрат енергії – основний недолік вакуумних деаераторів

Для підігріву сирої води встановлені підігрівники сирої води ПСВ і підігрівники хімічно очищеної води ПХОВ.

8.2. Принципова ТС змішаної котельні

При великому технологічному і опалювальному навантаженні будуються змішані котельні з ПК і ВК. Парові котельні забезпечують парою технологічного споживача, а також пара подається на $Д_{ЖВ}$ і $Д_{ПВ}$ – деаератори живильної і підживлюючої води і на МП (мережеві підігрівники) – основний і піковий. Паралельно (рис.8.1), або послідовно (рис.8.2) під'єднуються водогрійні котли – ВК.

Парові котли під'єднуються до загального колектора, з якого відбувається відбір пари на виробництво - $Д_T$, а повертається конденсат – $Д_K$. Наближені втрати: в котельні - 2÷4 % ($Д_{ВИТР}$); витрата на мазутне господарство $Д_{МАЗ}$ = 0,5÷1 % і на власні потреби $Д_{ВП}$ = 3÷5 %. Параметри пари:

тиск $P_n = 14$ бар;

температура $t_H = 195^\circ C$;

ентальпія $h''_{14} = 2788$ кДж/кг;

котлової води $h'_{14} = 830$ кДж/кг.

Витрата котлової води на продувку $Д_{Пр}$=*2÷6 %* від $Д_K$.

Тиск в розширювачі (сепараторі) безперервної продувки:

$P_C = 1,7$ бар, $t_H = 115^\circ C$, $h''_{1,7} = 2700$ кДж/кг.

Національний університет водного господарства та природокористування

Живильна вода: $t_{ÆÂ} = 104^{\circ}C$.

Деаератори атмосферного типу $Д_{ЖВ}$ і $Д_{ПВ}$ при $P = 1,2$ бар. Пара на деаератори може подаватись з тиском $2 \div 10$ бар. Параметри пари після РОУ (РК) $P = 10$ бар, $t_H = 180^{\circ}C$, $h''_{10} = 2777$ кДж/кг (приймаємо).

ПСВ підігріває СВ до $30^{\circ}C$ парою з магістралі при $P = 14$ бар. В ОПВ поступає продувальна вода при $P = 1,7$ і $h'_{1,9} = 487$ кДж/кг. Підігрів СВ може здійснюватись киплячою водою після МП при $h'_{14} = 830$ кДж/кг. Підживлююча вода при $t_{ÏÂ} = 104^{\circ}C$ також може заохолоджуватись в ОДВ (охолодник деаераторної води) до $t_{MÂ} = 70^{\circ}C$ при нагріві ХОВ (хімічно очищеної води) після ОПВ перед подачею в деаератор.

В конденсатний бак збирається конденсат з ПСВ, з виробництва $Д_К$, з мережевих підігрівників, з власних потреб котельні. КБ знаходиться під невеликим надлишковим тиском $P_{KÁ} = 0,05$ бар для попередження присмоктування повітря з атмосфери, тому встановлюються контрольно-вимірювальні прилади і запобіжні клапани. Забруднені конденсат і випар викидаються через конденсатовідвідник в колодязь, або через розширник дренажів – $P_{Др}$.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

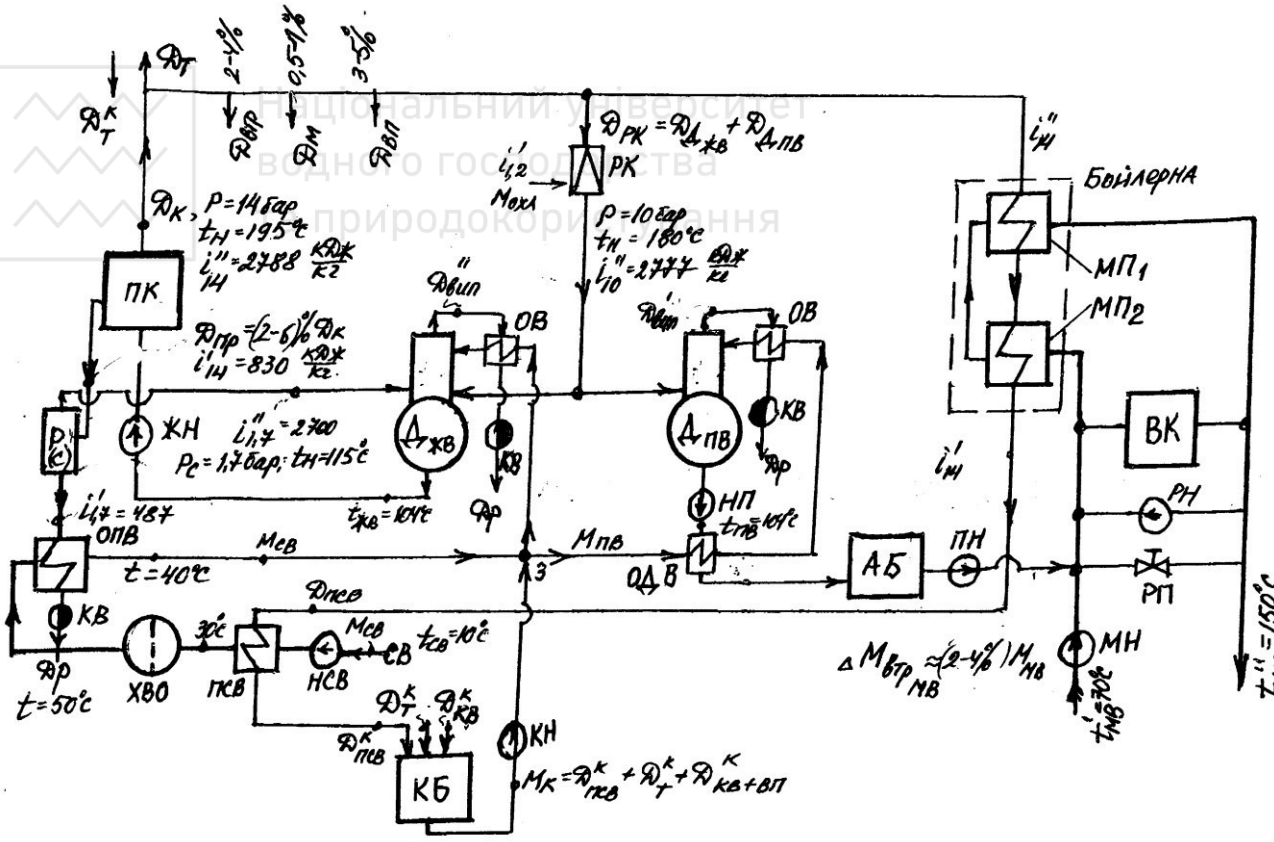


Рис. 8.2. Теплова схема промислово-опалювальної котельні

Позначення:

ПК, ВК – паровий і водогрійний котли; Р(С) – розширник (сепаратор) безперервної продувки; ОПВ – охолодник продувальної води; ПСВ – підігрівач сирої води; ХВО – хімводоочистка; КБ - конденсатний бак; $Д_{КВ}$, $Д_{ПВ}$ – деаератори живильної води, підживлюючої води (атмосферні, або під тиском), ДВ – вакуумний деаератор; ОВ - охолодник: випару; $МП_1$, $МП_2$ – мережеві підігрівники основний (базовий) і піковий; АБ – акумуляторний бак; РОУ (РК) – редукційно-охолоджувальна установка, або редукційний клапан; КВ - конденсатовідвідник; ОК – охолодник конденсату; ЖН – живильний насос; КН – конденсатний насос; ПН – підживлюючий насос; РН - рециркуляційний насос; МН – мережевий насос; НСВ – насос сирої води; НП - насос перекачки; РП – регулятор перепуску; ОДВ – охолодник деаерованої води.

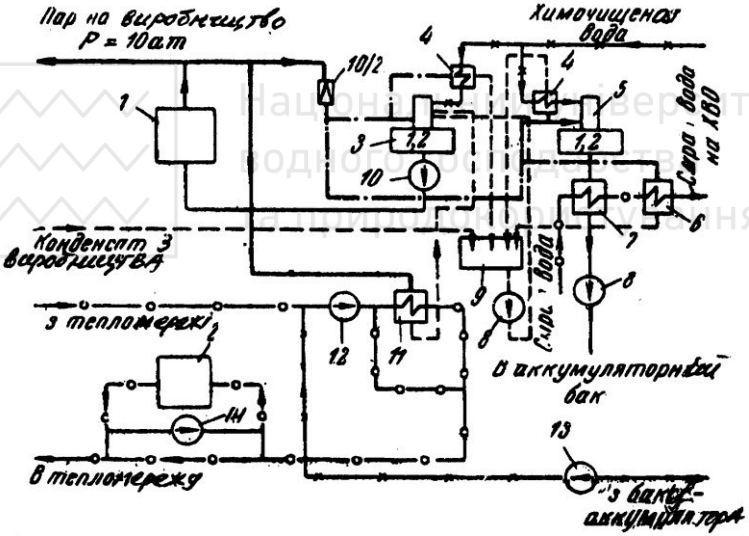
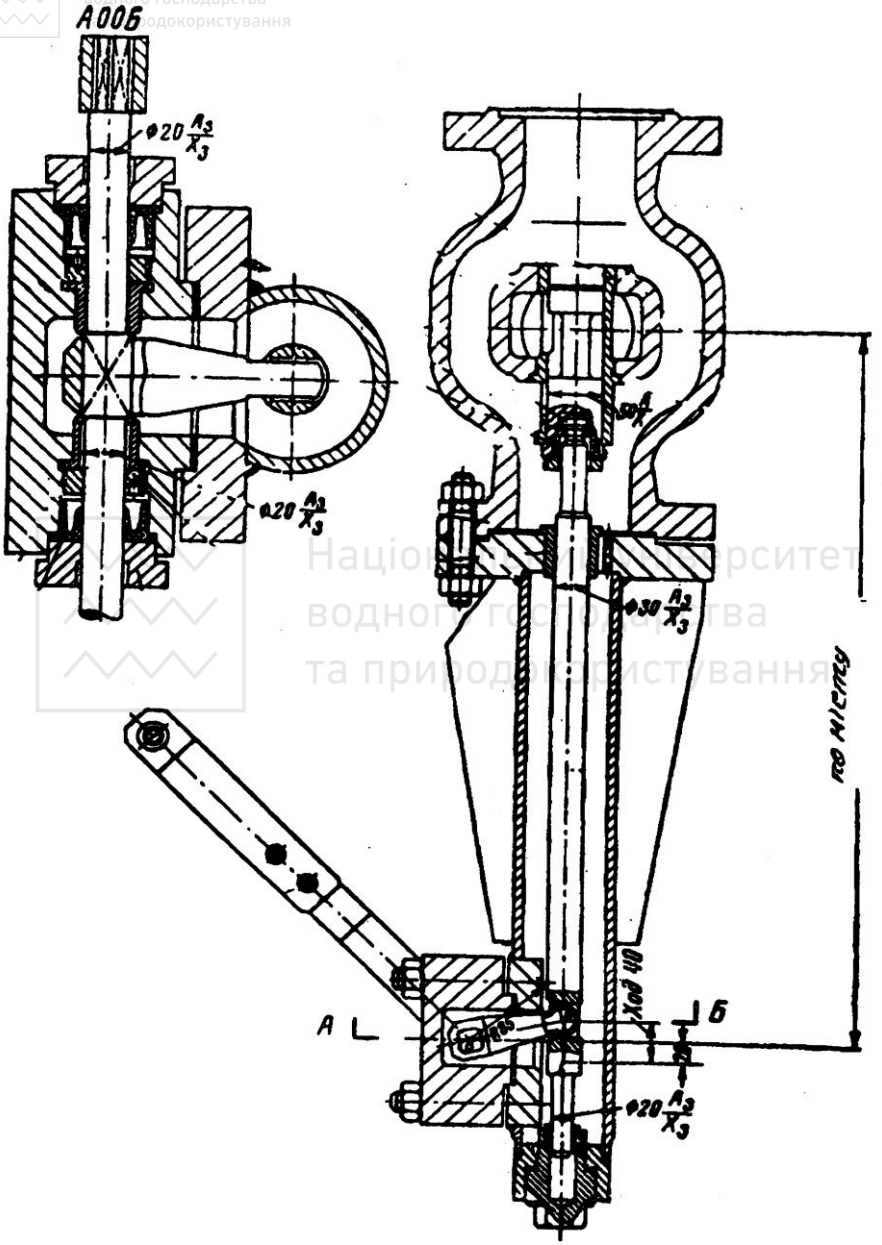


Рис. 8.1. ТС змішаної котельні:
1 – ПК; 2 – ВК; 3 – $Д_{КВ}$; 4 – ОВ; 5 – $Д_{ПВ}$; 6 – ПСВ; 7 – ОК; 8 – Н; 9 – КБ; 10 – ЖМ; 11 – МП; 12 – МН; 13 – ПН; 14 – РН

Національний університет
водного господарства
та природокористування


А
Б
Ø20 А3/Х3
Ø30 А3/Х3
Ø20 А3/Х3
Ø20 А3/Х3
Ø30 А3/Х3
Ø20 А3/Х3
Ø10 Н9
Ø16
Ø16
Ø16

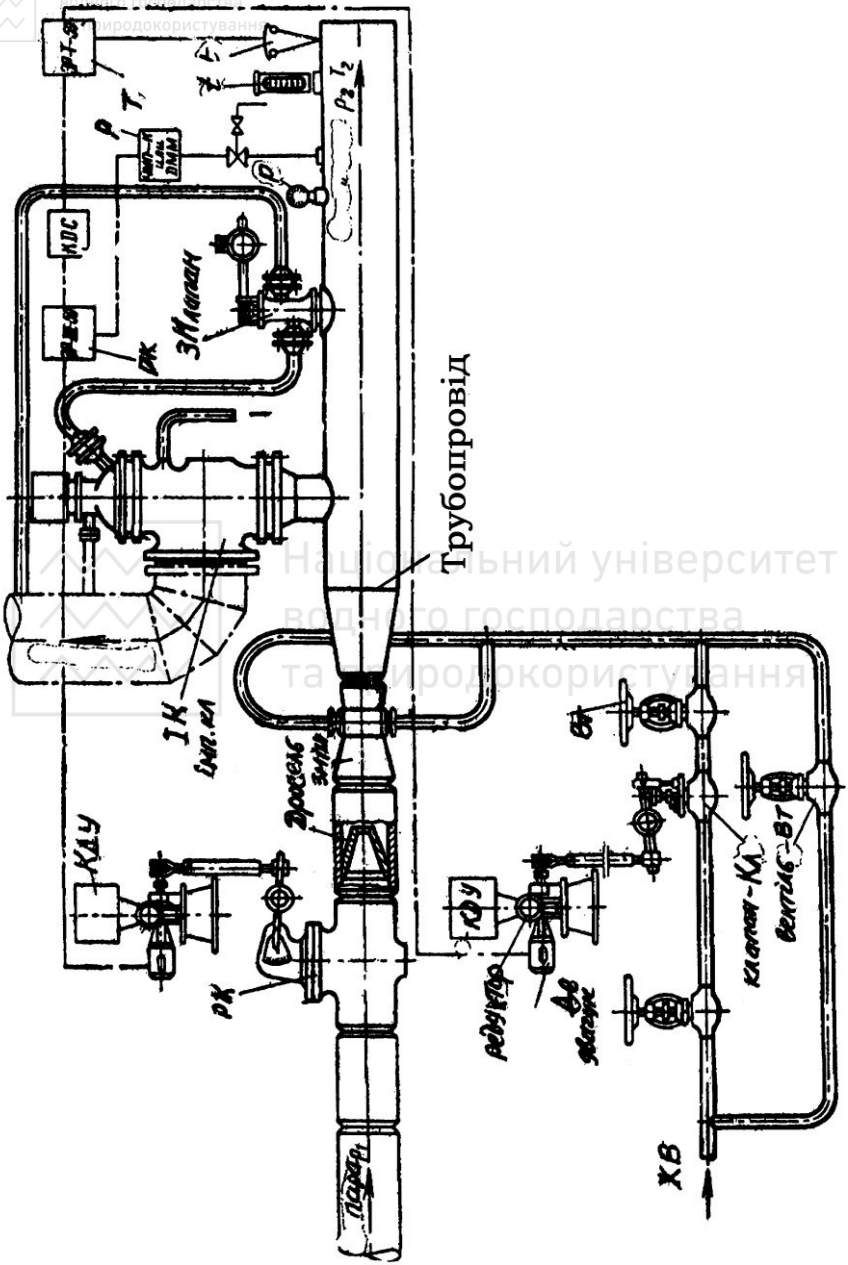


Рис. 8.4. Схема РОУ

Національний університет
водного господарства
та природокористування

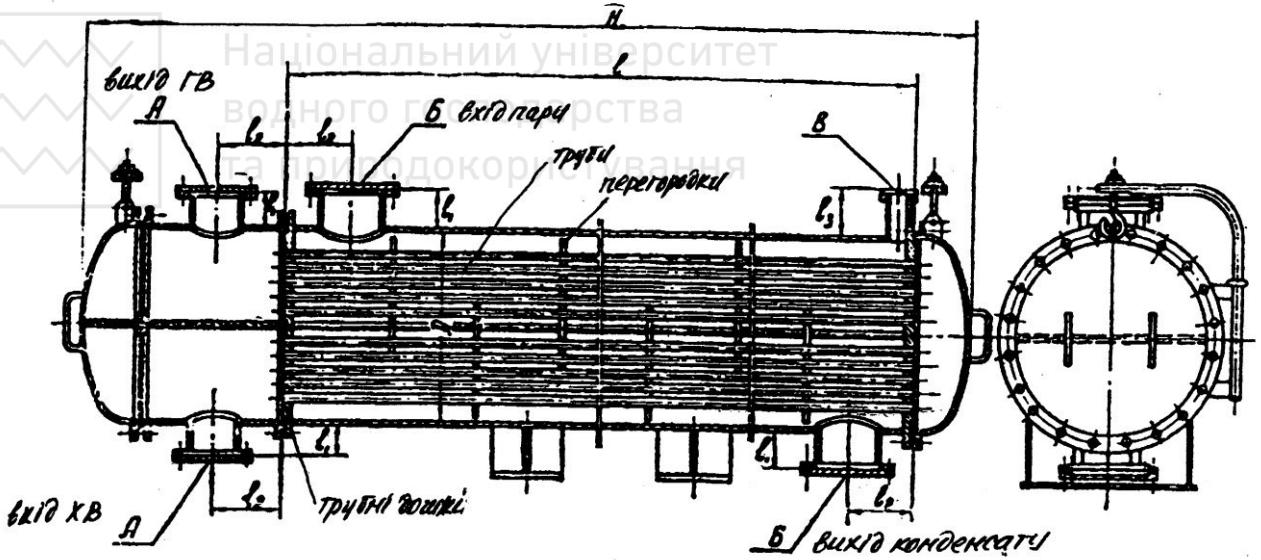


Рис. 8.5. Теплообмінний апарат – ТА.
Двоходовий ТА для ПСВ, ОПВ, ОК і т.ін.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

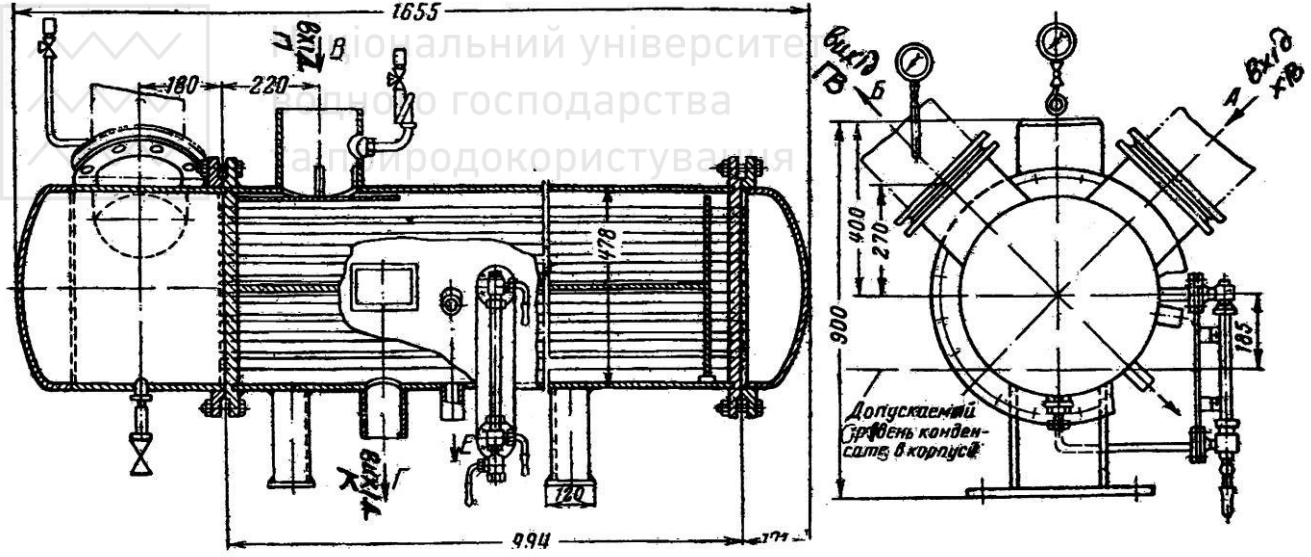


Рис. 8.6. Пароводяний теплообмінник (ПВ ТА)

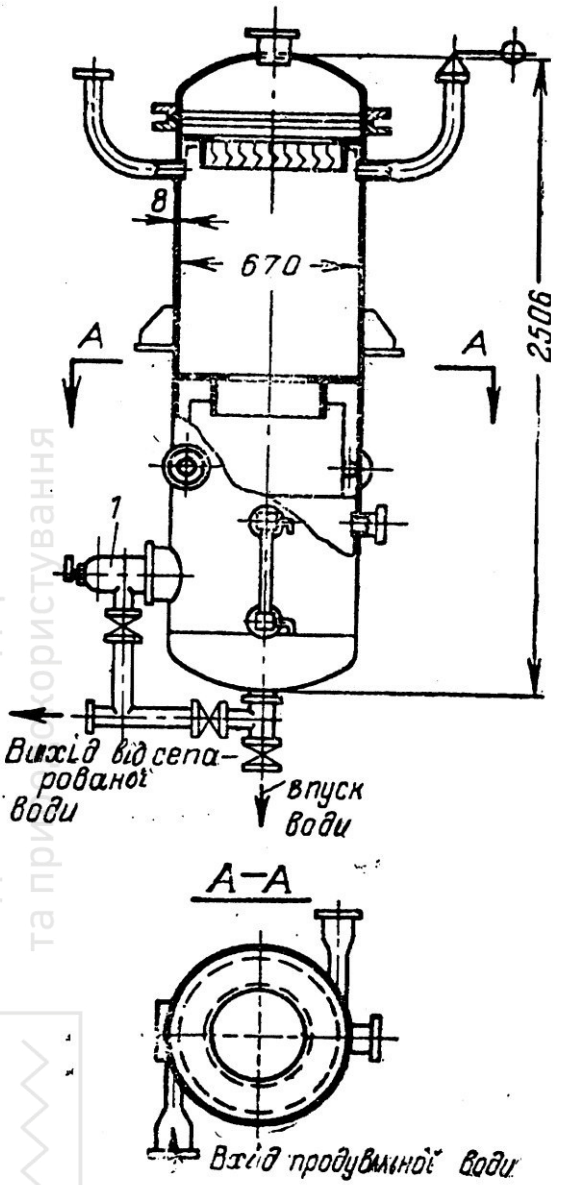


Рис. 8.7. Розширник (сепаратор)безперервної продувки

Національний університет водного господарства та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

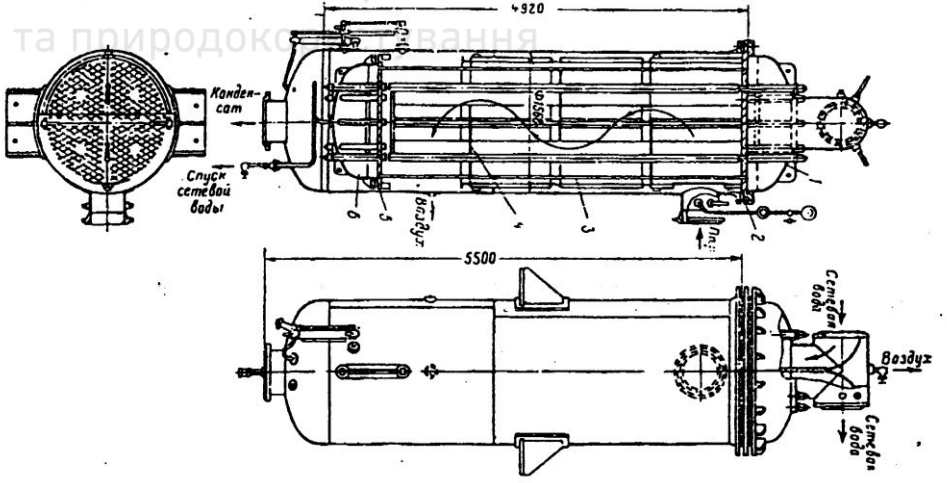


Рис. 8.8. Мережевийт підігрівник – МП
1, 6 – верхня і нижня водяні камери; 2,5 – трубні дошки; 3 – поверхня нагріву; 4 - перегородки

Національний університет
водного господарства
та природокористування

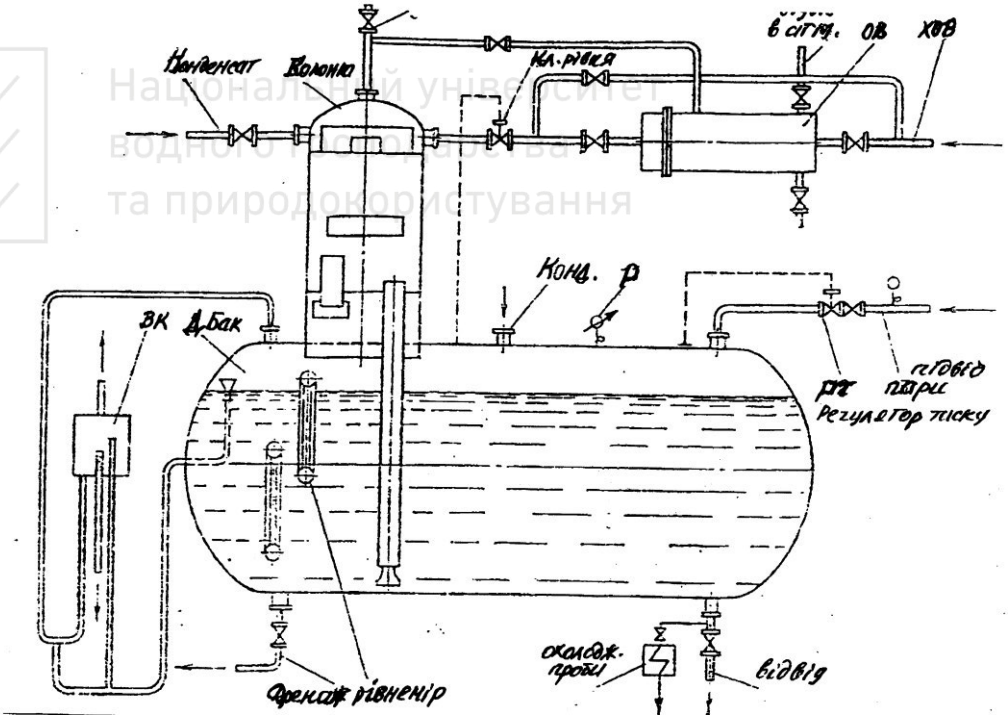


Рис. 8.10. Схема: підключення $Д_{АТН}$ (ДА)
Продуктивність 5, 15, 25, 100 Т/год: тиск – 1,2 бар; $V_Б$ = 2, 4, 8, 15, 25, 50, 75 $м^3$ 200; 300.
Забезпечує навантаження 30 ÷120 % від номінального.
Атмосфені Д мають високу генераторну колонку

Національний університет
водного господарства
та природокористування

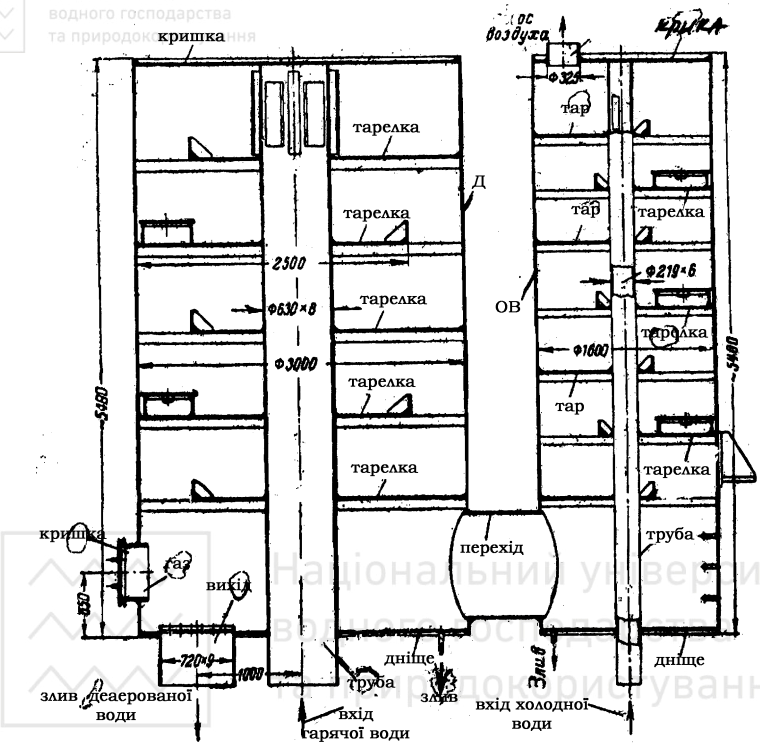


Рис. 8.11. Вакуумний Д

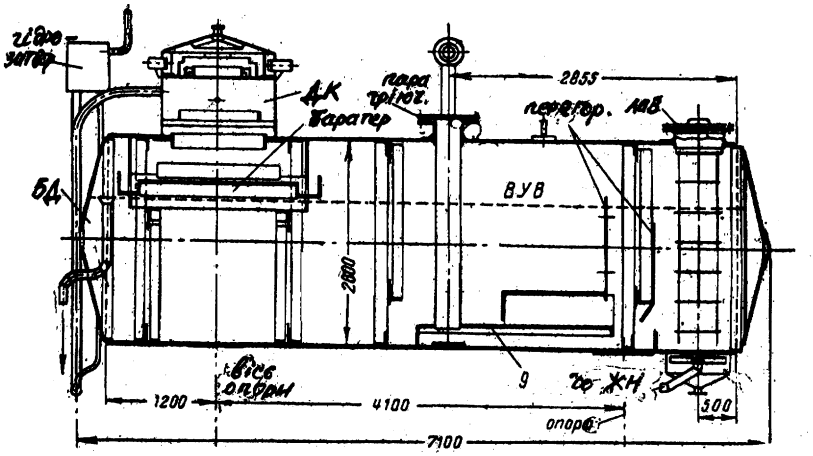


Рис. 8.12. ДА струминного типу з $Д_К$ (скороч.)

Національний університет
водного господарства
та природокористування

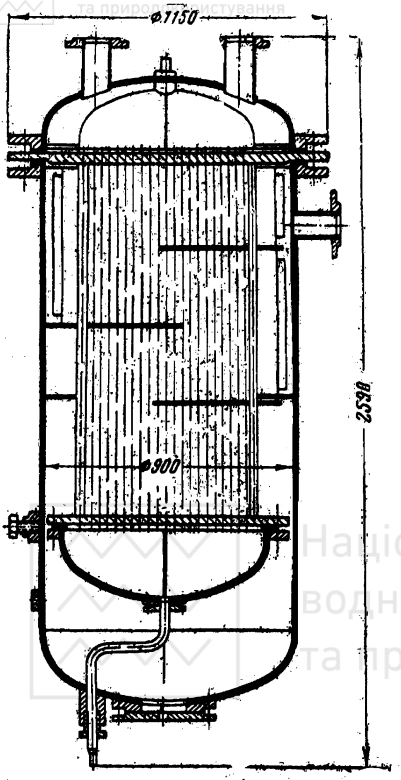


Рис. 8-13. ОВ ДТ

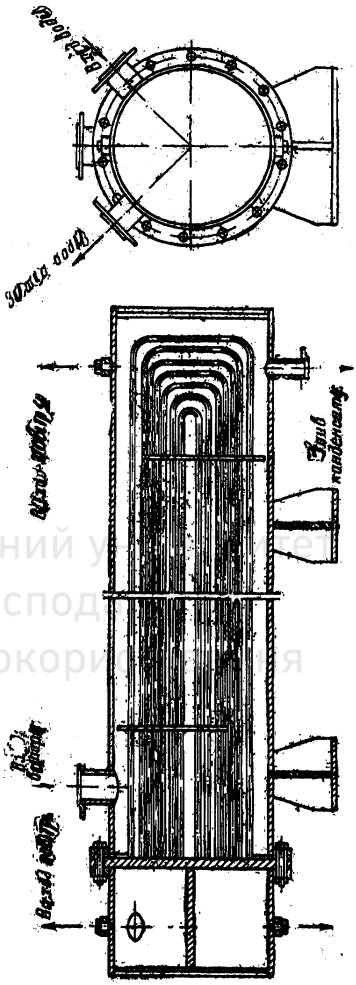


Рис. 8-14. ОВ ДА

Національний університет
водного господарства
та природокористування

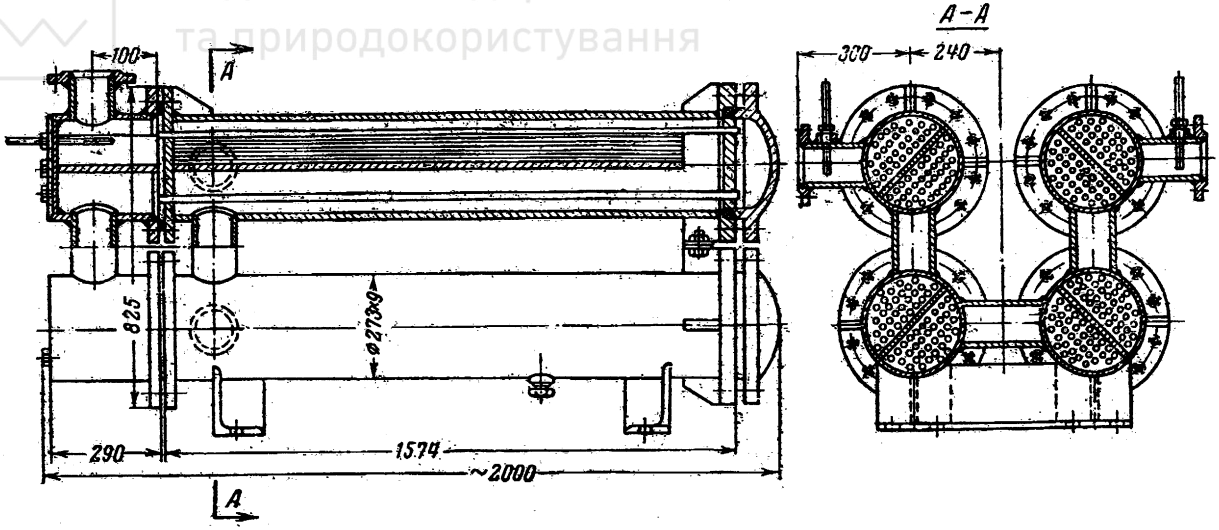


Рис. 8.15. Охолодник конденсату - ОК

Національний університет

На рис. 8.2 представлена теплова схема промислової парової котельні з паровими котлами типу Е-6,5. Теплофікаційна установка включає два основних МП і один піковий МП. Передбачається охолодник конденсату після МП. Іноді функції пікового МП виконує піковий водогрійний котел, підключення якого може бути паралельним або послідовним. Попередній підігрів хімічно очищеної води перед деаераторами в ОПВ, ОДВ, ОК, ПХОВ до температури 80ºС і більш покращує роботу деаераторної колонки розвантажує її, зменшує витрати гріючої пари і зберігає конденсат.

Тема 9. Розрахунок теплової схеми котельні

Характерні режими роботи котельні (для України):

I – максимально-мінімальна зимова зовнішня температура - $t_{çî â} = -(20 \div -25^\circ \tilde{N}$;

II – середня температура найбільш холодного місяця - $\overline{t}_{çî â} = -5 \div -8^\circ \tilde{N}$;

Національний університет водного господарства та природокористування

III – середня температура за опалювальний період - $\overline{t}_{çî âñ} = 5^\circ \tilde{N}$;

IV – температура початку опалення $t_{çî âïî} = 8^\circ \tilde{N}$;

V – літня температура $t_{çî â} = 18^\circ \tilde{N}$.

Обладнання обирається по I режиму. По II режиму обирається резерв потужності. В III режимі визначаються втрати на власні потреби.

Порядок розрахунку приведено для I режиму на прикладі ТС для змішаної промислово-опалювальної котельні. На схемі (рис.8.2) представлени відомі параметри: тиск, температура, ентальпія, витрата робочого тіла, можливі втрати. Розрахунок ТС ведеться методом послідовних наближень. Складаємо попередні енергетичний і матеріальний баланси (в кг/с), а також знаходимо витрату сирої води на ХВО по попередньо заданим втратам пари, конденсату, мережевої і котлової води. Все це робимо на максимальне навантаження, на максимальну витрату робочого тіла.

9.1. Енергетичний і матеріальний баланси

Енергобаланс в МВт:

$$Q = Q_{Ò} + Q_{ì\ ï} + Q_{Ä} + Q_{ï\ ð} + Q_{Ï\ ÑÂ} + Q_{ÂÏ} + Q_{âò\ ð} + Q_{ì\ àç},$$

де Q - потужність котельні, МВт;

$Q_{Ò}$ - потужність технологічного споживача, МВт;

$Q_{ì\ ï} = Q_{î} + Q_{Â} + Q_{ÃÂ}$ - потужність мережевого підігрівника, де потужність опалення, вентиляції та гарячого теплопостачання вже підраховані;

$Q_{Ä}$ - потужність деаераторів живильної води $Q_{æ\ â}$ і підживлення $Q_{Ï\ Â}$;

$Q_{ï\ ð}$ - втрати потужності з продувальної котловою водою;

$Q_{ÂÏ}$ - потужність на власні потреби, куди може входити потужність пари на мазутне господарство $Q_{ì\ àç}$;

$Q_{âò\ ð}$ - втрати в МВт у котельні.

В процентах 100% = до 35 %+ до 40% +до 15% + решта до 10 %.

Матеріальний баланс (паровий) (в т/год і кг/с):

$$Ä = Ä_{Ò} + Ä_{ì\ ï} + Ä_{Ä} + Ä_{ï\ ð} + Ä_{ÂÏ} + Ä_{âò\ ð}.$$

Попередньо складається для промислово-опалювальної котельні в той же пропорції в т/год і в кг/с,

де $Ä_{Ò}$ - витрата пари до технологічного споживача, якщо не задана, то приймаємо для змішаної котельні в курсовому проекті до 35% від $Ä$ загальної паропродуктивності котельні;

$Ä_{ì\ ï}$ - витрата пари на мережеві підігрівачі до 45% від $Ä$;

$Ä_{Ä}$ - витрата пари на деаератори живильної і підживлюючої води і підігрівник сирої води (до 15%)

$$Ä_{Ä} = Ä_{Ä\ æ\ â} + Ä_{Ä\ Ï\ Â} + Ä_{Ï\ ÑÂ};$$

$Ä_{ï\ ð}$ - витрата котлової води на безперервну продувку котла для виводу накипу, шламу, які накопичуються у соленому відсіку барабана котла під час його безперервної роботи.

$Ä_{ÂÏ}$ - витрати пари на власні потреби: повітряпідігрівник, якщо в/п не встановлюється заводом; мазутне господарство; форсунки; обдувку поверхонь нагріву від золи; на паровий привід живильних насо-

сів; опалення; гаряче водопостачання котельні, допоміжних приміщень; господарські потреби.

$Д_{ВТР}$ - втрати пари в котельні.

$Д_{ПР} + Д_{ВП} + Д_{ВТР}$ – до 10% від $Д$, з них $Д_{ПР}$= 4-5%; $Д_{ВП}$ = 2-4%; $Д_{ВТР}$ = 1-2%.

Витрата сирої води:

$M_{СВ} = К(\Delta M_{МВ} + \Delta M_{ПР} + \Delta M_{Т} + \Delta M_{МАЗ} + \Delta M_{ВТР})$, кг/с, де $К$ – коефіцієнт запасу $К$ = 1,1 ÷ 1,3;

$\Delta M_{МВ}$ - втрати мереженої води – 2 ÷ 4% від $M_{МВ}$;

$\Delta M_{ПР}$ - втрати з продувальної води – 2 ÷ 6% від $Д$;

$\Delta M_{Т}$ - втрати на виробництві (приймається по умовах виробництва);

$\Delta M_{МАЗ}$ - втрати на мазутне господарство – 0,5 ÷ 2% від $Д$;

$\Delta M_{ВТР}$) - втрати у котельні – 2 ÷ 4% від $Д$.

Для парових котлів без перегріву пари переводні коефіцієнти:

1т/год = 0,278 кг/с ≈0,63 МВт; 1Гкал/год = 1,163 МВт;

1 Гкал = 4190 МДж.

Втрати мережевої води.

Якщо задане, або розраховане теплове навантаження

$Q_{МП}$, то $Q_{МП} = M_{МВ} \cdot 10^{-3} \cdot (i''_{МВ} - i'_{МВ})$, МВт,

де $M_{МВ}$ - витрата мережевої води, кг/с;

$h''_{МВ}$ - ентальпія мережевої води у подавальної (прямий) магістралі при $t''_{МВ} = 150^{\circ}C$ $i''_{МВ} = C_P \cdot t''_{МВ} = 4{,}19 \cdot 150 = 629$кДж/кг;

$h'_{МВ}$ - ентальпія зворотної мережевої води при $t'_{МВ} = 70^{\circ}C$

$h'_{МВ} = 4{,}19 \cdot 70 = 293$кДж/кг.

$$M_{МВ} = \frac{Q_{МП}}{(h''_{МВ} - h'_{МВ})}, \text{ кг/с.}$$

Сумарна, загальна витрата пари в котельні $Д$ кг/с знаходиться, як $Д = n \cdot Д_{котла}$, де n - кількість *ПК*.

Звичайно *ПК* обираються однотипні і встановлюють в одному ряду з необхідним інтервалом для зручності обслуговування і ремонту кот-

Національний університет водного господарства та природокористування

лів.

Уточнимо витрату пари на мережеві підігрівачі - $МП_{1,2}$.

$$Д_{МП} = \frac{Q_{МП} \cdot 10^3}{\eta_{МП} \cdot (h''_{14} - h'_{14})}, \text{ кг/с,}$$

де $Q_{МП}$ в МВт – раніше прийнята потужність *МП*,

$\eta_{МП}$ - ККД МП, для всіх ТА приймаємо 0,98.

h''_{14}, h'_{14} - ентальпії сухої насиченої пари і киплячої води при $P = 14$ бар.

$h''_{14} = 2788$ кДж/кг з таблиць водяної пари.

$h'_{14} = 830$ кДж/кг.

Якщо в МП подається волога пара з заданою X і відбувається охолодження пари нижче t_H, то

$$Д_{МП} = \frac{Q_{МП} \cdot 10^3}{\eta_{МП} \cdot (h_X - h_K)}, \text{ кг/с,}$$

де $h_X = Xh''_{14} + (1 - X)h'_{14}$, кДж/кг, звичайно $X \approx 0{,}9 \div 0{,}98$;

$h_K = C_P t_K = 4{,}14 \cdot t_K$, кДж/кг;

t_K, $^\circ C$ - температура води на виході з МП, $t_K = 75 \div 90^\circ C$, знаходимо з розрахунку МП.

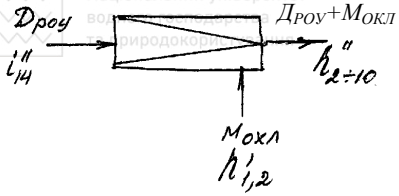
9.2. Розрахунок елементів ТС

<u>РОУ (РК) – редукційно-охолоджувальна установка</u>.

Застосовується для зниження тиску та температури пари після ПК до величин, які відповідають параметрам установок, що забезпечують надійну роботу котельні.

Зниження параметрів пари відбувається дроселюванням пари та охолодженням її деаераторною водою. Регулюючий клапан дії як дросель – зменшує тиск пари за рахунок зменшення прохідного перерізу клапана. Охолодження відбувається вприскуванням чистої води у найменший переріз дроселя. Вприскувана вода крізь форсунку розпилюється і випаровуючись, охолоджує пару. Холодна вода подається після деаератору.

Розрахунок ведемо за рівняннями теплового та матеріального балансу.



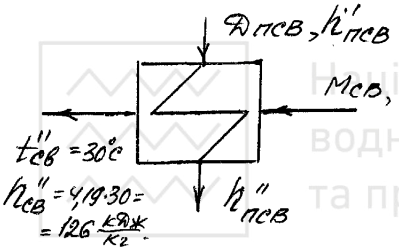
h''_{2-10} наприклад $h''_{10} = 2777$ кДж/кг; $P = 2 \div 10$ бар (задане); h''_P - ентальпія СНП при P (з таблиць ВП).

$h'_{1,2}$ - тепловий баланс;

$Д_{РОУ} h''_{14} + M_{ОХЛ} h'_{1,2} = (Д_{РОУ} + M_{ОХЛ}) h''_P$, з балансу знаходиться $M_{ОХЛ}$.

<u>ПСВ – підігрівник сирої води</u>.

Для забезпечення надійної роботи системи хімводоочищення – ХВО, необхідно подавати сиру воду в кількості $M_{СВ}$ при температурі не менше $30^\circ C$, тому встановлюється ПСВ.



$h'_{СВ} = 4{,}19 \cdot t'_{СВ} = 419$кДж/кг, звичайно $t'_{СВ} \approx 10^\circ C$;

$h''_{СВ} = 4{,}19 \cdot 30 = 126$кДж/кг.

Якщо подаємо пари з котла $h'_{ПСВ} = h''_{14}$, якщо після МП, то $h'_{ПСВ} = h'_{14}$, $h''_{ПСВ} = h'_{14}$, $h''_{ПСВ} = 4{,}19 \cdot t_{ПСВ}$. $t_{ПСВ}$ - задається.

Тепловий баланс $Д_{ПСВ}(h'_{ПСВ} - h''_{ПСВ}) = M_{СВ} \cdot 10^{-3} \cdot (h''_{СВ} - h'_{СВ})$.

Визначаємо $Д_{ПСВ}$. Визначаємо $Д_{Д_{ХВ}} + Д_{Д_{ПВ}} = Д_Д - Д_{ПСВ}$.

$Д_Д$ - задана величина (стор.47).

$P(C)$ ***<u>- розширник (сепаратор) безперервної продувки</u>***.

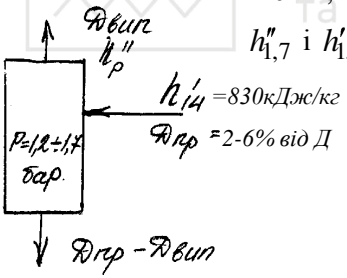
Мінеральні суміші, які надходять у барабан ПК з додатковою водою $M_{СВ}$, поступово накопичуються до стану насичення і після чого починають випадати у вигляді кристалів, в першу чергу це солі Ca і Mg. Речовини, які кристалізуються на поверхнях нагріву у вигляді відкладень, називають накипом. Шлам відкладається у вигляді дрібних завислих у воді частинок. Накип, шлам знижують надійність і економічність роботи котлів, вони знижують коефіцієнт теплопровідності труб, поверхонь нагріву, тобто збільшують опір стін, знижують теплопередачу, що веде до перегріву металу труб.

Запобігти утворенню накипу в барабані котла можна шляхом підтримання низької, нижче критичної, постійної концентрації її у котловій воді за допомогою безперервного продування – відводу забрудненої котлової води з соленого відсіку барабана котла. Для утилізації тепла використовуємо розширник – сепаратори в яких підтримується тиск $1{,}2 \div 1{,}7$ бар. Кипляча вода потрапляє в *P(C)* вскипає і СНП при $h''_{1,7}$ (при $P = 1{,}7$ бар) випаровується і відводиться в $Д_{ЖВ}$, а залишкова котлова вода з накипом відводиться в охолодник продувальної води ОПВ, де відводиться тепло до ХОВ, яка далі поступає в деаератори. Брудна залишкова вода при $P = 1{,}7$ бар і температурі $\approx 50^{\circ}C$ скидається в колодязь (дренаж) через конденсатовідвідник.

Величина безперервної продувки $Д_{ПР} = 2-6\%$ від $Д$ шлам – більш тяжкі фракції осідають у нижніх колекторах екранних труб і відводяться періодичною продувкою $2 \div 3$ рази за добу в колодязь через конденсатовідвідник.

Тепловий баланс для *P(C)*.

$Д_{ПР} h'_{14} = Д_{ВИП} \cdot h''_{1,7} + (Д_{ПР} - Д_{ВИП}) h'_{1,7}$, якщо в розширники тиск 1,2 бар тоді $h''_{1,2}$, $h'_{1,2}$ підставляємо замість $h''_{1,7}$ і $h'_{1,7}$.



$$Д_{ВИП} = \frac{Д_{ПР}(h'_{14} - h'_{1,7})}{h''_{1,7} - h'_{1,7}}, \text{ кг/с}$$

МП - мережевий підігрівник

Використовується для нагріву мереженої води, для потреб опалення, вентиляції, гарячого водопостачання.

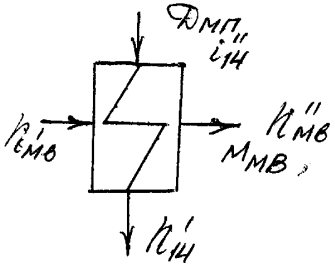
$h_{води} = C_{Рв} \cdot t_в \cdot 4{,}19 \cdot t_в$, кДж/кг

Тепловий баланс

$Д_{МП}(h''_{14} - h'_{14}) = M_{МВ}(h''_{МВ} - h'_{МВ})$

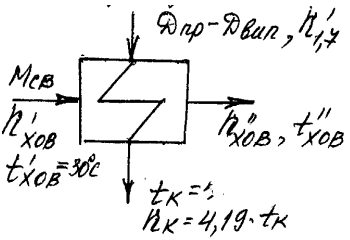
$h''_{МВ} = 4{,}19 \cdot t''_{МВ} = 4{,}19 \cdot 150 = 629$ кДж/кг;

$h'_{МВ} = 4{,}19 \cdot t'_{МВ} = 4{,}19 \cdot 50 = 210$ кДж/



кг.

Перевіряємо $Д_{МП}$.



ОПВ – охолодник продувальної води, використовується для утилізації тепла продувальної води.

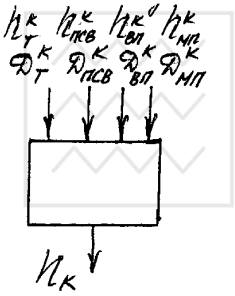
Тепловий баланс

$$M_{СВ}(h''_{ХОВ} - h'_{ХОВ}) = (Д_{ПР} - Д_{ВИП}) \times (h'_{1,7} - h_{К}) \times ;$$

Визначаємо $h''_{ХОВ}$, кДж/кг;

$$h''_{ХОВ} = \frac{h'_{ХОВ}}{4{,}19}, ^{\circ}C.$$

КБ – конденсатний бак, для збору і забезпечення резерву конденсату.



З попередніх розрахунків відомі кількість конденсату і ентальпії. Звичайно, заохолодження конденсату відбувається до температури $t_К \approx 40^{\circ} \div 50^{\circ}C$. Ентальпії конденсату

$h_i^К = 4{,}19 \cdot t_К$, кДж/кг.

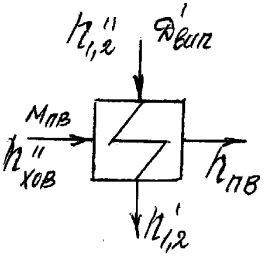
$h_К \quad \sum Д_i^К = Д_Т^К + Д_{ПСВ}^К + Д_{ВП}^К + Д_{МП}^К.$

Тепловий баланс КБ

$$\sum Д_i^К \cdot h_К = Д_Т^К \cdot h_Т^К + Д_{ПСВ}^К \cdot h_{ПСВ}^К + Д_{ВП}^К \cdot h_{ВП}^К + Д_{МП}^К \cdot h_{МП}^К.$$

Визначаємо $h_К$ і $t_К$.

$ОВ_{Д_{ПВ}}$ ***- охолодник випару деаератору підживлюючої води***, для утилізації тепла випару $Д_{ПВ}$.



З деаератору виводиться випар-суміш корозійно-активних газів в кількості

$Д_{ВИП} = (0{,}002 \div 0{,}005) Д'_Д$, кг/с, де $Д'_Д$ - кількість води, яка поступає в деаератор.

$Д'_Д = M_{ПВ} + Д_{Д_{ПВ}}$, кг/с.

Випар надходить з деаератору атмосферного типу при $P = 1{,}2$ бар при $i''_{1,2}$ і в $ОВ$ конденсується, віддаючи

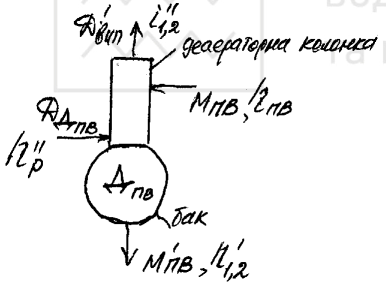
тепло хімічно очищеній воді в кількості $M_{ПВ}$ при $h''_{ХОВ}$ після *ОПВ*. Конденсат подається в конденсатовідвідник і повертається в цикл, а бруд скидається у дренаж.

Тепловий баланс $M_{ПВ}(h_{ПВ} - h''_{ХОВ}) = Д'_{ВИП}(h''_{1,2} - h'_{1,2})$.

Визначаємо $h_{ПВ}$ і $t_{ПВ}$ для підживлюючої води, яка поступає в $Д_{ПВ}$.

$Д_{ПВ}$ ***- деаератор підживлюючої води***.

Деаерація використовується для відводу з води розчинених газів O_2, CO_2. Принцип дії – термічна дегазація. За збільшенням температури води розчинність газів у воді різко зменшується, а при t_H практично дорівнює нулю – вони повністю виділяються з води в атмосферу. Деаератори можуть працювати під вакуумом (тоді випар потрібно відсмоктувати), при атмосферному $P = 1{,}2$ бара, або надлишковому тиску $P = 7$ бар. *ХОВ* поступає зверху в деаераторну колонку, а знизу подається пара під тиском в наслідок чого вода закипає і відбувається деаерація. Деаерована вода збирається у бак деаератора.



Тепловий баланс

$$Д_{Д_{ПВ}} \cdot h''_{Р} + І_{ПВ} \cdot h_{ПВ} = Д'_{ДІЛ} \cdot h''_{1,2} + І_{ПВ} \cdot i'_{1,2}$$

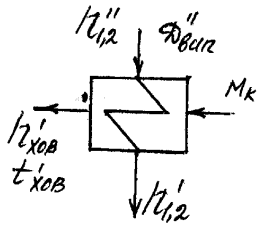
$M'_{ПВ} = M_{ПВ} + Д_{Д_{ПВ}} - Д'_{ВИП}$ наближено $M'_{ПВ} \approx M_{ПВ}$.

Визначаємо $Д_{Д_{ПВ}}$.

$ОВ_{Д_{ЖВ}}$ ***- охолодник випару деаератору живильної води***.

Тепловий баланс $Д''_{ВИП}(h''_{1,2} - h'_{1,2}) = M_{ХОВ}(h''_{ХОВ} - h'_{ХОВ})$.

Випар $Д''_{ВИП} = (0{,}002 \div 0{,}005) Д_{Д}$, де

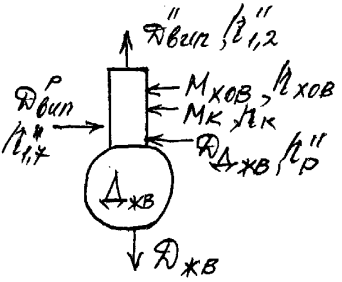


$Д_{Д} = M_{ХОВ} + Д_{Д_{ЖВ}} + Д'_{ВИП}$ температура $t''_{ХОВ} \approx t_{КБ}$, тому наближено приймаємо ентальпію хімічно очищеної води $h''_{ХОВ}$.

Визначаємо з балансу $h'_{ХОВ}$ і $t'_{ХОВ}$.

$Д_{ЖВ}$ ***- деаератор живильної води***, яка подається у ПК.

$$Д_{Д_{ЖВ}} = Д_{РК} - Д_{Д_{ПВ}} - Д_{ЖВ}.$$



M_K - вода з конденсатного баку. Якщо M_K змішується з $ХОВ$ в 3-змішувачі, як показано на рис.8.2, тоді M_K входить в $M_{ХОВ}$, це робиться, щоб зменшити кількість вводів в деаераторну колонку.

Тепловий баланс.

$$Д_{ЖВ} \cdot h_{ЖВ} + Д''_{ВИП} h''_{1,2} = M_{ХОВ} h_{ХОВ} + M_K h_K + Д^P_{ВИП} h''_{1,7} + Д_{Д_{ЖВ}} h''_P$$

звідси уточнюємо $Д_{Д_{ЖВ}}$. Розходження з попередньо прийнятим значенням не повинно бути більше 5%.

Тема 10. Проектування ТЕЦ

10.1. Вибір ТЕЦ

ТЕЦ найбільш економічний централізований спосіб вироблення електричної і теплової енергії, потужність від 300-400 МВт і вище. Обирається ТЕЦ при великому рівнозначному електричному і тепловому навантаженню, при великій концентрації теплового навантаження в радіусі ~ 10 км. На ТЕЦ встановлюються турбогенератори з теплофікаційними відборами пари до МП, або при великому стабільному тепловому навантаженню турбіни з протитиском. Оптимальна кількість однотипних турбогенераторів на ТЕЦ - $4 \div 6$. Потужність рахується сумарно електрична і теплова. Теплове навантаження може бути чисто теплофікаційним, або частіш промислово-опалювальним.

Типи турбогенераторів:

- Теплофікаційний $Т$
  - електрична потужність $N = 12, 25, 50, 100$МВт і більше;
  - теплова потужність $Q = 10, 30, 106, 186$ МВт;
  - тиск $P = 35, 90, 130, 240$ бар.
- Промислово-теплофікаційні - $ПТ$

Національний університет
водного господарства
та природокористування

$N = 25,50,60,135$ МВт;
$Q = 30,100,120,200$ МВТ;
$P = 90,130$ бар.

- Протитискові - P

$N = 12,25,50$ МВт;
$P = 10,13$ бар.

Турбіни мають регульовані і нерегульовані теплофікаційні і промислові відбори. Наприклад, турбіна *ПТ* -60-130/13 має електричну потужність $N = 60$ МВт, теплофікаційну потужність $Q = 90$ МВт з двома відборами:

- технологічний $Д_{ТЕХН} = 38,9$ кг/с при $P = 13$ бар;
- теплофікаційний $Д_{ТЕПЛ} = 27,8$ кг/с при $P = 13$ бар.

10.2. Принципова ТС ТЕЦ

При складанні ТС вирішуються такі питання:

- по заданим технологічним (виробничим) і теплофікаційним навантаженням $Q_{ТЕХ}$ і $Q_{ОП}$ обираються турбогенератори, ПК, їх кількість, параметри;
- необхідність проміжного (вторинного) перегріву пари, визначається тиск перегріву $P_{ВП}$ і $t_{ВП}$;
- кількості регенеративних підігрівачів низького і високого тиску, температура живильної води $t_{ЖВ}$, визначається тип РП;
- підключення $Д$, тиск відбору пари;
- кількість МП, основних і пікових, тиск відбору пари.

Звичайно тиск регульованих відборів на $Q_{ТЕХ}$, $Q_{ОПАЛ}$, на РП в турбогенераторах задані. Потрібно провести розподіл рівномірного перепаду температур у всіх відборах, починаючи від t_2 - тиск за конденсатором до $t_{ЖВ}$. Перепад температур дорівнює $\Delta t_{відб} = 25 \div 35^{\circ} C$, в деаераторі $10 \div 15^{\circ} C$;

- обирається схема *ХВО*;
- обирається схема безперервної продувки;
- утилізації тепла пари з ущілень турбіни, з ежектору конденсатору, випару деаератору;
- під'єднання МП, системи теплопостачання;

- необхідність встановлення РОУ, РК;
- заохолодження системи змазки ТГ;
- кількості насосів: ЖН, КН, МН, ЦН та інше;
- необхідність встановлення КБ, частіш конденсат відводиться в конденсатор від усіх ТА, від турбін ЖН, від охолодження ежектору конденсатора з виробництва.

Раціональна складена ТС з найменшою довжиною комунікацій вторинного тепла визначає високі техніко-економічні показники ТЕЦ. На рис.10.1 розглядається прилад ТС ТЕЦ. Турбіна ТП-80-130/13 має три циліндра – високого, середнього і низького тиску (ЦВТ, ЦСТ, РП, ЦНТ), сім відборів і сім РП (4 регенеративних підігрівача низького тиску (рис.10.2) і 3 високого тиску (рис.10.3)). Третій відбір - регульований, через РК подає пару в $Д$ з надлишковим тиском 6 бар і пару для технологічного споживача ТС-1. Конденсатний насос КН повертає конденсат в $Д$. Шостий регульований відбір - теплофікаційний подає пару при $P = 13$ бар в МП-1, а також в регенеративний підігрівник низького тиску РП-6. В МП-2 пара подається з відбору 7. $К$ теплофікаційній системі підключений послідовно піковий водогрійний котел – ВК. ТС-2 – теплофікаційний споживач. Конденсатні насоси КН подають конденсат після МП в змішувачі після РН-5 і 6. Ежектор – Е відсмоктує повітря з конденсатору – К. ОУ – охолодник ущілень відведе пару з ущілень і за охолоджує її конденсатом. Безперервна продувка має два розширника – сепаратори: Р-1 і Р-2. Хімічно очищена вода нагрівається за рахунок охолодження продувальної води і подається в конденсатор.

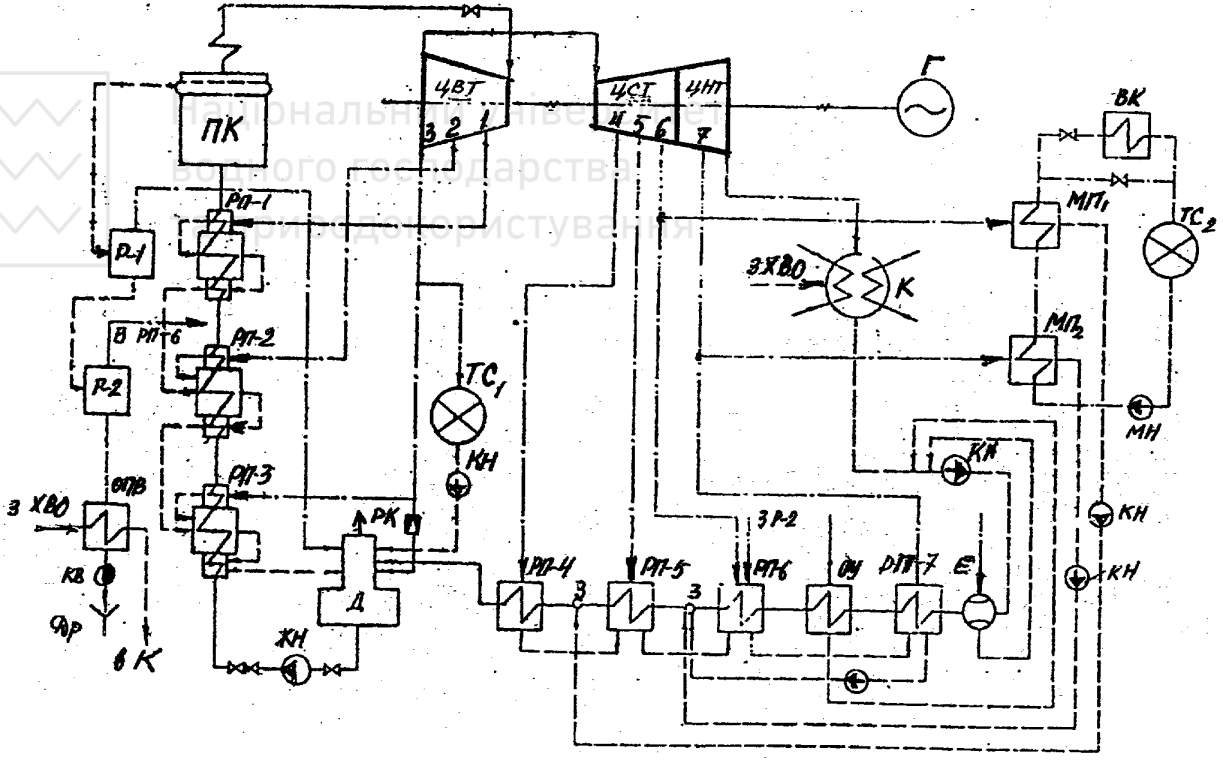


Рис. 10.1. Принципова ТС ТЕЦ з ПТ-80-130/13

Національний університет
водного господарства
та природокористування

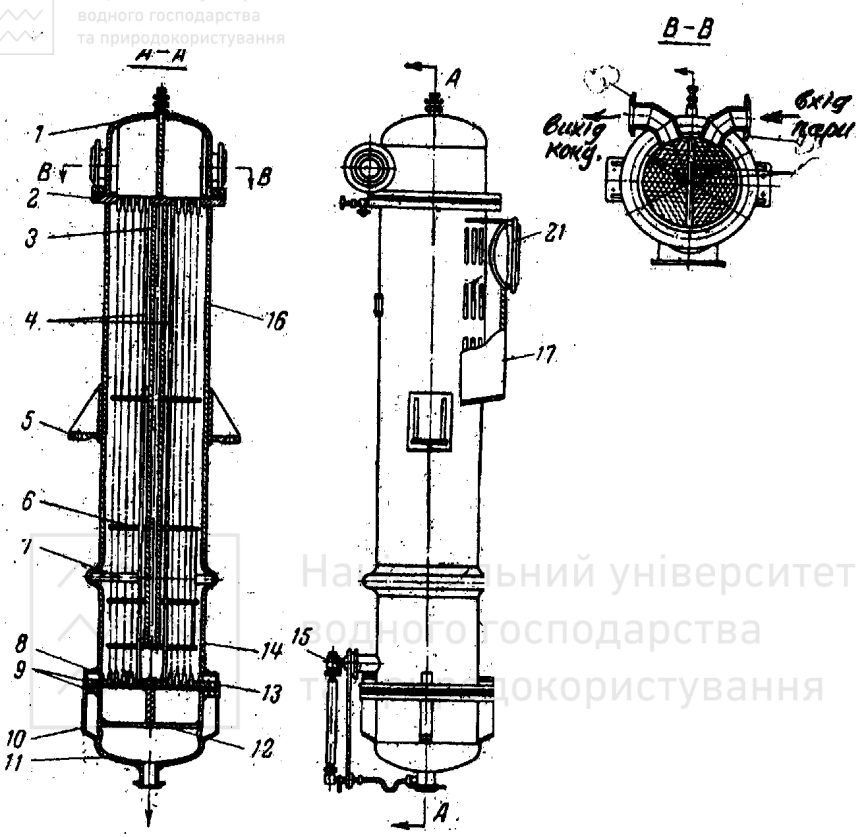


Рис.10.2. Регенеративний підігрівник низького тику (РПН):
1 – камера (верхня); 2 – тр.дошка; 3-4 – труби; 5 – опора; 6 – перегородки;
7 - температурний конденсатор; 8, 9, 10, 11 – нижня камера; 12 – перегородка;
18 – тр.дошка; 16 – корпус; 17 – камера парова; 21 – вхід пари

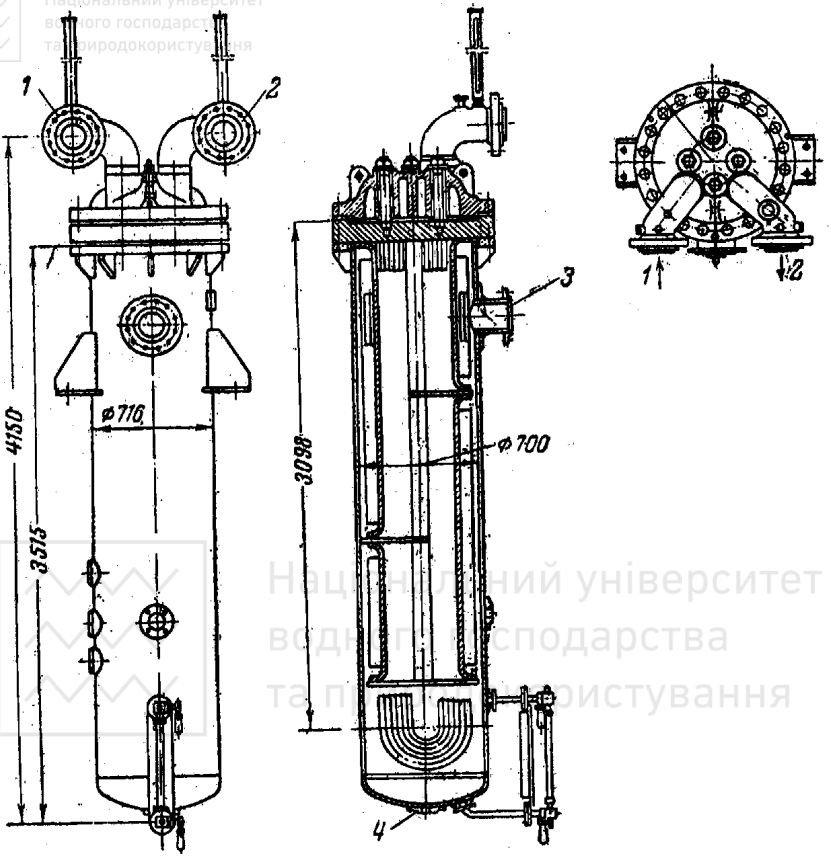


Рис.10.3. Регенеративний підігрівник високого тиску – РПВ:
1 – вхід води; 2 – вихід води; 3 – вхід пари; 4 – вихід конденсату

Національний університет
та природокористування

Тема 11. Розрахунок ТС ТЕЦ

11.1. Побудова процесів розширення пари в турбіні в $h-S$ діаграмі

Розрахунок ТС починається з визначення параметрів відборів при заданих початкових і кінцевих параметрах - P_1, t_1, P_2. Знаходимо t_2, $t_{ЖВ}$. При $P_Д = 6$ бар, знаходимо $t_Д$. Визначаємо необхідність вторинного перегріву і тиску $P_{ВП}$. Кількість РП і P_{B_i} для обраної турбіни відомі, або уточнюємо наближеною розбивкою загального теплоперепаду на інтервали з перепадом температур в $20 \div 40^\circ C$. Кількість РП низького тиску $n_1 = \dfrac{t_Д - t_2}{30}$; високого тиску $n_2 = \dfrac{t_{ЖВ} - t_Д}{2}$. Відбір на деаератор звичайно співпадає з $P_{ВП}$.

Температура живильної води $t_{ЖВ} = t_H^{P_1} - (20 \div 30)^\circ C$. Технологічний регульований відбір задається тиском пари технологічного споживача, а тиск відбору пари на мережеві підігрівники нормативними температурами теплової мережі – пряма $t'_{MB} = 150^\circ C$ і зворотня $t''_{MB} = 70^\circ C$. У кожному РП приймаємо недогрів конденсату до t_{H_i} при відповідному P_{B_i} на $1 \div 3^\circ C$ для РП високого тиску і на $3 \div 5^\circ C$ у РП низького тиску. В $Д$ перепад температур приймаємо $10 \div 15^\circ C$. Для кожного РП приймаємо ККД $\eta_{TA} \approx 0{,}98$, а внутрішній відносний ККД визначаємо по таблиці 11-1.

Таблиця 11-1

Внутрішній відносний ККД - η_{oi}

Тип турбіни	ЦВТ	ЦСТ	ЦНТ
Т-175-130	0,8	0,81	0,78
ПТ-135-130	0,82	0,83	0,72
ПТ-50-130	0,78	0,83	0,7
ПТ-25-90	0,78	0,77	0,68

Національний університет
водного господарства
та природокористування

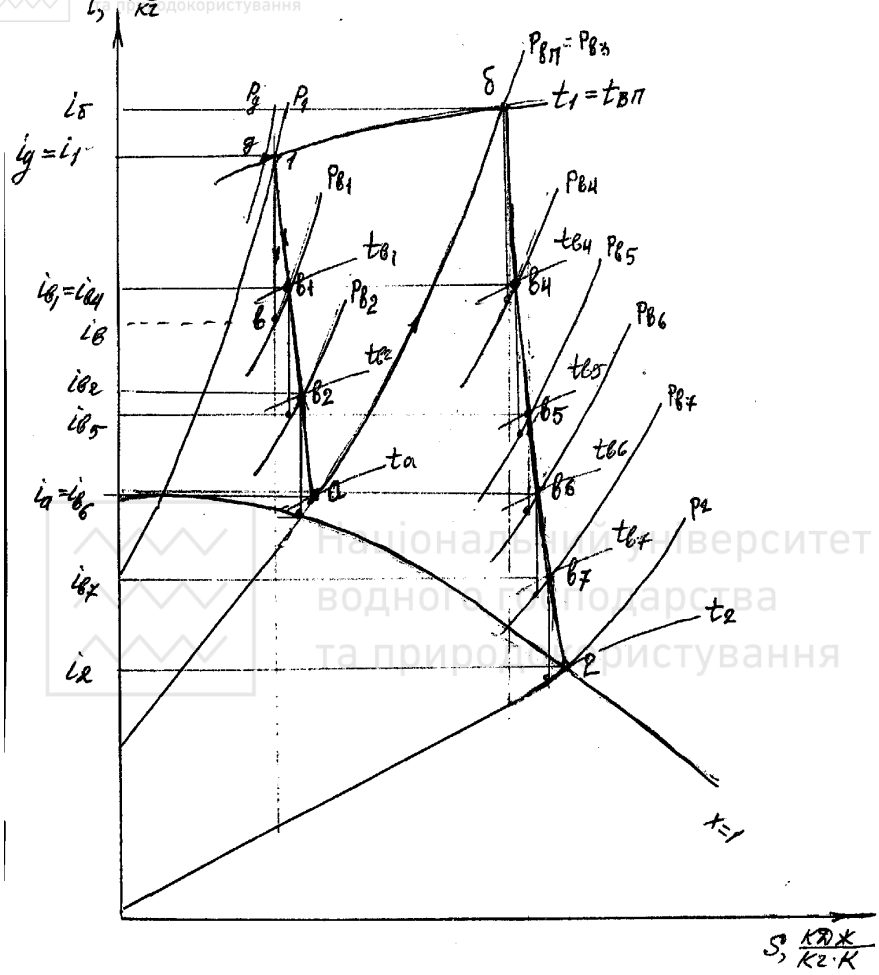


Рис.11.1. $h-S$ діаграма розширення пари в турбіні

Побудова процесу розширення пари в турбіні представлено на рис.11.1. $P_Д$ - тиск перед дросельним регулюючим органом, $P_1 = P_{ДР} \cdot \varphi$, де φ - коефіцієнт дроселювання, $\varphi = 0{,}95$ - приймаємо. Процес $g-1$ - ізоентальпійний процес дроселювання. Будуємо процес розширення пари до першого відбору:

$1-в$ - адіабатний процес розширення, теоретичний

Національний університет водного господарства та природокористування

$h_0' = h_1 - h_в$ - теоретичний теплоперепад.

$1 - в_1$ - дійсний процес розширення пари у турбіні до першого відбору у точці $в_1$.

$h_i' = h_1 - h_{в_1}$ - дійсний теплоперепад.

$\eta_{0i} = \dfrac{h_i'}{h_0'}$ - внутрішній відносний ККД, який характеризує втрати на тертя в проточній частині турбіни, який ми приймаємо згідно табл.11-1.

$\Delta h_1 = h_0' - h_i'$ - втрати енергії на подолання тертя.

Таким чином, будуємо процеси розширення пари в РП високого тиску $1 - а$ - політропний дійсний процес. Процес $а - б$ - вторинний ізобарний перегрів пари в проміжному пароперегрівнику парогенератору, який відбувається звичайно до початкової температури $t_1 = t_{ВП}$. Процес $б - 2$ - політропний процес розширення пари у РП низького тиску, який аналогічно будується. При P_2 знаходимо температуру відробленої пари у конденсаторі t_2, яка є температурою насичення при P_2. В точках відбору $в_1$ знімаємо відповідні ентальпії, а також h_1, h_2, які потрібні для розрахунку ТС. Визначаємо температури пари $t_{в_1}$ у кожному відпорі і по $P_{в_1}$ знаходимо також t_{H_i}.

Треба також врахувати гідравлічні втрати тиску на подолання тертя трубопроводів, клапанів перепуску, в запірних клапанах. Дійсний необхідний тиск потрібно брати вище на $3 \div 8\%$, тобто $P/0{,}95$ беремо для прикладу, де P - тиск, який створюють насоси.

11.2. Розрахунок елементів ТС

Позначаємо:

$Д$ – кількість пари, яку виробляє ПК, кг/с;

$Д_о$ – витрати пари на турбіну, яка виробляє електричну, теплову енергію, кг/с;

$Д_{тех}$ – кількість гострої пари, яка безпосередньо з котла поступає на виробництво, кг/с;

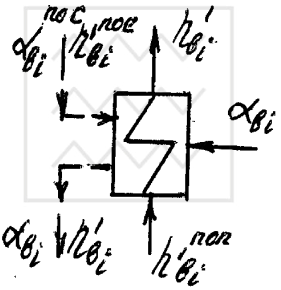
Національний університет водного господарства та природокористування

$Д_{втр}$ – втрати пари на продувку $Д_{пр}$, на ущілення $Д_{у}$, на ежектор конденсату $Д_{е}$, на дробоочищення котла $Д_{др}$, на обдувку поверхонь нагріву котла $Д_{обд}$, на форсунки $Д_{ф}$, на мазутне господарство $Д_{маз}$, власні потреби $Д_{вп}$.

$$Д = (Д_{о} + Д_{тех} + Д_{втр}) \cdot K, \ кг/с .$$

З розрахунку елементів ТС визначаємо $Д_{в_i}$ – пару відборів, приймаємо $Д_{тех}$, $Д_{втр}$ і коефіцієнт запасу $K = 1,\ 1 \div 1{,}3$, визначаємо $Д$, яка повинна співпадати з паропродуктивністю парових котлів, неув'язка (помилка) повинна бути не більш $3 \div 5\ \%$.

Розрахунок Р(с), ПСВ, ОДВ, МП аналогічний розрахунку ТС котельні.



Розрахунок $РП_i$ (поверхневого типу), де

- $\alpha_{в_i}^{пов}$ – частка відбору попереднього РП;
- $\alpha_{в_i}^{пос}$ – частка відбору послідуючого РП;
- відповідно ентальпії $h_{в_i}^{'пов}, h_{в_i}^{'пос}, h'_{в_i}$ конденсату попереднього, послідуючого і РП, що розглядається.

Тепловий баланс

Так як частки відбору, починаючи з першого РП до останнього, для РП високого тиску зливаються в $Д$, або частки відбору для РП низького тиску зливаються в конденсатор, то через РП проходить весь конденсат в кількості одиниці.

$$\alpha_{в_i} (h_{в_i} + h'_{в_i}) = 1 \cdot (h'_{в_i} - h_{в_i}^{'пов}).$$

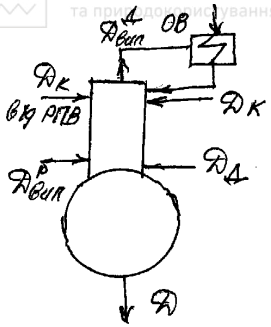
Звідси визначаємо частку відбору $\alpha_{в_i}$. Недогрів конденсату внаслідок втрат складає до 5% ($\eta_{РП} = 0{,}98$, q_5 до 3%).

Розрахунок $Д$ ***і ОВ***.

$Д_{хов}$ – для поповнення $Д_{втр}$ і неповернення конденсату з вироб-

Національний університет водного господарства та природокористування

ництва.



$Д_К$ з *РП* низького тиску (*РПН*)

Матеріальний баланс

$$Д - Д^{Д}_{вип} = Д^{РПВ}_{К} + Д_{хов} + Д^{Р}_{вип} + Д_{Д}$$

або в частках:

$$1 = \alpha^{РПН}_{i} + \alpha^{РПВ}_{i} + \alpha_{хов} + \alpha^{Р}_{вип} + \alpha_{Д} - \alpha^{Д}_{вип};$$

РПВ ***– регенеративні підігрівачі високого тиску***.

Енергобаланс

$$Д \cdot h_{жв} + Д^{Д}_{вип} \cdot h^{Д}_{вип} = Д_{Д} \cdot h^{Д}_{п} + Д^{РПН}_{К_i} \cdot h'^{РПН}_{в_i} + Д_{хов} \cdot h_{хов} +$$

$$+ Д^{РПВ}_{К_i} \cdot h^{РПВ}_{в_i} + Д^{Р}_{вип} \cdot h^{Р}_{вип},$$ або в частках

$$h_{жв} - \alpha^{Д}_{вип} \cdot h^{Д}_{вип} = \alpha_{Д} \cdot h^{Д}_{п} + \alpha^{РПН}_{К_i} \cdot h^{РПН}_{в_i} + \alpha_{хов} \cdot h_{хов} +$$

$$+ \alpha^{РПВ}_{К_i} \cdot h^{РПВ}_{в_i} + \alpha^{Р}_{вип} \cdot h^{Р}_{вип}.$$

Неув'язка балансу повинна бути не більше 5%.

Національний університет водного господарства та природокористування

Тема 12. Енергобаланс ТЕЦ

12.1. Енергобаланс ТЕ

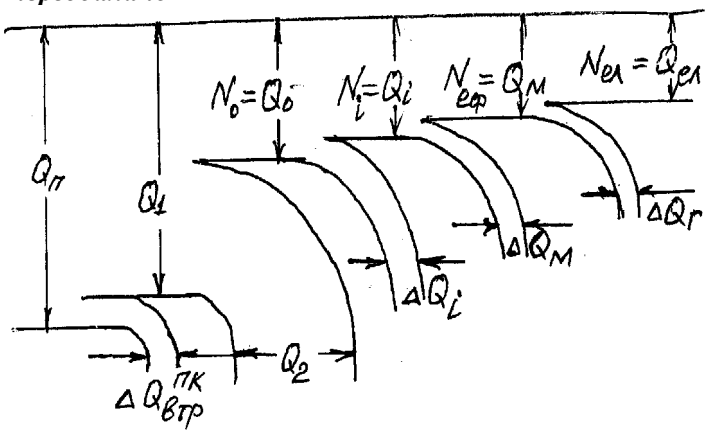


Рис.12.1. Енергобаланс

$Q_п$ – тепло палива, $Q_п = B \cdot Q^{Р}_{н} \cdot 10^{-3}$, МВТ, де

Національний університет
та природокористування

B – витрата палива, кг/с;

$Q_н^P$ – нижча теплота згоряння палива, кДж/кг;

Q_1 – підведене тепло до робочого тіла, МВт;

$\Delta Q_{втр}^{ПК}$ – втрати енергії у ПК, МВт;

Q_2 – втрати тепла в конденсаторі, МВт;

$Q_2 \approx 0{,}5 \cdot Q_1$ для КЕС, для ТЕЦ $Q_2 \approx 0{,}2 \cdot Q_1$;

N_0 – теоретична потужність турбіни, МВт;

ΔQ_i – внутрішні втрати енергії на подолання тертя у проточній частині турбіни, МВт;

N_i – внутрішня потужність турбіни, МВт;

$\Delta Q_м$ – механічні втрати енергії на подолання тертя в підшипниках, МВт;

$N_{еф}$ – ефективна потужність турбіни (на валу), МВт;

$\Delta Q_г$ –втрати енергії у генераторі, МВт;

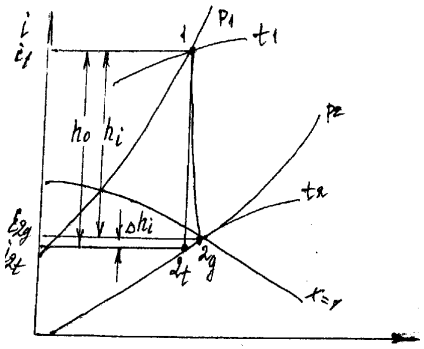
$N_{ел}$ – електрична потужність, МВт.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

ККД: $\eta_{їÊ} = \dfrac{Q_1}{Q_n}, \eta_t = \dfrac{Q_0}{Q_1}; \eta_{0i} = \dfrac{N_i}{Q_0}; \eta_ì = \dfrac{N_{åô}}{N_i}; \eta_Ã = \dfrac{N_{åë}}{N_{åô}}.$

відповідно: парового котла, термічний, внутрішній відносний, механічний, генератора.

Визначення потужностей



h_0 – теоретичний теплоперепад, кДж/кг;

h_i – дійсний теплоперепад, кДж/кг.

$h_0 = h_1 - h_{2t}$

$h_i = h_1 - h_{2g}$

Δh_i – внутрішні втрати на тертя.

Національний університет водного господарства та природокористування

$$\eta_{0i} = \frac{h_i}{h_0}; \eta_t = \frac{h_0}{q_1}; \quad q_1 = h_1 - h_2'; h_2 = 4{,}19 \cdot t_2; t_2 = t_н^{P_2};$$

$$N_0 = Д_0 \cdot h_0, кВт; \quad N_{ел} = Q_п \cdot \eta_{ПК} \cdot \eta_t \cdot \eta_{0i} \cdot \eta_м \cdot \eta_T, кВт;$$

$$N_i = Д_0 \cdot h_i, кВт; \quad N_{еф} = Q_п \cdot \eta_{ПК} \cdot \eta_t \cdot \eta_{0i} \cdot \eta_м, кВт;$$

$$Q_1 = Д_0 \cdot q_1, кВт; \quad q_0 = q_1 - q_2, \; кДж/кг;$$

$$Q_2 = Д_0 \cdot q_2, кВт; \quad q_2 = h_2 - h_2', \; кДж/кг.$$

Витрата пари:

для КЕС $Д_0 = \frac{N_{ел}}{h_i \cdot \eta_м \cdot \eta_T}, \; кг/с$

для ТЕЦ $Д_0 = \frac{N_{ел}}{h_i \cdot \eta_м \cdot \eta_T} + y_{тех} \cdot Д_{тех} + y_{оп} \cdot Д_{оп}, \; кг/с,$

де $Д_{тех}$ – кількість пари, яка подається технологічному споживачу з відбору, кг/с;

$Д_{оп}$ – кількість пари, яка подається на опалення з відбору до МГ, кг/с;

$y_{тех} = \frac{h_{тех} - h_к}{i_в - i_к}$ – коефіцієнт недовироблення електроенергії на технологічному відборі;

$y_{оп} = \frac{h_{оп} - h_к}{h_в - h_к}$ – коефіцієнт недовироблення електроенергії на теплофікаційному відборі.

Коефіцієнт використання тепла на ТЕЦ

$$K = \frac{N_{ел} + Q_{тех} + Q_{оп}}{Q_п} \cdot 100, \; \%,$$

де $Q_{тех} = Д_{тех}(h_{тех} - h_к)$, кВт;

$Q_{оп} = Д_{оп}(h_{оп} - h_к)$, кВт .

Національний університет водного господарства та природокористування

12.2. Техніко-економічні показники (ТЕП)

Котельні

– $\eta_{КА}^{бр} = \frac{Q_1}{Q_п} = \frac{Д(t_п - h_{жв})}{B \cdot Q_н^P}$, кВт – ККД ПК брутто (по вироблен-ню тепла);

– $\eta_{КА}^{нт} = \frac{Q_1 - Q_{ВП}}{Q_п}$, кВт – ККД ПК нетто (по відпуску те-пла);

$$Q_{ВП} = Q_{пр} + Q_ф + Q_{маз} + Q_{обд} + Q_{в/п} + Q_{жн} + Q_Д + Q_{оп} + Q_{гв}.$$

– питома витрата палива (умовного)

$$b_y = \frac{0{,}034}{\eta_{КА}^{бр}}, \; кг/МДж;$$

$$b_y = \frac{143}{\eta_{КА}^{бр}}, \; кг/Гкал;$$

ТЕЦ

– ККД по відпуску електроенергії (ЕЕ)

$$\eta_{ТЕЦ} = \eta_{ПК} \cdot \eta_t \cdot \eta_{0i} \cdot \eta_м \cdot \eta_Г \cdot \eta_{паропровід}.$$

– коефіцієнт використання тепла К

– питома витрата палива (по відпуску ЕЕ).

$$b_y = \frac{0{,}123}{\eta_{ПК}^{бр}}, \frac{кг}{кВт \cdot г}.$$

Змістовий модуль 3. Основне і допоміжне обладнання

Тема 13. Основне обладнання

13.1. Класифікація котлів

– в залежності від агрегатного стану робочого тіла – води, котли бувають парові (ПК), водогрійні (ВК), змішані – пароводогрійні (ПВК);

Національний університет водного господарства

– в залежності від тиску робочого тіла, котли бувають низького тиску (P менш 14 бар), середнього ($P = 15 \div 40$ бар), високого тиску (P більш 40 бар);
– в залежності від потужності: малої потужності (менш 30 МВт), середньої ($31 \div 75$ МВт), великої потужності (більш 75 МВт);
– в залежності від палива і способів його спалювання: камерні, шарові (сьогодні не експлуатуються), вихорні, циклонні, з киплячим шаром, з шахтовими млинами, з предтопкою, з камерами догоряння, котли з глибоким охолодженням продуктів згоряння, з наддувом…;
– в залежності від організації руху робочого тіла, продуктів згоряння, котли бувають з природною і примусовою циркуляцією, водотрубні, жаротрубні…, в залежності від способу відводу продуктів згоряння – з рідким і сухим золошлаковідведенням;
– в залежності від призначення – опалювальні, енергетичні котли, котли-утилізатори, транспортні.

13.2. Номенклатура котлів

Всі сучасні котли з природною циркуляцією позначаються літерою *Е* і далі додаються продуктивність, а також літери: *Ж* – рідке шлаковідведення; *В* – вихорна топка; *Ц* – циклонна топка; *Р* – шарова топка; *Н* – наддув; *Г*, *М*, *Т* – газ, мазут, тверде паливо. Інші позначення:

– Котли $E_{П}$ – з проміжним (вторинним) підігрівом пари;
– Котли $П_{П}$ – прямотокові з промперегрівом;
– *КУ* – котел-утилізатор;
– *ПТВМ* – прямотокові, теплофікаційні, водяні потужні модернізовані котли до 180 Гкал/год (210 МВт) з витратою води до 3680 м^3/год, з великим тепловим навантаженням.

Все це зроблено ГОСТом, щоб зменшити і упорядкувати різноманітні заводські позначення – ТП, ПК, БГ, БМ, БКЗ, ГМ, К, КТК, ТС, СУ, СА, ДКВР, КЕ, ДЕ, Д, КВ, ТВГ, СКУ, ПКС, КС, ВТКУ і десятки інших.

Таблиця 13-1

Технічна характеристика ВК

Характеристики	Тип котла											
	VK-100	VK-300	VK-600	КВ-0,3	КВ-0,5	КВ-0,82	КСВ-1	КСВ-2	КСВ-3	Logano 4,2	Logano 11,2	Logano 19,2
Потужність Q, $МВт$	0,1	0,3	0,6	0,3	0,5	0,83	1	2	3	4.2	11,2	19,2
Тиск P, $бар$	3	4	4	4	4	4	6	6	6	14	14	14
Температура, $^{\circ}C$	90	90	90	95	95	95	115	115	115	120	120	190
ККД $\eta_к$, $\%$	92	92	92	90	90	90	91	91	91	97,5	97,5	98
Температура відх. газів, $^{\circ}C$	105	100	100	160	160	160	110	110	110	$105/36$	$112/36$	$110/36$
Об'єм води, $м^3$	0,1	0,28	0,5	1,03	1,72	2,73	1,3	1,76	6,42	3,4	10,1	27,3
Продуктивність, $Д$, $м^3/_{хв}$	0,05	0,2	0,3	0,17	0,29	0,5	0,34	0,7	1	72,0	192,0	329,2
Паливо	Газ солярка	Газ солярка	Газ солярка	Кв Газ Др	Кв Газ Др	Кв Газ Др	Газ	Газ	Газ	Газ рідке	Газ рідке	Газ рідке
Витрата палива B, $м^3/_{год}$	10,6	40	80	34	64	104	115	230	340	390	1039	1781
Поверхня нагріву H, $м$	2,3	9,4	16,6	10	23	33	20	40	66	82	280	420

Таблиця 13-2

Технічні характеристики ВК

Характеристики	Тип котла												
	КВ-ГМ	КВ-ТС	КВ-ГМ	КВ-ТС	ТВГ	КВ-ГМ	КВ-ТС	КВ-ГМ	КВ-ТС	КВ-ГМ ПТВМ	КВ-ГМ ПТВМ	КВ-ГМ ПТВМ	ПТВМ
Потужність *ГКал/год*	4	4	6,5	6,5	8	10	10	20	20	30	50	100	180
Потужність Q, *МВт*	4,66	4,66	7,57	7,57	9,3	11,64	11,64	23,3	23,3	34,9	58,2	116,3	209,3
Тиск P, *бар*	8÷25	8÷25	8÷25	8÷25	8÷25	8÷25	8÷25	8÷25	8÷25	8÷25	8÷25	8÷25	8÷25
Об'єм води, $V_в$ $м^3/год$	50	50	80	80	102	124	124	247	247	450	800	2000	3680
Температура відх. газів, $V_{відх.}$, $^\circ C$	150	155	150	155	150	180	180	180	180	190	180	182	182
ККД ВК, $\eta_к$, %	91	81	92	82	92	91,7	82,6	92	83	91	93	93	91,5
Витрата палива B, $м^3/год$	0,143	0,36	0,23	0,57	0,295	0,4	0,6	0,8	0,68	1,45	1,77	3,54	7,02
Площа нагріву $H_р$, $м^3$	38,6	39	49	49	55	54	57	107	107	129	245	390	479
Площа нагріву $H_к$, $м^3$	88,7	89	150	150	170	222	207	407	407	693	1223	3600	5500
Теплова напруга q_v, $кВт/м^3$	110	110	150	150	190	295	364	450	380	350	300	910	470
Об'єм тиску V_T, $м^3$	8,1	8,1	10	10	15	38,3	38,3	61,2	61,2	77,6	150	390	461
Паливо	ГМ	КВ	ГМ	КВ	Г	ГМ	КВ	ГМ	КВ	ГМ	ГМ	ГМ	ГМ

Таблиця 13-3

Технічні характеристики ПК (Е-4÷420)

Характеристика	Тип котла											
	ТП-35	ТП-170	ТП-120 ПК-120	ТП-130	ТП-150	ТП-230	ТП-80	ДЕ, КЕ ДКВР	ДЕ, КЕ ДКВР	ДЕ, КЕ ДКВР	ДЕ, КЕ ДКВР	ДЕ, КЕ	К, П1
Продуктивність, $Д$ *Т/год (кг/с)*	35 (9,7)	170 (47,3)	120 (33,4)	130 (36)	150 (42)	230 (64)	420 (117)	4 (1,1)	6,5 (1,8)	10 (2,8)	16 (4,5)	25 (7)	50 (13,9)
Потужність Q, *МВт*	23,1	112	79,2	85,8	99	152	277	2,64	4,3	6,6	9,9	16,4	32,9
Тиск P, *бар*	39	100	100	32	32	100	155	14	14	14	14	14	14
Температура, $t\,^{\circ}C$	450	510	510	420	420	510	570	195	195	195	195	195	250
ККД ВК, $\eta_к$, %	86	89	90	90	90	89	90	90,3	91	92	92	93	90
Витрата палива B, *кг/с*	1,09	5,13	3,5	5,7	6,1	6,9	12,7	0,084	0,136	0,21	0,332	0,513	1,49
Паливо	АШ	КВ	АШ	КВ	КВ,Т	КВ	АШ	ГАЗ	ГАЗ	ГАЗ	ГАЗ	ГАЗ	ГАЗ
Об'єм топки, V_T, $м^3$	243	900	698	680	780	1100	2330	7,9	11,1	16,8	22,1	28,6	144
Теплова напруга, q_v, *кВт/* $м^3$	180	150	120	150	150	170	150	330	380	380	465	550	187
Тем-ра відх. газів, $V_{відх.}\,^{\circ}C$	144	150	130	450	450	460	124	150	146	157	140	158	126
Поверхні нагріву $H_р$, $м^2$	150	500	406	391	240	600	1440	22	28	40	48	61	165
$H_ф$, $м^2$	42	116	88	213	140	184	160	70	110	130	156	300	27
$H_{пп}$, $м^2$	245	545	570	791	408	620	690						65
$H_{вс}$, $м^2$	424	700	1100	1170	1140	940	3800						1062
$H_{вп}$, $м^2$	2060	4900	2904	3660	5910	1100	18500						1496

Таблиця 13-4

Технічні характеристики котлів ПК ТС

Найменування	Тип котла										
	ТС 20	ТС 20	ТС 35	ТС 20	ТС 35	ТС 35	ТС 20	ТС 20	ТС 35	ТС 35	ТС 12
Паропродуктивність, $Д$ *Т/год*	20	20	35	20	35	35	20	20	35	35	12
Тиск P, *бар*	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
Температура, $t_{пе}$ $^{\circ}C$	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
$t_{відх.}$, $^{\circ}C$	145	154	130	167	120	122	192	135	134	143	151
V_m''. $^{\circ}C$	960	1040	1070	962	1025	970	936	940	920	994	887
$t_{ГП}$, $^{\circ}C$	150	150	150	170	150	300	390	280	220	200	250
$\eta_к$, %	83	77	83	85	86	88	82	87	87	77	89
Паливо	КВ	АРШ	АРШ	БВ	БВ	КВ	ФТ	БВ	БВ	КТ	КВ
Об'єм топки, $V_Т$, $м^3$	80	97	150	82	140	206	113	109	206	140	60
Поверхня: $H_р$, $м^2$	86	73	102	104	104	104	104	104	104	104	59
$H_ф$, $м^2$	28	28	42	110	110	110	110	110	110	110	25
$H_{пп}$, $м^2$	68	68	105	68	105	105	68	68	105	105	50
Теплова напруга q_v, $кВт/м^3$	188	180	164	180	203	107	165	131	122	177	180
q_F, $кВт/м^3$	1070	830	776	1050	1110	1006	1110	1110	1080	976	392

Таблиця 13-5

Технічні характеристики ПК (Е-4÷420)

Характеристика	Тип котла												
	БГ-35	БМ-35	БГ-20	БМ-20	БГ-15	БМ-15	Д-9	СУ-9	СА-9	БКЗ-50	БКЗ-75	БКЗ-75	ГМ-35
Продуктивність, $Д$ *Т/год* (*кг/с*)	35 (9,7)	35 (9,7)	20 (5,6)	20 (5,6)	15 (4,2)	15 (4,2)	420 (117)	9 (2,5)	9 (2,5)	9 (2,5)	50 (14)	75 (20,9)	35 (9,7)
Потужність Q, *МВт*	23	23	13,2	13,2	9,9	9,9	5,94	5,94	5,94	32,9	49,5	49,5	23
Тиск P, *бар*	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
Температура, $t\,^{\circ}C$	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
Тем-ра відх. газів, $V_{відх.}, ^{\circ}C$	130	167	124	185	116	178	200	180	180	140	127	135	167
Паливо	ГАЗ	МАЗ	ГАЗ	МАЗ	ГАЗ	МАЗ	Др	БВ	АШ	ФТ	ГАЗ	ФТ	ГАЗ
ККД $\eta_к$, %	92	91	98	90	92,2	90	78	83	71	85	92	88	90
Об'єм топки, V_T, $м^3$	147	147	67,8	65,2	46,8	45	20,5	22	22	910	284	398	124
Теплова напруга, q_v, $кВт/м^3$	190	190	220	240	240	260	600	350	390	395	410	400	220
Поверхні нагріву $H_р$, $м^2$	136	130	99	93	82	75	23	25	25	230	251	236	130
$H_ф$, $м^2$	39	39	-	-	-	-	13	13	13	40	51	74	37
$H_{пп}$, $м^2$	147	409	95	182	135	156	57	72	72	150	380	100	332
$H_{ве}$, $м^2$	554	554	318	318	246	246	111	151	151	480	1070	560	338
$H_{вп}$, $м^2$	800	800	553	385	369	256	206	262	255	2700	2710	2200	830

Таблиця 13-6

Технічна характеристика КА (ДКВР)

Найменування	Позн.	Розм.	Е-2,5 ДКВР		Е-4 ДКВР		Е-6,5 ДКВР		Е-10 ДКВР		Е-16 ДКВР	
			Г	В	Г	В	Г	В	Г	В	Г	В
Паропродуктивність	$Д$	$Т/год$	2,5	2,5	4	4	6,5	6,5	10	10	16	16
Пар насичений	$Д$	$Кг/с$	0,695	0,695	1,11	1,11	1,81	1,81	2,78	2,78	4,17	4,17
Теплова потужність	Q	$МВт$	1,65	1,65	2,64	2,64	4,3	4,3	6,59	6,59	9,9	9,9
Тиск	P	$бар$	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Температура	t_H	$^\circ C$	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195
Об'єм топки	V_T	$м^3$	12	10,4	15,6	13,7	24,6	20,8	43	37,4	59	48
Теплова напруга топкового об'єму	q_V	$кВт/м^3$	169	197	218	253	222	263	195	227	220	290
Теплова напруга дзеркала горіння	q_F	$кВт/м^2$	-	803	-	978	-	943	-	177	-	980
ККД	$\eta_к$	%	90	82	91	82,5	92	89,2	92	84	92,5	84,5
Втрати: q_2	q_2	%	4,7	6	4,7	6,6	4,5	6,2	4,6	6,1	4,2	6,0
q_3	q_3	%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
q_5	q_5	%	3,7	3,7	2,9	2,9	2,2	2,2	1,43	1,75	1,3	1,4
Поверхні нагріву	H_p	$м^2$	16,6	16,6	19,5	19,5	25	25	40	40	50	50
	H_K	$м^2$	74,7	74,7	118	109	200	183	237	235	260	255
Діаметр барабанів	-	$мм$	1032	1032	1032	1032	1032	1032	1032	1032	1032	1032

Національний університет водного господарства та природокористування

продовження табл.13-6

Довжина: верхнього	-	*мм*	3800	3800	5000	5000	6300	6300	6500	6500	7000	7000
нижнього	-	*мм*	1200	1200	1080	1080	2700	2700	3000	3000	4000	4000
Діаметр труб: екранів	-	*мм*	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
опускних труб	-	*мм*	140	140	140	140	150	150	160	160	170	170
Витрата палива	B	$м^3(кг)$/с	0,0565	0,084	0,0672	0,149	0,152	0,239	0,223	0,373	0,272	0,426
		$м^3(кг)$/ 360	203	318	242	536	546	860	840	1340	980	1530
Поверхня водяного економайзера	$H_{ве}$	$м^2$	70	83	106	106	165	165	248	248	320	320
Температура відхідних газів	$V_{відх.}$	$^\circ C$	115	135	115	145	110	137	115	140	115	135
Опір по газу	$\Delta H_Г$	*мм* H_2O	16	28	24	34	32	43	47	61	59	72
Габарити	l	*м*	6	6	6,9	6,9	8,8	8,8	10,8	10,8	13,5	13,5
	ш	*м*	3	3	3	3	3	3	3	3	4,5	4,5
	h	*м*	4	4	4	4	4	4	4	4	6,0	6,0

Національний університет водного господарства та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Таблиця 13-7

Продуктивність, потужність котлів

Т /год	2,5	4	6,5	10	16	25	35	50	75	100	120	160	180	220	320	420	640
кг/с	0,7	1,11	1,81	2,78	4,17	6,94	9,72	13,9	20,8	27,8	33,4	44,4	50	61,2	89	117	178
МВт	1,65	2,64	4,3	6,6	9,9	16,4	23	32,9	49,4	65,9	79,2	105	119	145	211	277	422

Прийняти: Тиск – 7, 14, 24, 40… до 160 *бар*

Температура – від t_H до $t_{пп} \approx 570^\circ C$

Коефіцієнт надлишку повітря $\alpha_T = 1{,}03 \div 1{,}8$

Теплова напруга $q_V = \dfrac{B \cdot Q_H}{V_T}$ [*кВт/м*^{3}]=100÷1000

Температура гарячого повітря $t_{ГП} = 150 \div 400^\circ C$

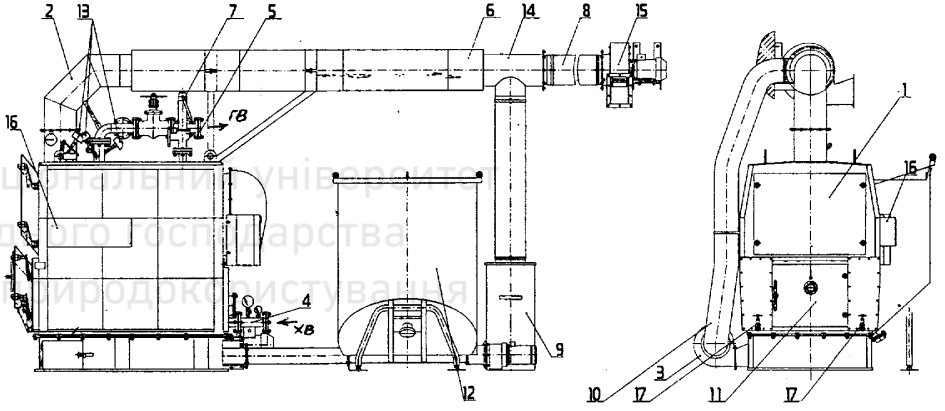
Втрати тепла, % $q_2 = 0 \div 0{,}3$

$$q_4 = 1 \div 3$$

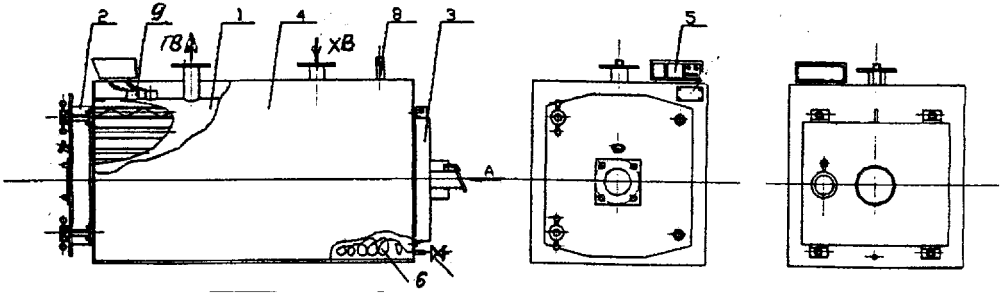
$$q_5 = 0 \div 3$$

Технічні характеристики прийняті для сучасних методів спалювання усіх видів палива дозволяють мати ККД котлів до 98%. У таблицях 13-1÷13-6 наведені деякі потрібні при проектуванні котелень і ТЕЦ технічні характеристики існуючих і нових котлоагрегатів із заводськими позначеннями. На рис.13-1÷7 – приведені схеми котлів, які можуть бути обрані при курсовому проектуванні.

Національний університет
водного господарства
та природокористування



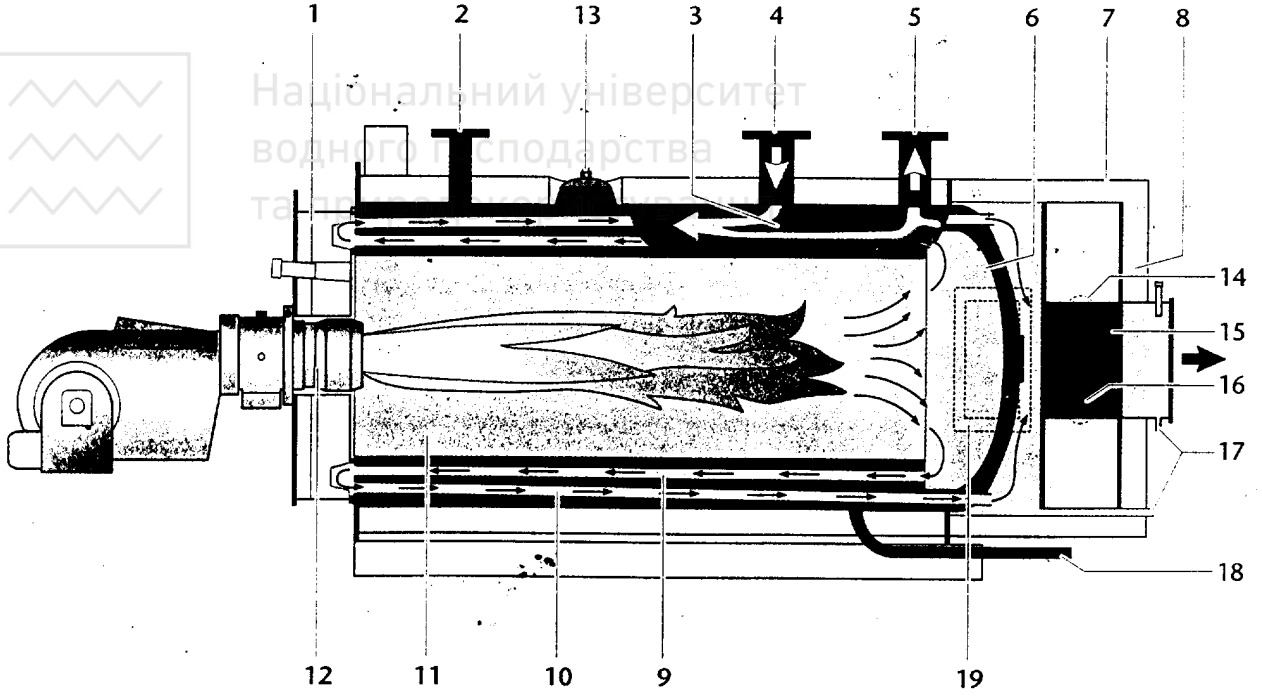
1-корпус; 2 – димохід; 3 – вентилятор; 4 – вхід; КВ; 5 – вихід ГВ; 6 – повітряпідігрівник; 7 – ЗК; 8 - газохід; ; 9 – золовловник;; 10 – повітряпровід; 11 – дверці; 12 – паливоподача; 13 – КВП; 14 – циклон; 15 - димосмок; 16 – блок управління; 17 – злив шлама



1 – корпус; 2,3 – передня та задня кришки; 4 – зовнішній корпус; 5 – пульт управління; 6 – теплова ізоляція; 7 – патрубок наповнення та зливу води; 8 – до розшир; 9 – датчики

Рис. 13.1. ВК типу К, VK

Національний університет
водного господарства
та природокористування



1-дверця пальника;
2 – запобіжна лінія;
3 – розподіл води;
4 – зворотня вода;
5 – подача води;
6 – поворотна камера;
7 – захист;
8 – ізоляція;
9 – другий хід;
10 – додаткова поверхня;
11 – топка;
12 – труба (змішувач);
13 – люк;
14 – подача конденсату;
15 – конденсат.ТА;
16 – зворотня лінія;
17 – злив конденсату;
18 – злив води;
19 – люк.

Рис. 13.2. ВК LOOS

Національний університет
водного господарства
та природокористування

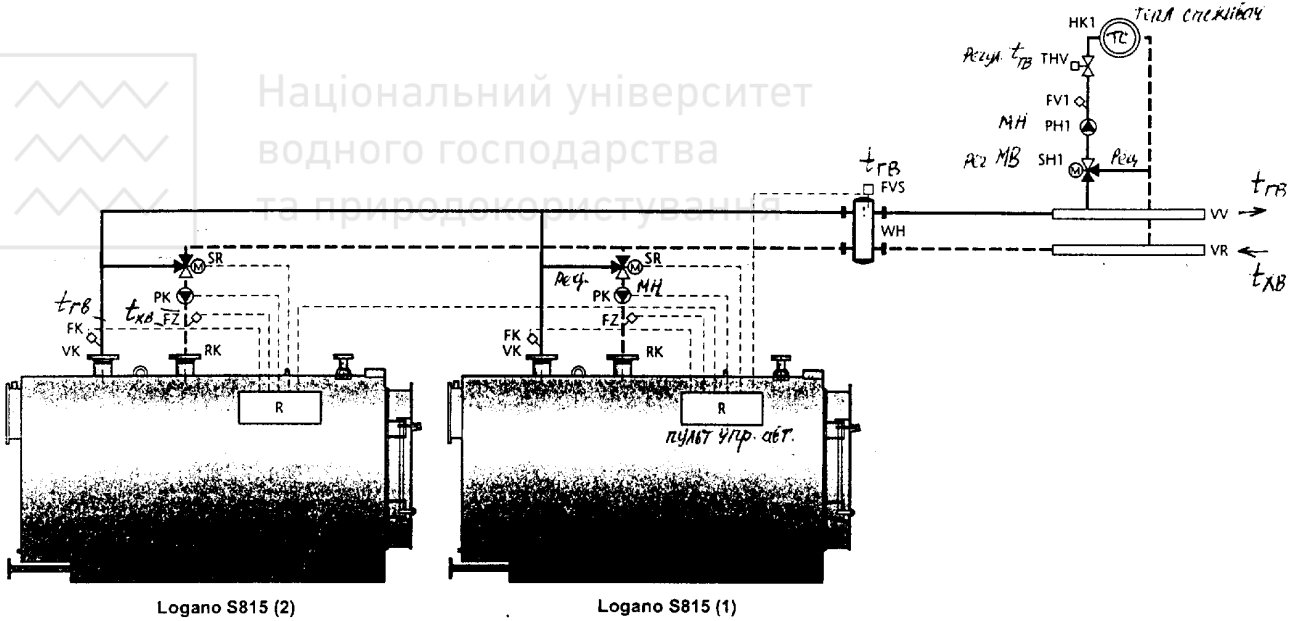
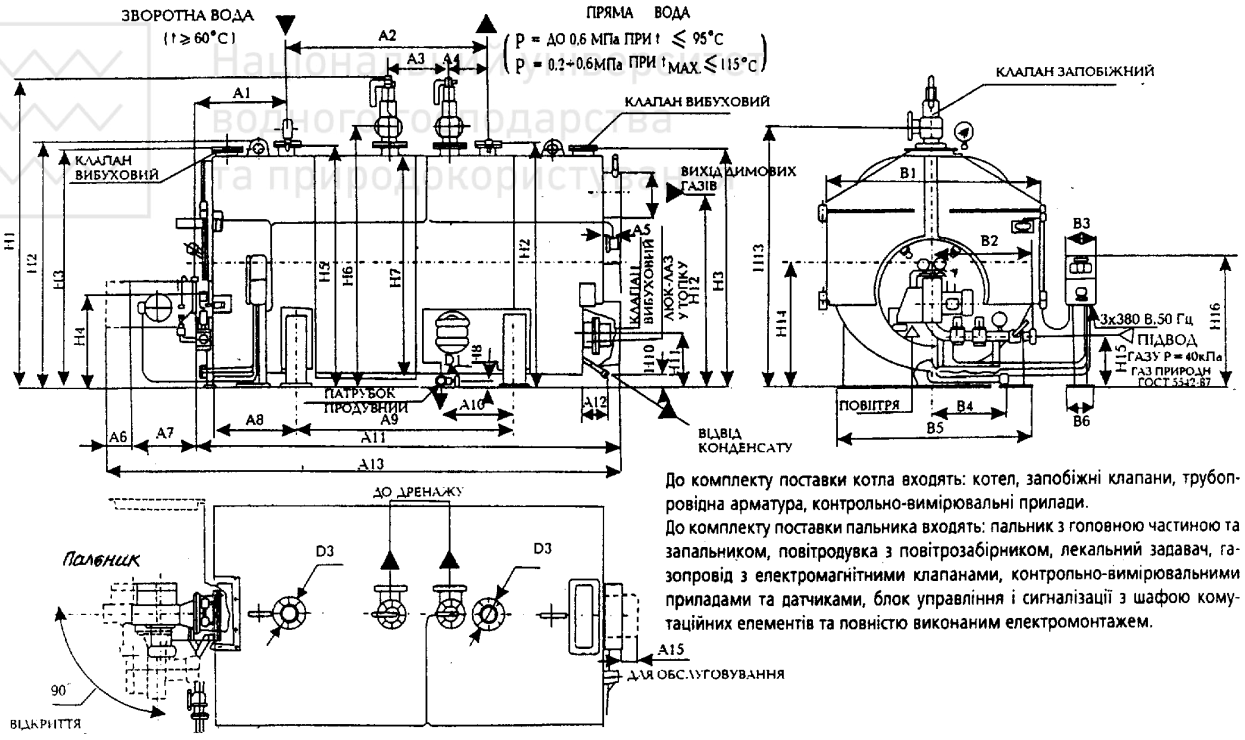


Рис. 13.3. ТС з двома ВК Logano S815 з системою регулювання:
FK – датчик регулювання $t_{КВ}$; VK – подача ГВ (пряма лінія); RK- зворотня лінія ХВ; FZ – датчик $t_{ХВ}$; FK-MH; SP - рециркуляційний насос; FVS – регулятор температури прямої лінії; PH – насос опалювальної системи; SH – регулятор рециркуляції опалювального контуру; R – система автоматичного регулювання; THV – автоматичний регулятор температури системи опалення



До комплекту поставки котла входять: котел, запобіжні клапани, трубопровідна арматура, контрольно-вимірювальні прилади.

До комплекту поставки пальника входять: пальник з головною частиною та запальником, повітродувка з повітрозабірником, лекальний задавач, газопровід з електромагнітними клапанами, контрольно-вимірювальними приладами та датчиками, блок управління і сигналізації з шафою комутаційних елементів та повністю виконаним електромонтажем.

Рис. 13.4. ВК КСВТ-3

Національний університет
водного господарства
та природокористування

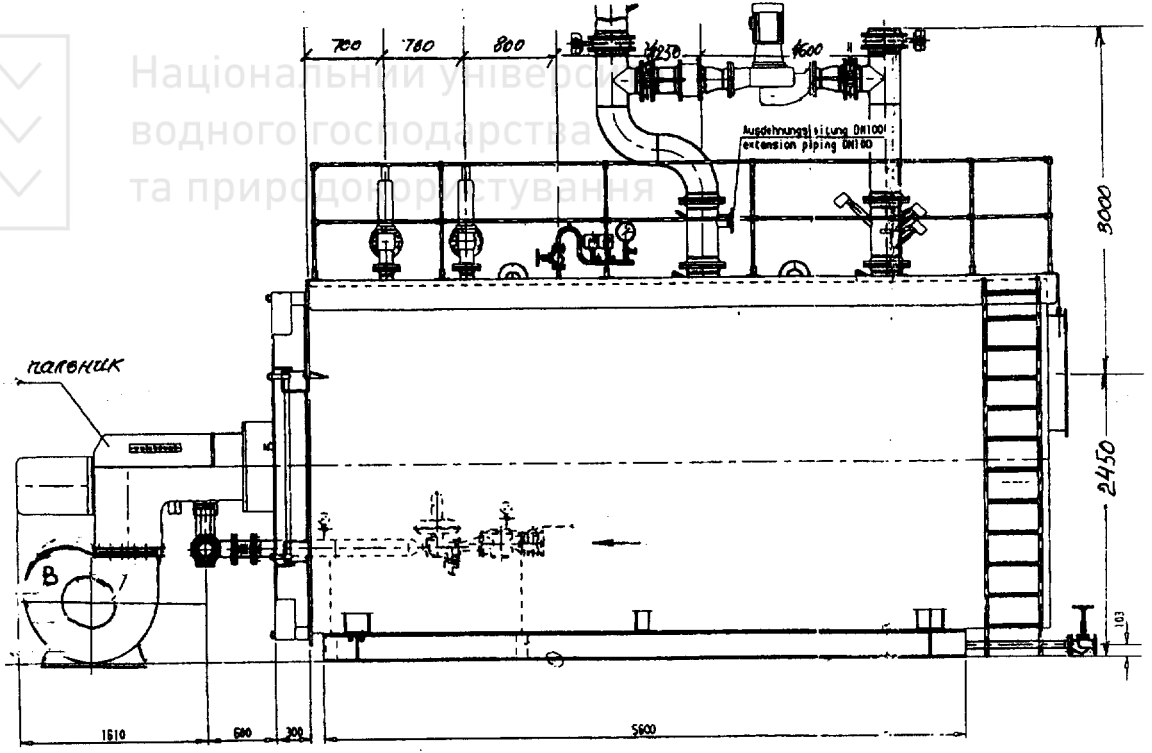


Рис. 13.5. ВК LOGANO - LOOS

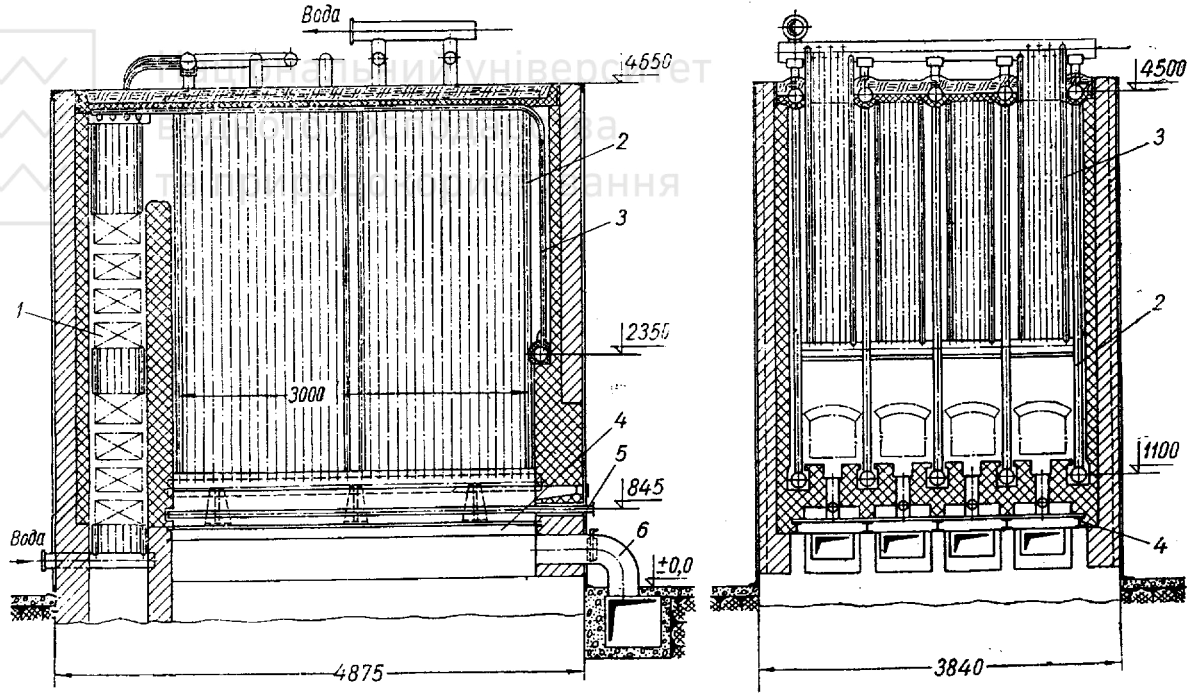


Рис. 13.6. Поздовжній і поперечний розрізи ВК ТВГ-8:
1 – конвективні поверхні нагріву; 2 – топкові екрани; 3 – верхні екрани; 4 – рама; 5 – пальник; 6 – повітряпровід

Національний університет водного господарства та природокористування

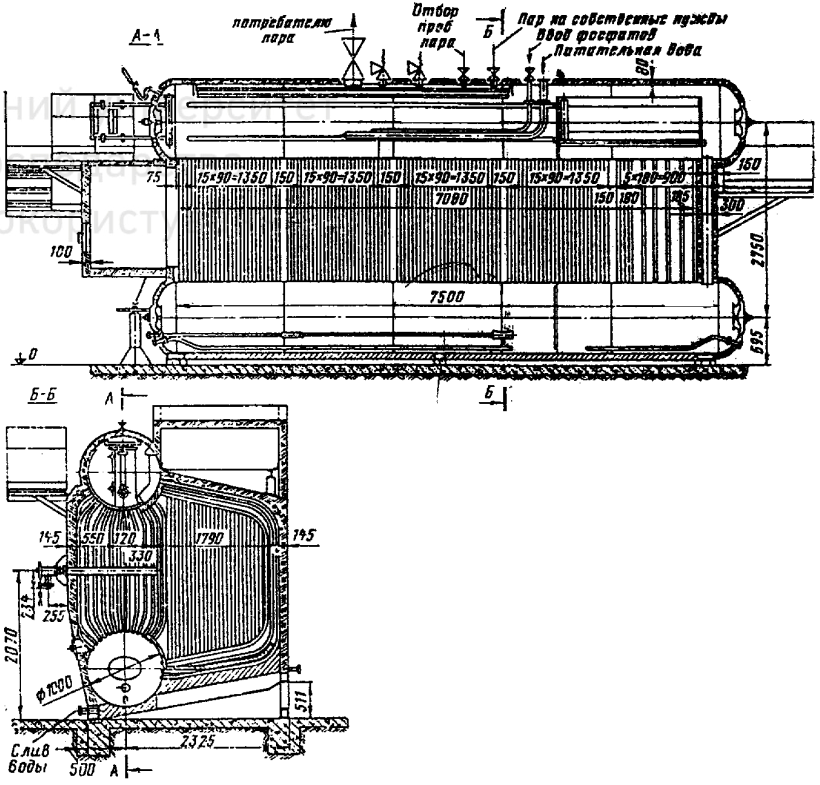


Рис. 13.7. Котлоагрегат ДЕ 4 – 14 ГМ

Національний університет
водного господарства
та природокористування

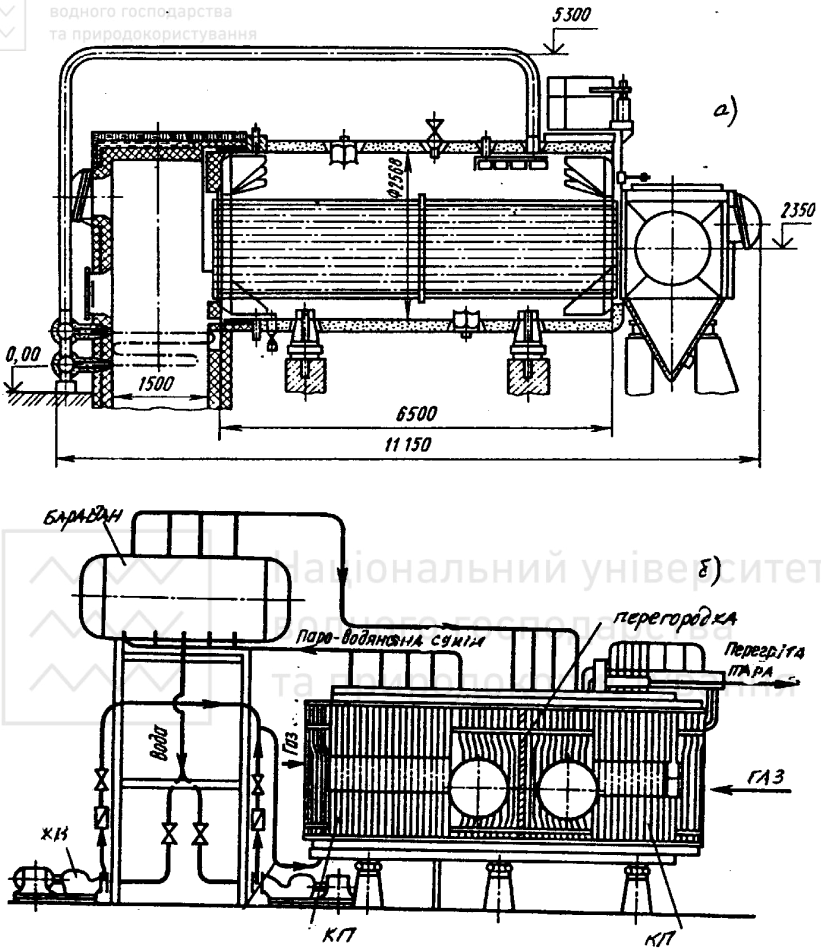


Рис. 13.8. КУ а) КУ-40; б) СКУ – 14/40

Національний університет
водного господарства
та природокористування

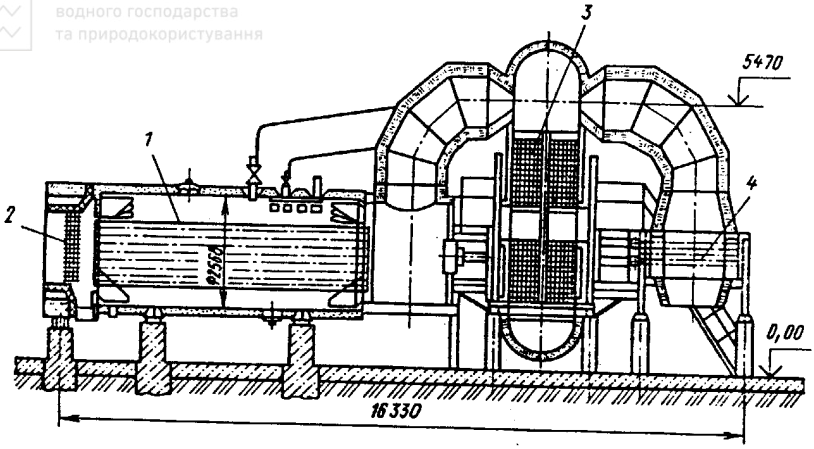


Рис. 13.9. Котел-утилізатор КУГ-66

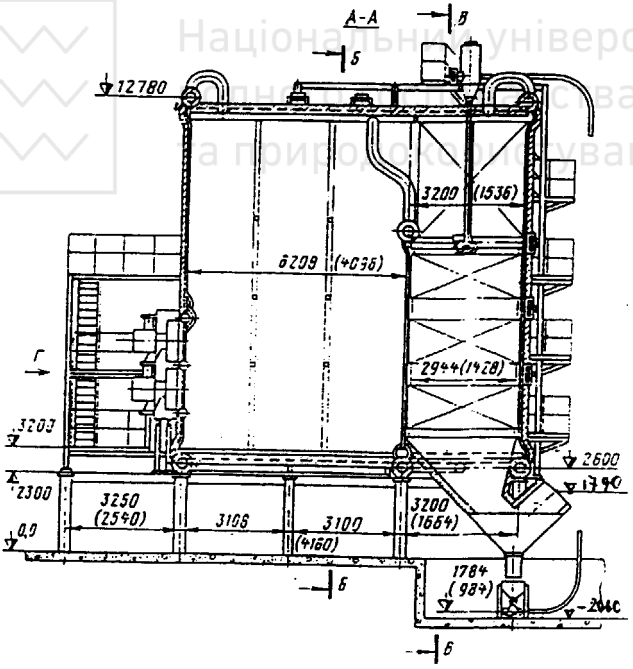


Рис. 13.10. Котлоагрегат КВ-ГМ-50

Національний університет
водного господарства
та природокористування

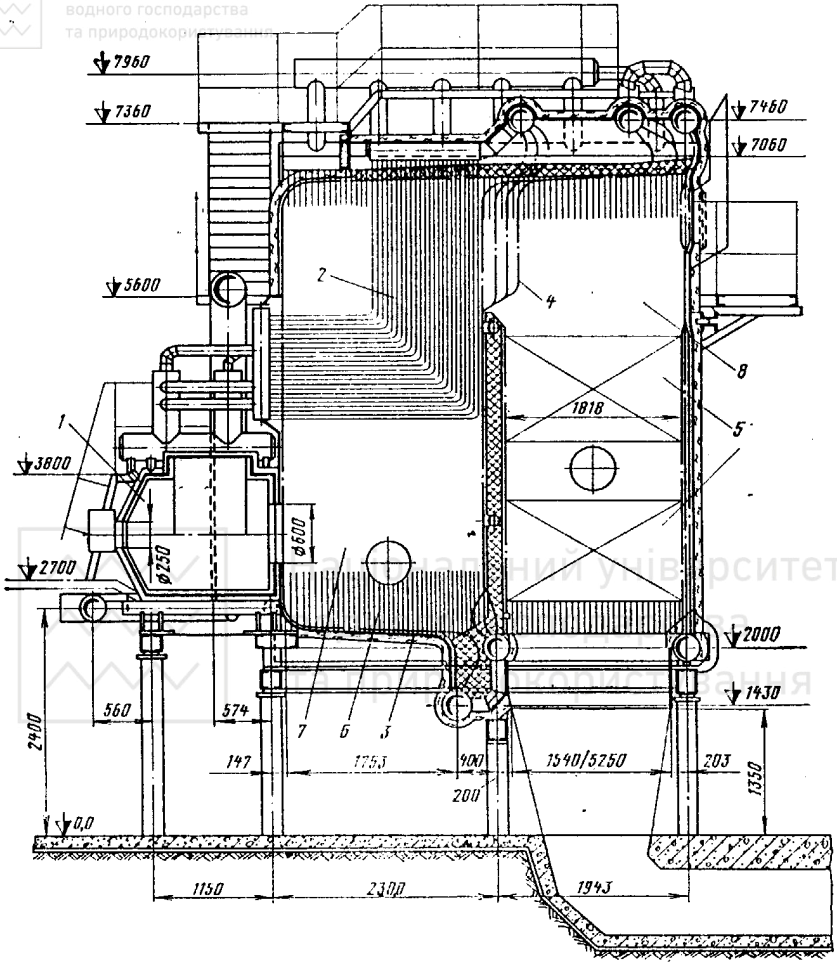


Рис. 13.11. ВК – 50Ц (Е-50Ц) – 58 МВт:
1 – циклон; 2 – ширми; 3, 4, 6 – екрани: фронт., задн., бокові; 5 – конвективні поверхні; 7 – топка; 8 – поворотна камера

Національний університет
водного господарства
та природокористування

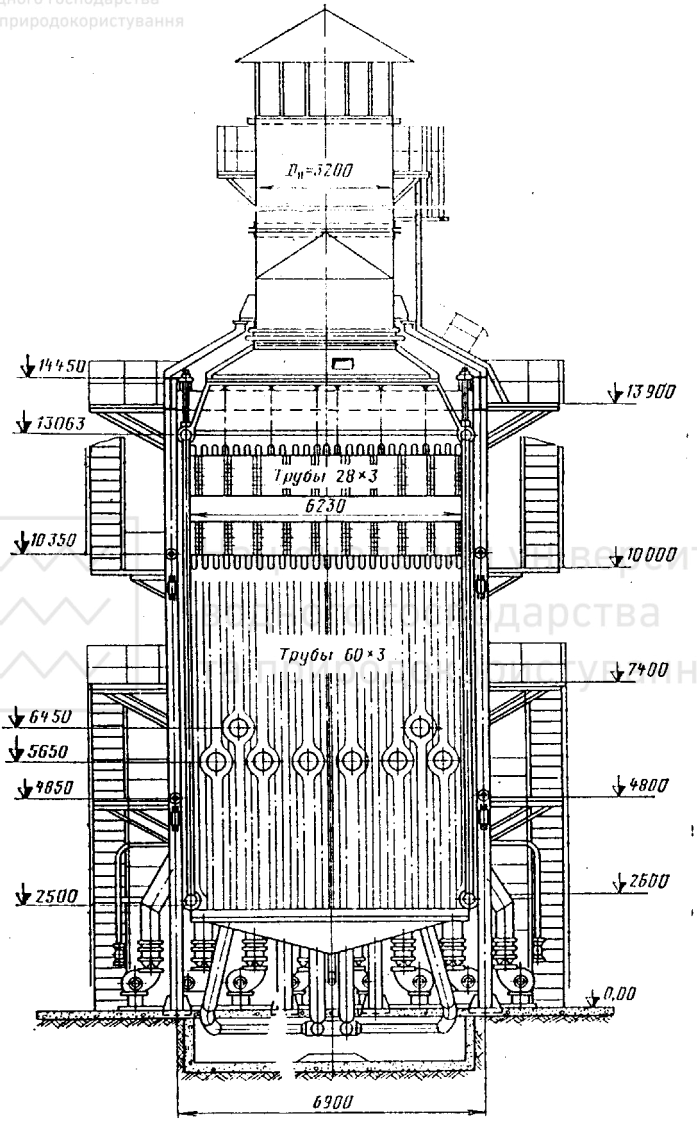


Рис. 13.12. Котлоагрегат ПТВМ-100

Національний університет
водного господарства
та природокористування

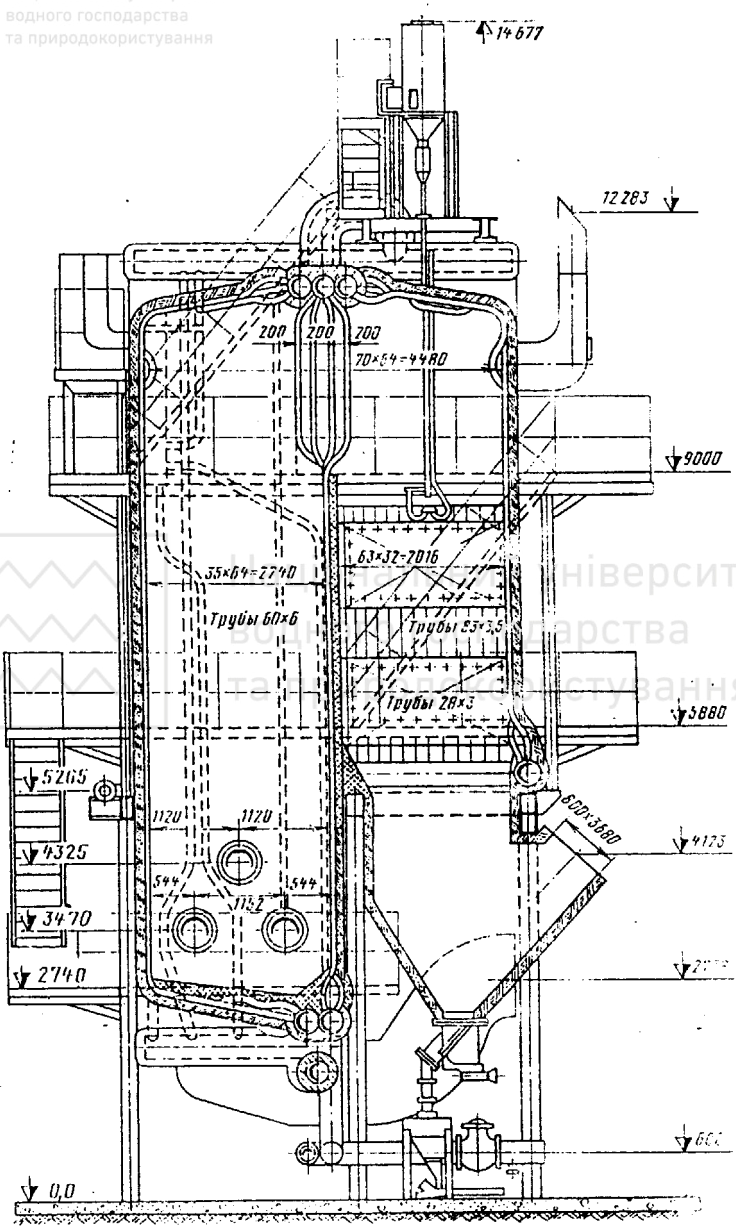


Рис. 13.13. Котлоагрегат ПТВМ-30М

Національний університет
водного господарства
та природокористування

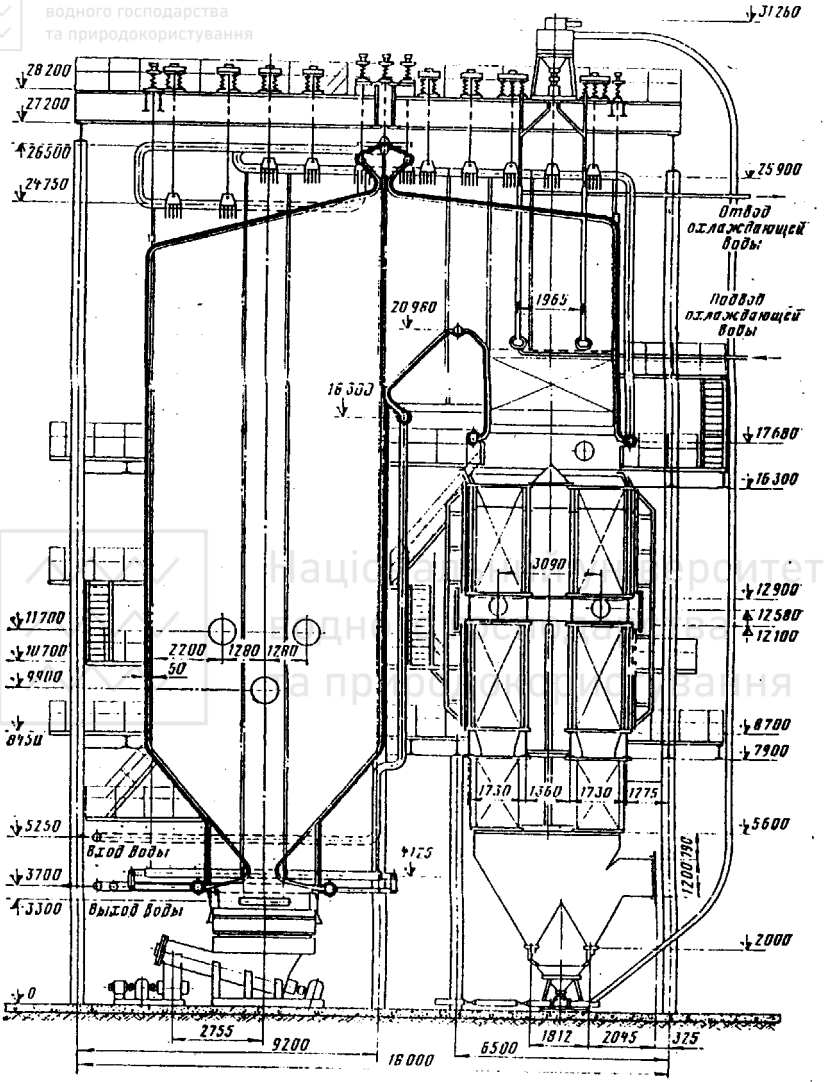


Рис. 13.14. Котлоагрегат КВ-ТК-100

Національний університет
водного господарства
та природокористування

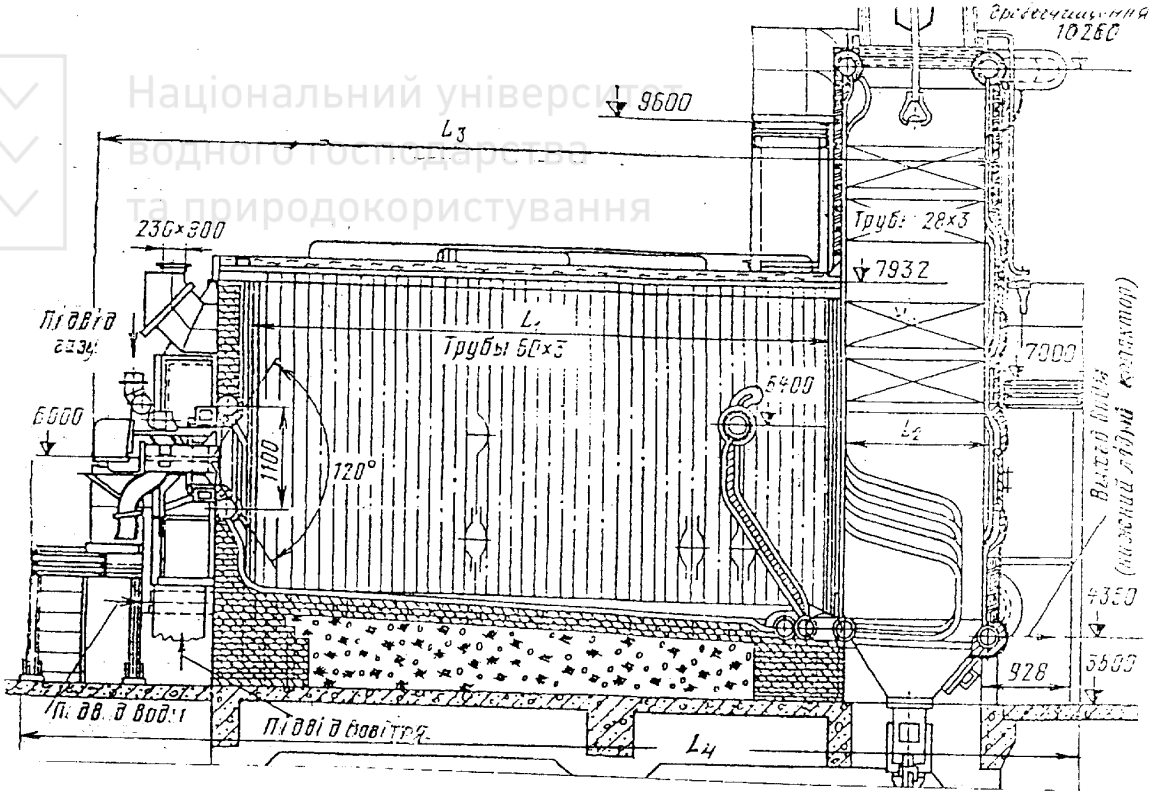


Рис. 13.15. ВК КВ-ГМ-10 (20, 30)

Національний університет
водного господарства
та природокористування

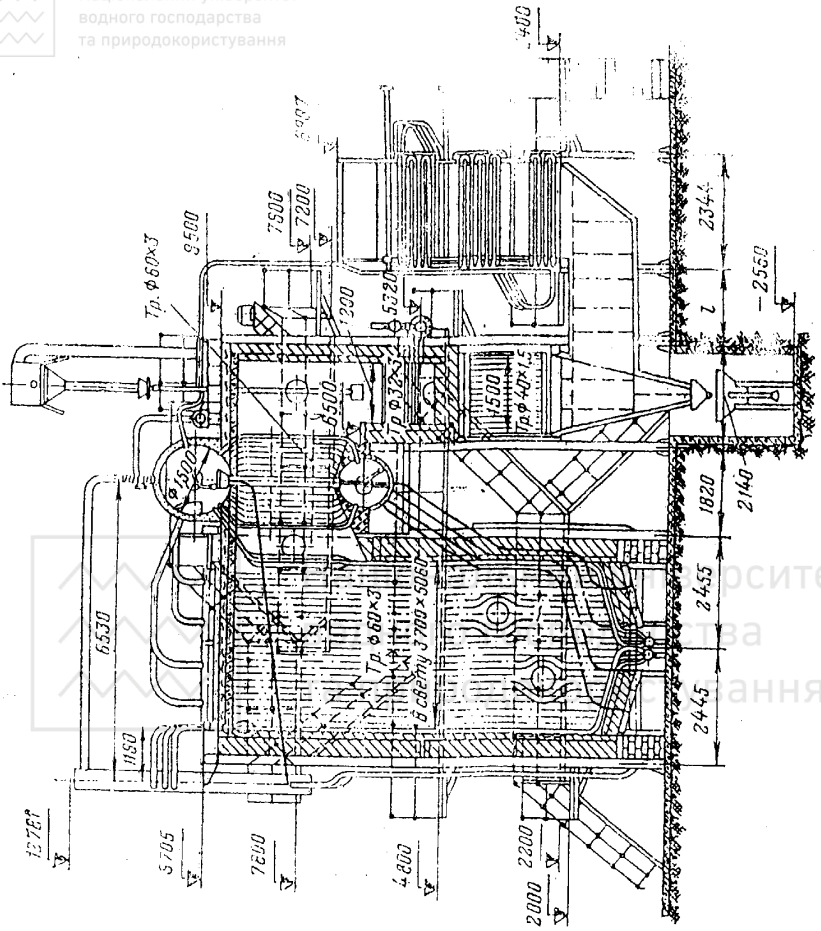


Рис. 13.16. ПК ГМ-50 -14/250

Національний університет
водного господарства
та природокористування

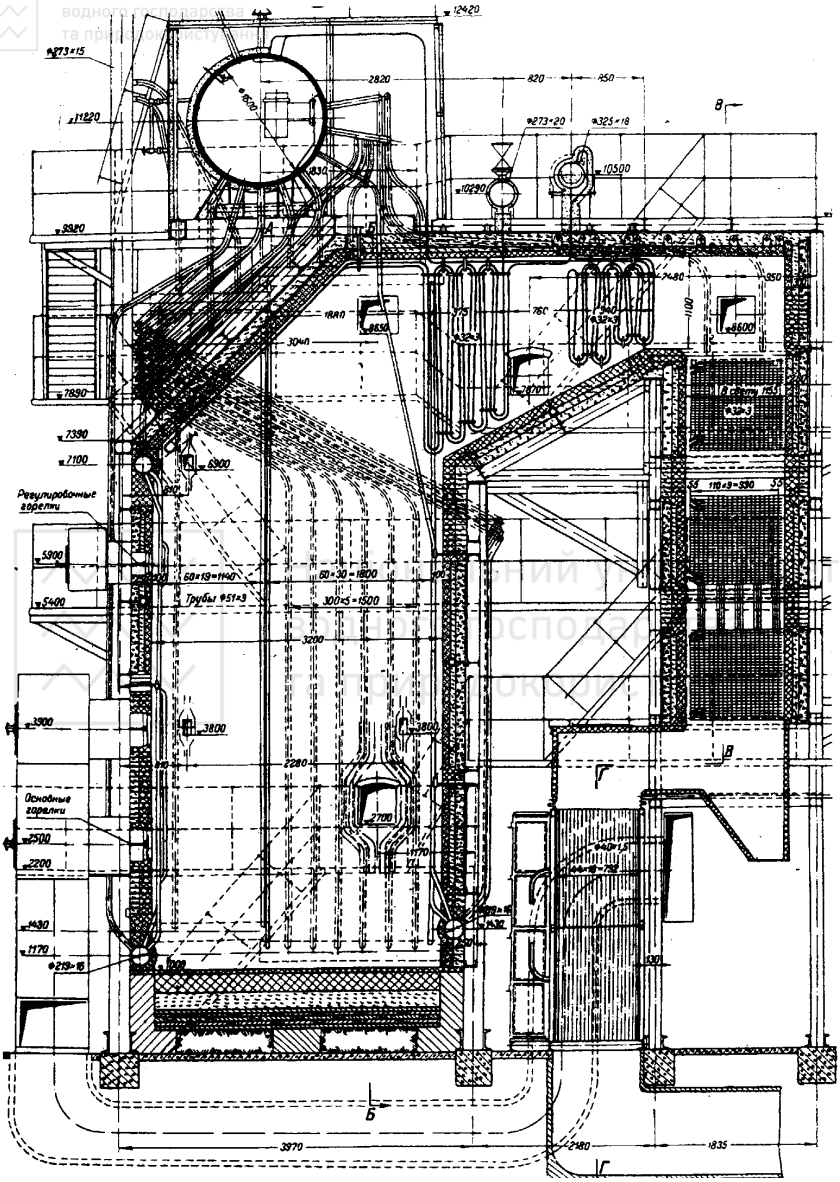


Рис. 13.17. ПК БГ-20 (Е-20)

Національний університет
водного господарства
та природокористування

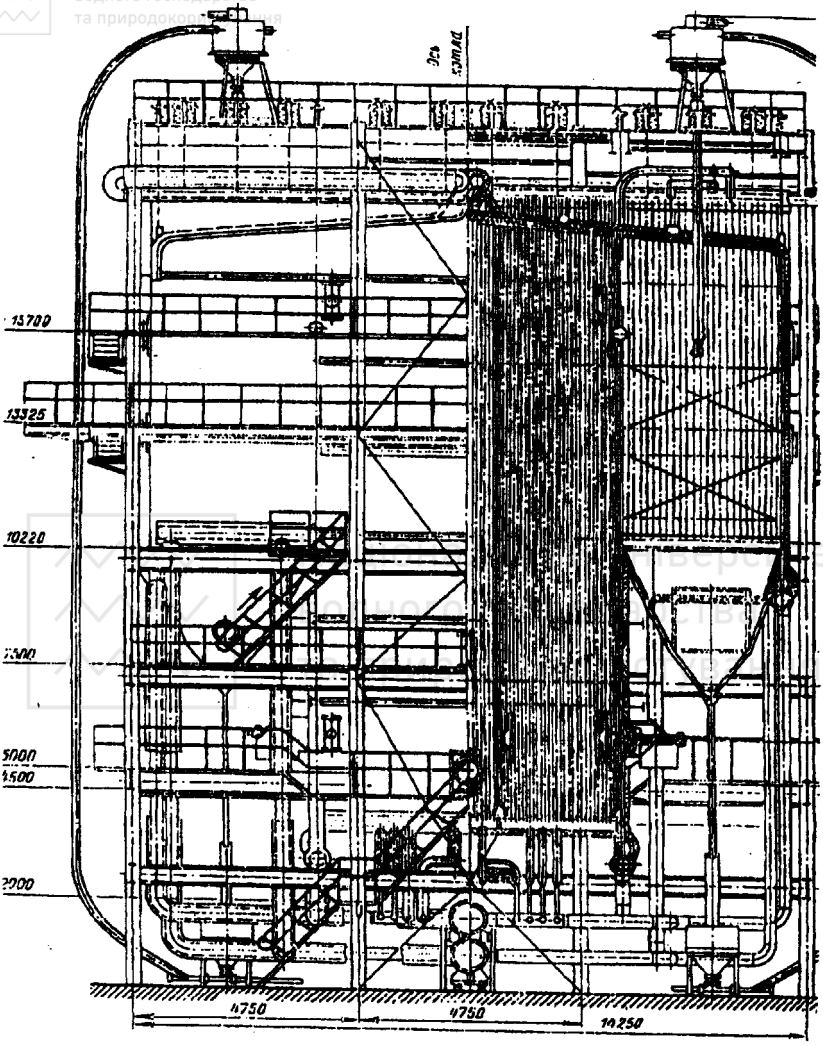


Рис. 13.18. ВК КВ-ГМ-180 (Е-180)

Національний університет
водного господарства
та природокористування

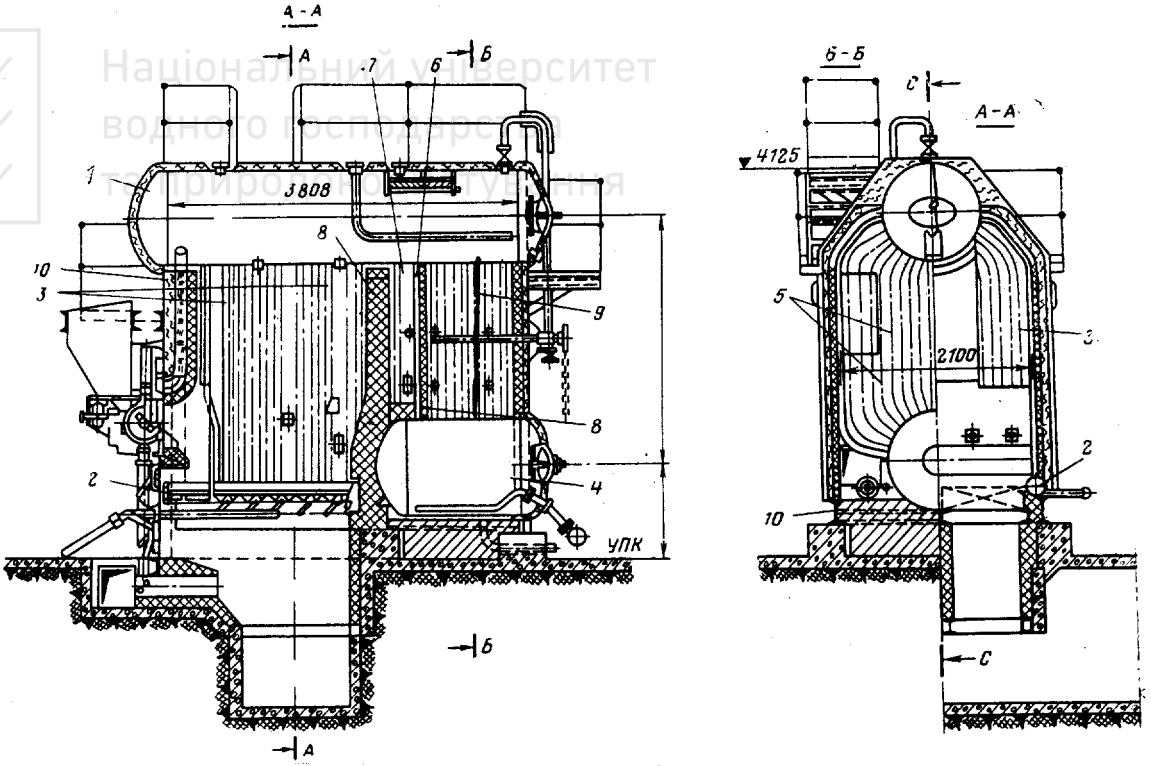


Рис. 13.19. ПК Е-2,5 -14С (ДКВР – 2,5 – 14):
1,4 – барабани; 2 – колектори; 3 – екрани; 5,6 – КП; 7 – камера догоряння; 8,9 – перегородки; 10 – рама (опора)

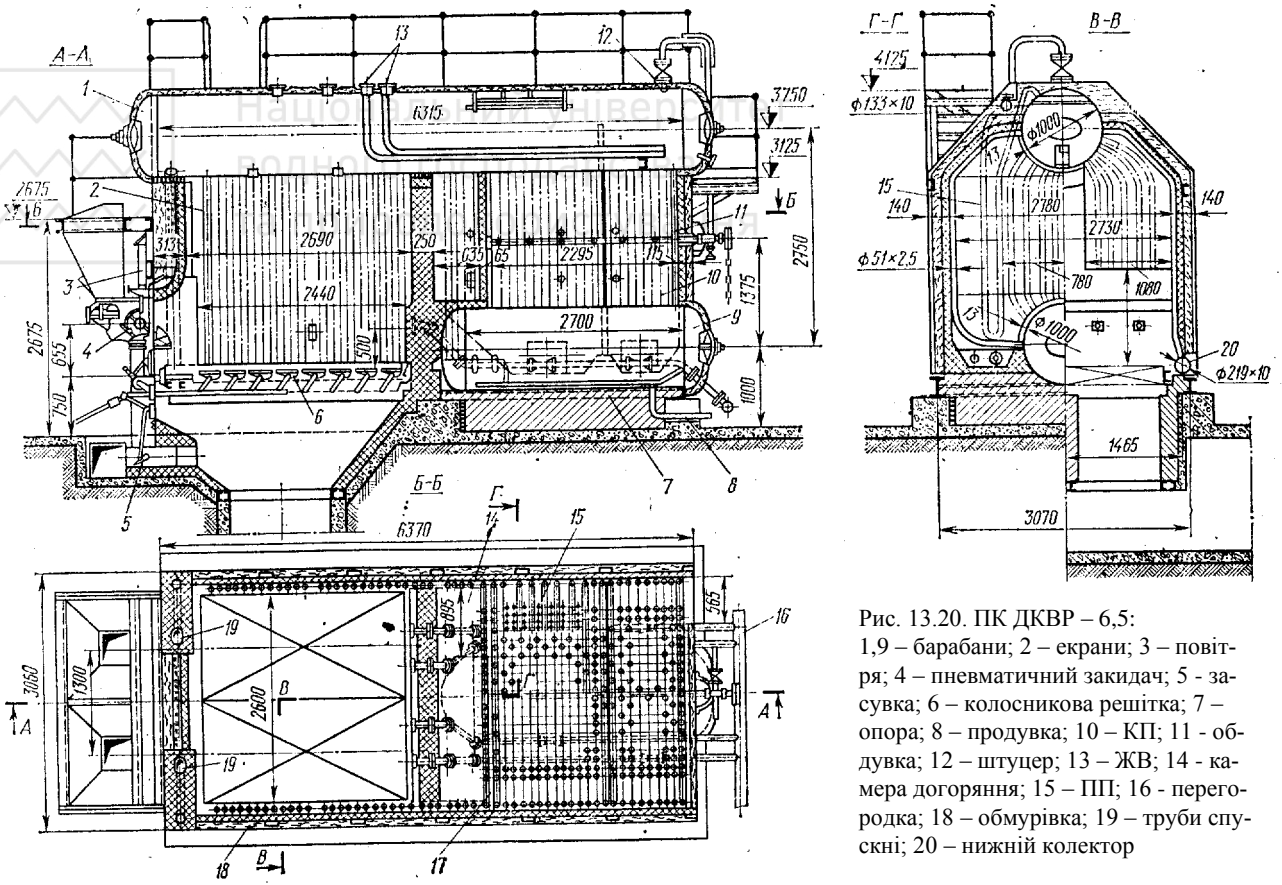


Рис. 13.20. ПК ДКВР – 6,5:
1,9 – барабани; 2 – екрани; 3 – повітря; 4 – пневматичний закидач; 5 - засувка; 6 – колосникова решітка; 7 – опора; 8 – продувка; 10 – КП; 11 - обдувка; 12 – штуцер; 13 – ЖВ; 14 - камера догоряння; 15 – ПП; 16 - перегородка; 18 – обмурівка; 19 – труби спускні; 20 – нижній колектор

Національний університет
водного господарства
та природокористування

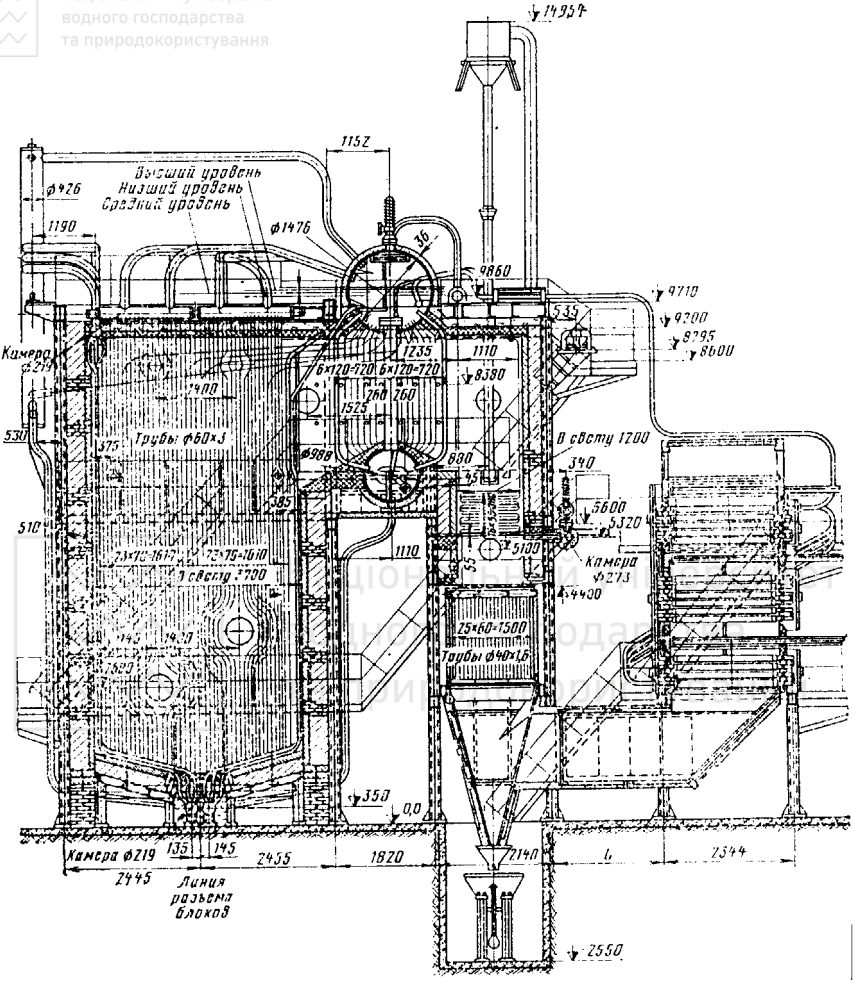


Рис. 13.21. ПК ГМ – 50-14

Національний університет
водного господарства
та природокористування

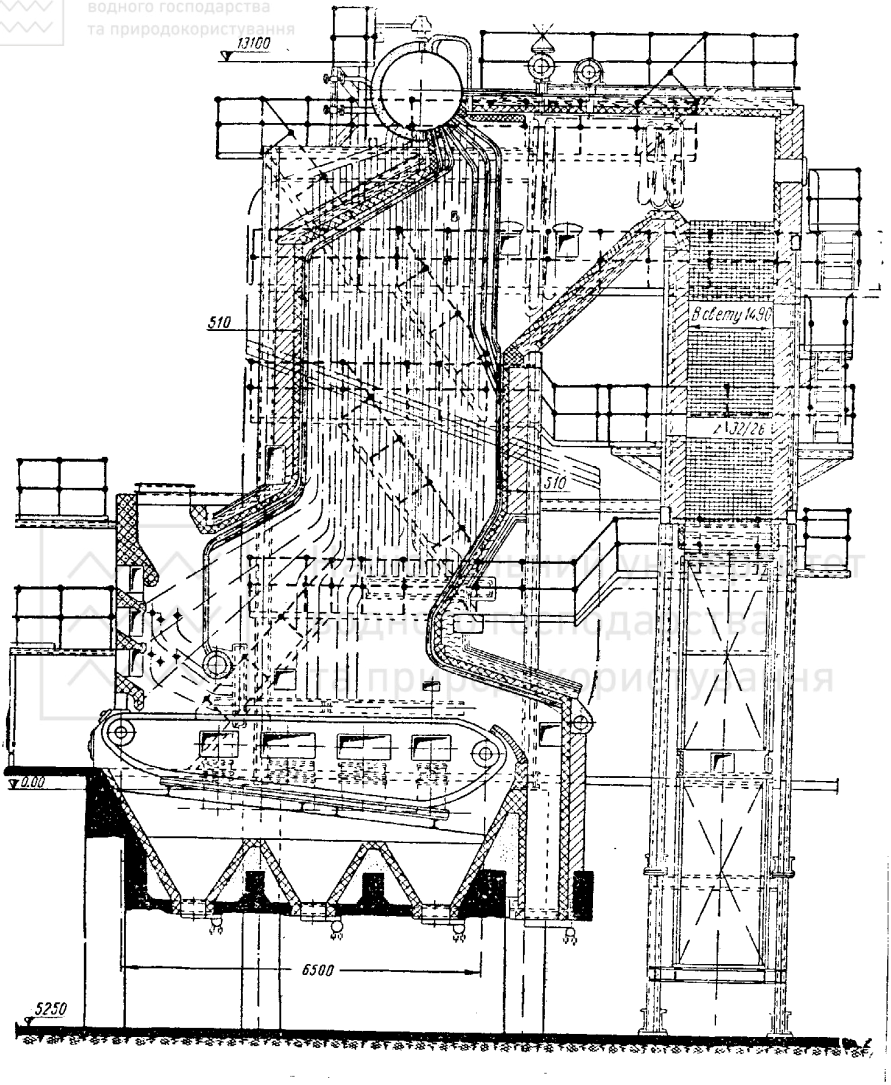


Рис. 13.22. ПК ТС-35

Національний університет
водного господарства
та природокористування

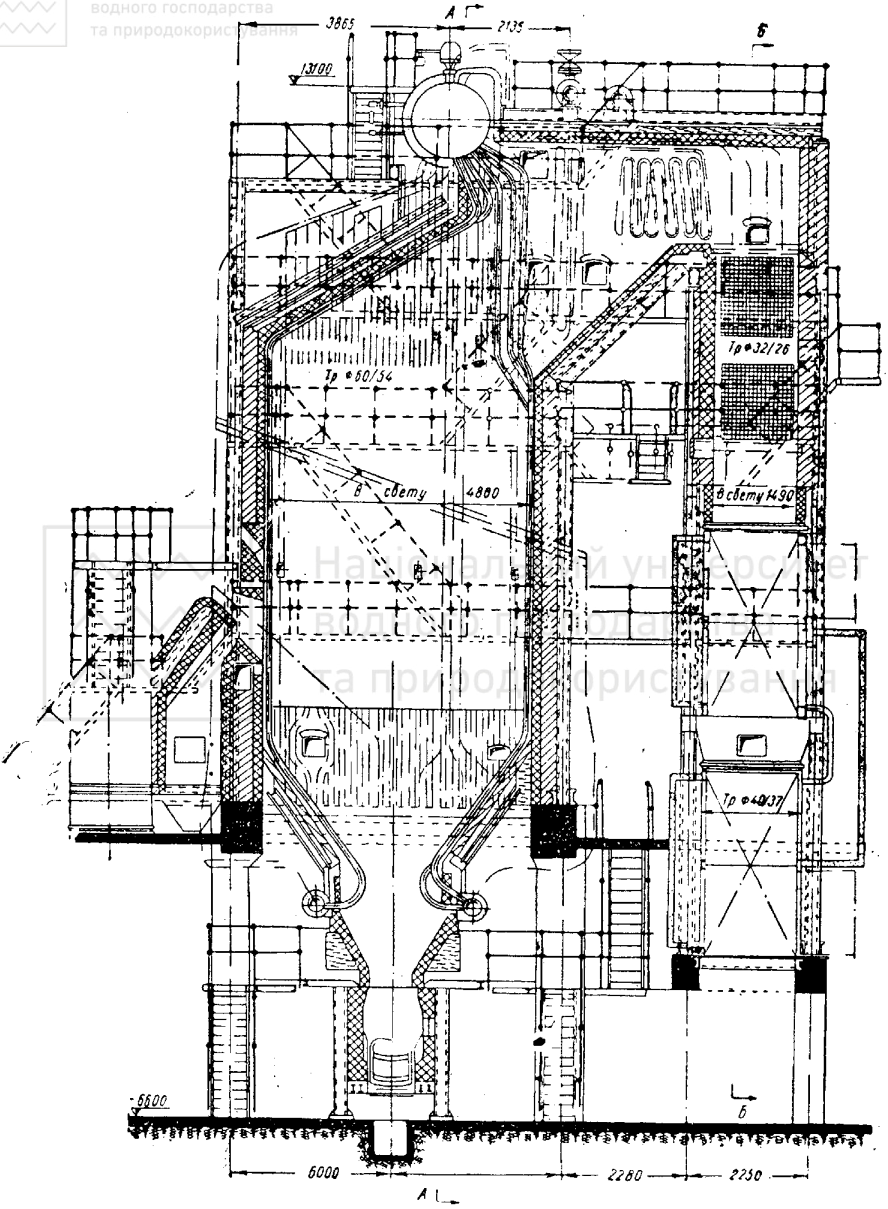


Рис. 13.23. ПК ТП-35 з шахтним млином

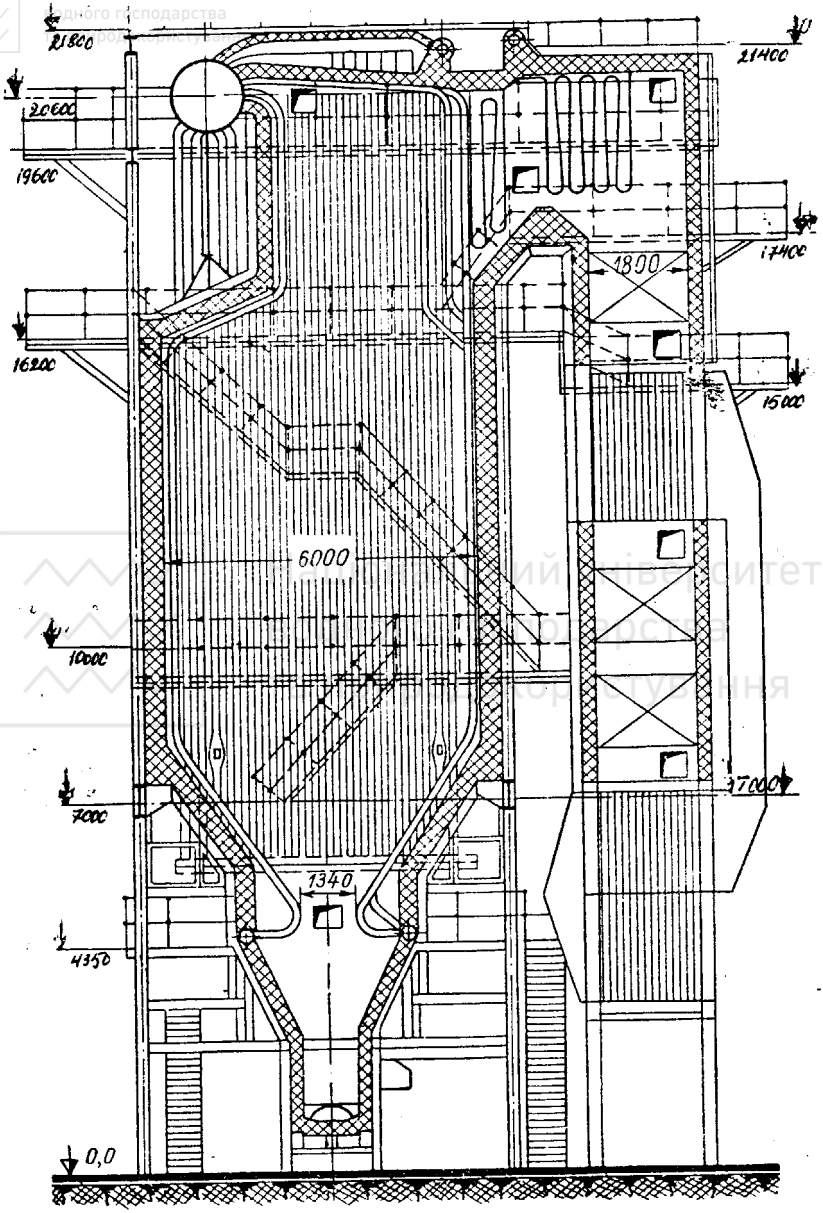


Рис. 13.24. ПК К-50-40/14

Національний університет
водного господарства
та природокористування

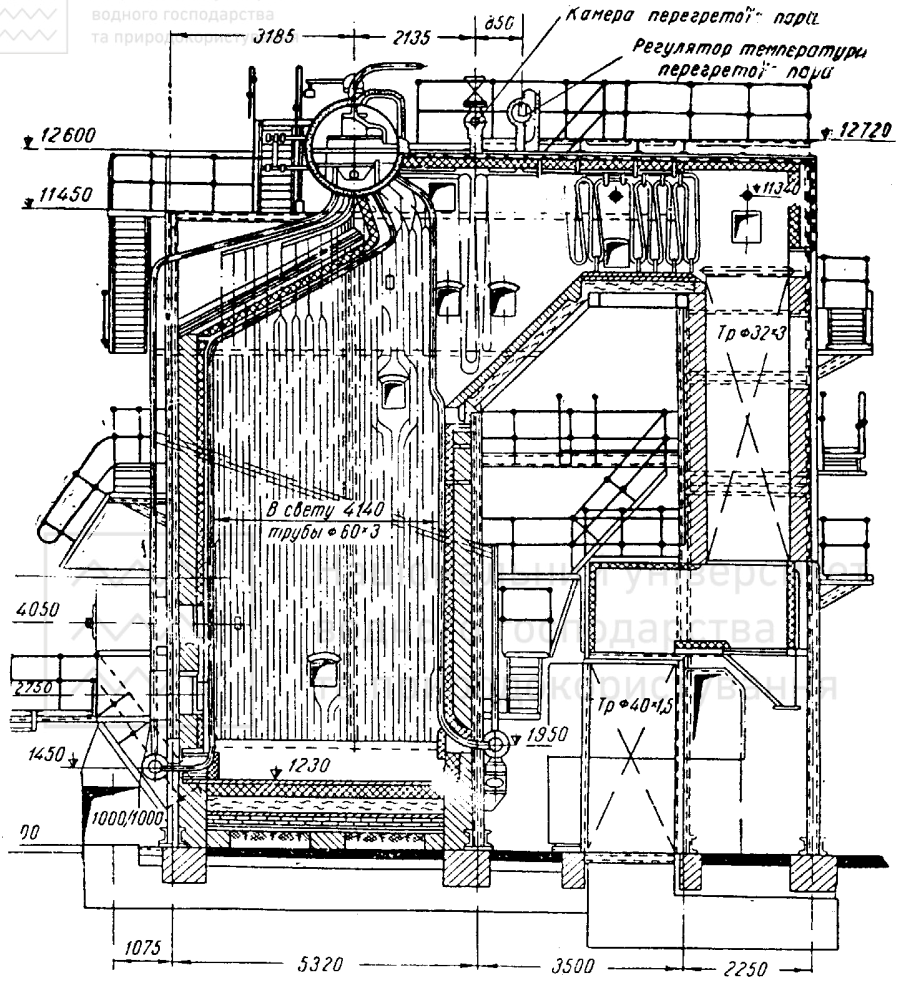


Рис. 13.25. ПК БГ-35 ГМ

Національний університет
водного господарства
та природокористування

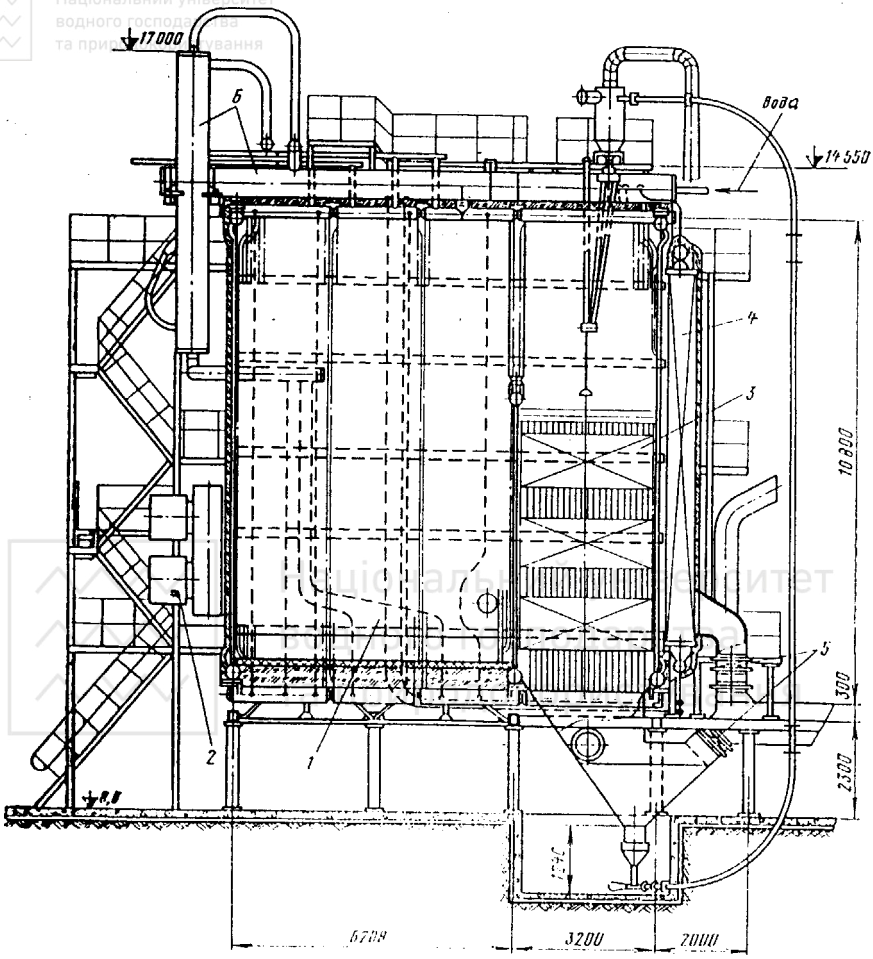


Рис. 13.26. ВК – КТК-100:
1 – топка; 2 – пальники; 3,4 – конвективні поверхні; 5 – шибери; 6 - циклон

Національний університет
водного господарства
та природокористування

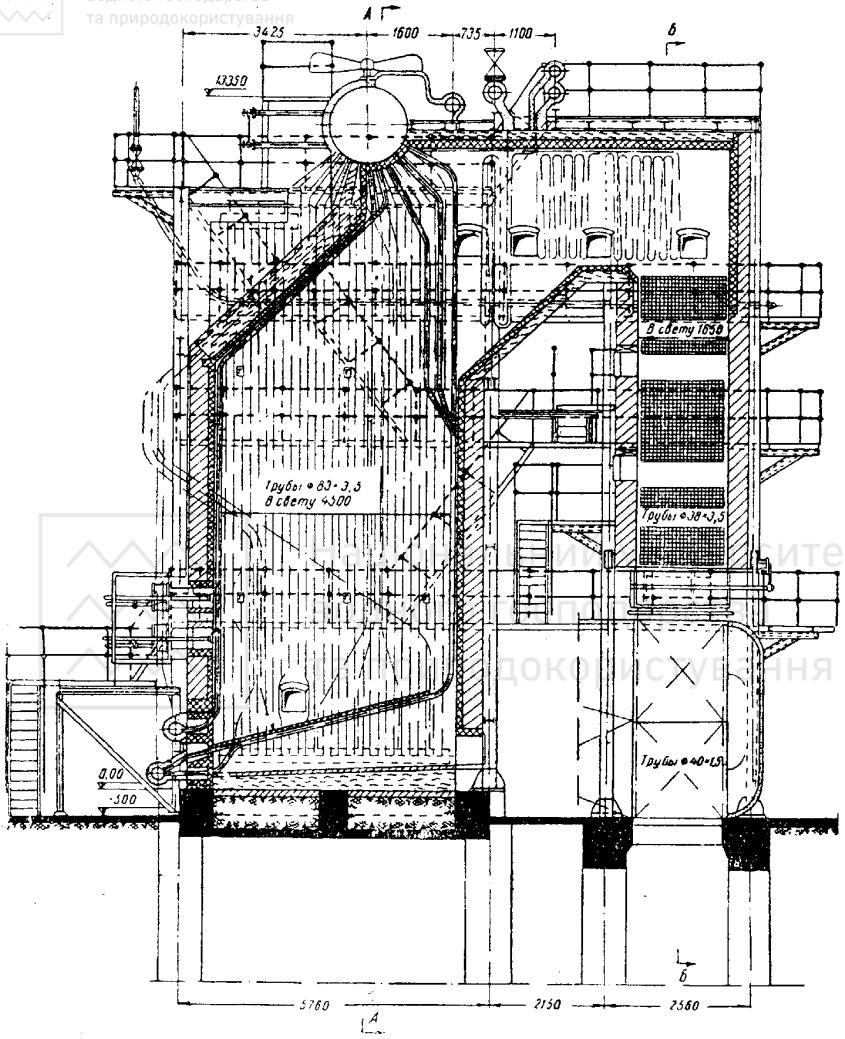


Рис. 13.27. ПК ГМ-35 (Е-35)

Національний університет
водного господарства
та природокористування

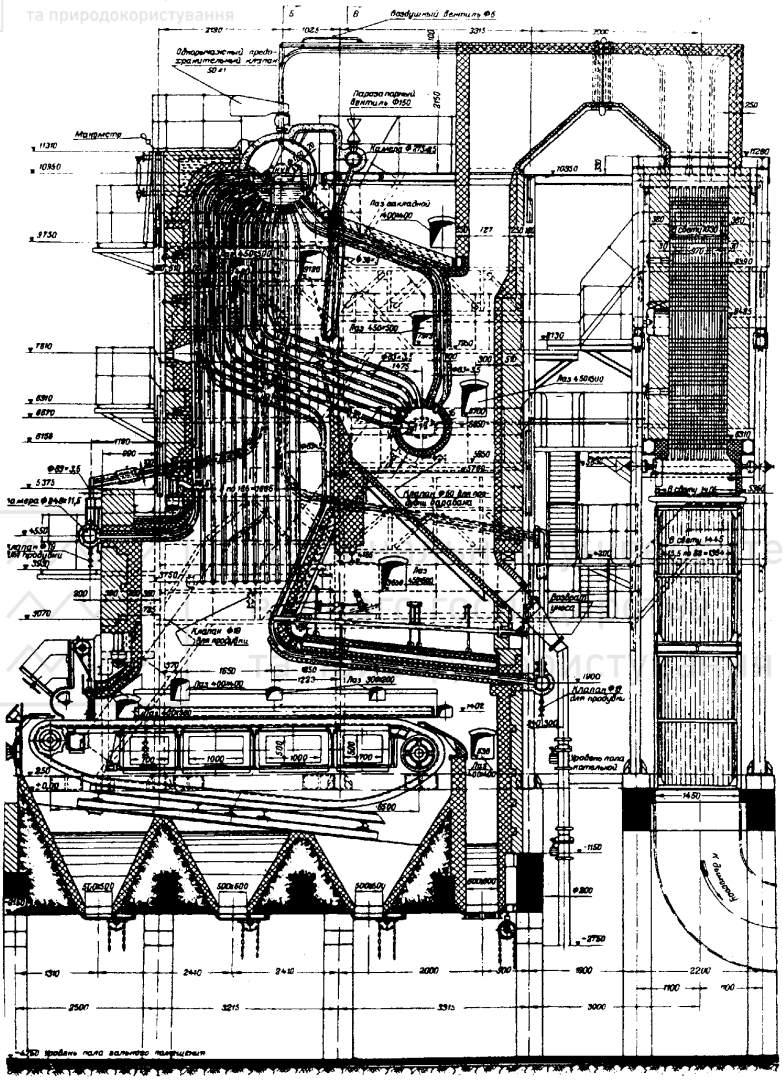


Рис. 13.28. ПК ТС-20 (Е-20)

Національний університет
водного господарства
та природокористування

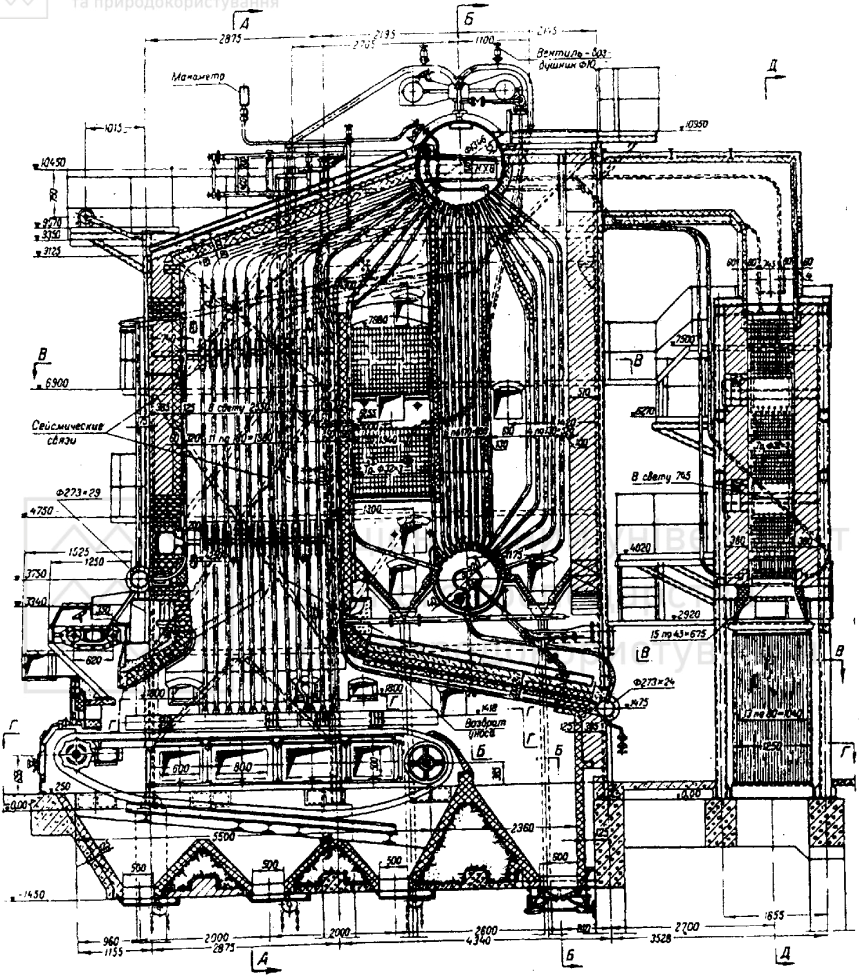


Рис. 13.29. ПК ТС-12/39 (Е-12)

Рис. 13.30. ПКСУ-9 (Е-9)

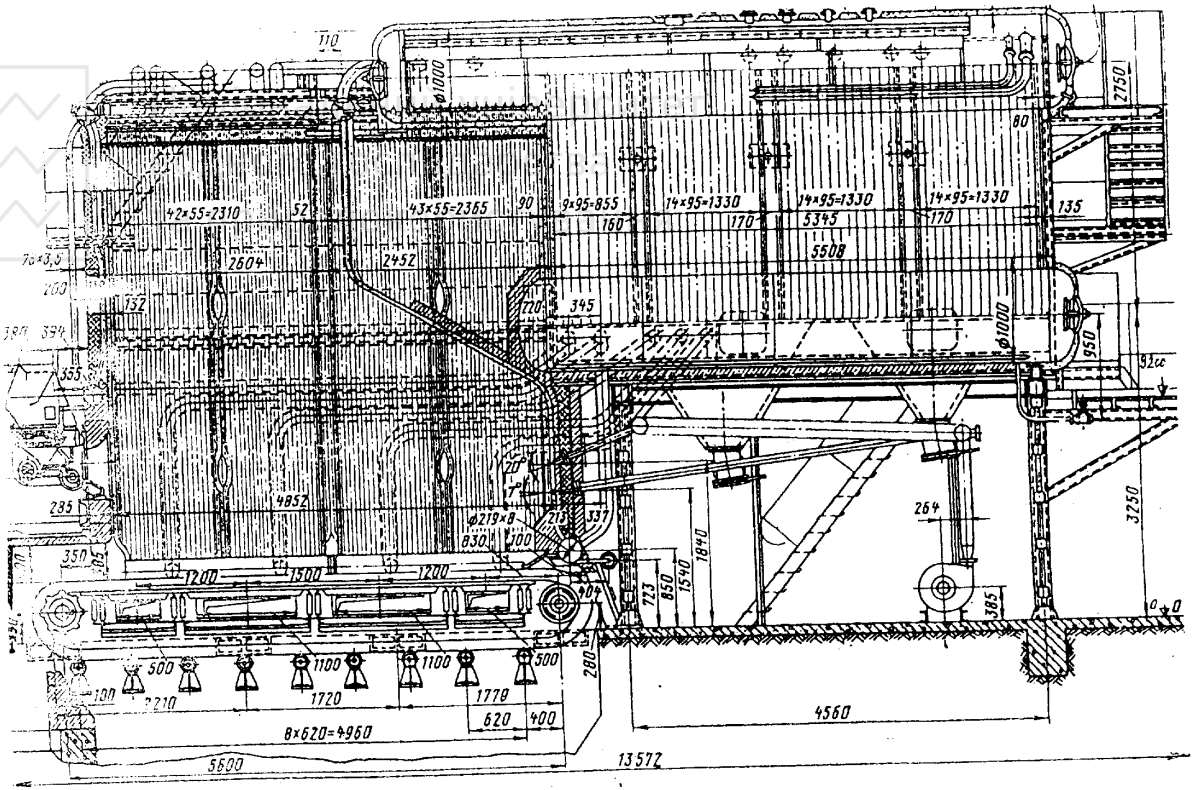


Рис. 13.31. ПК КЕ-25 (Е-25)

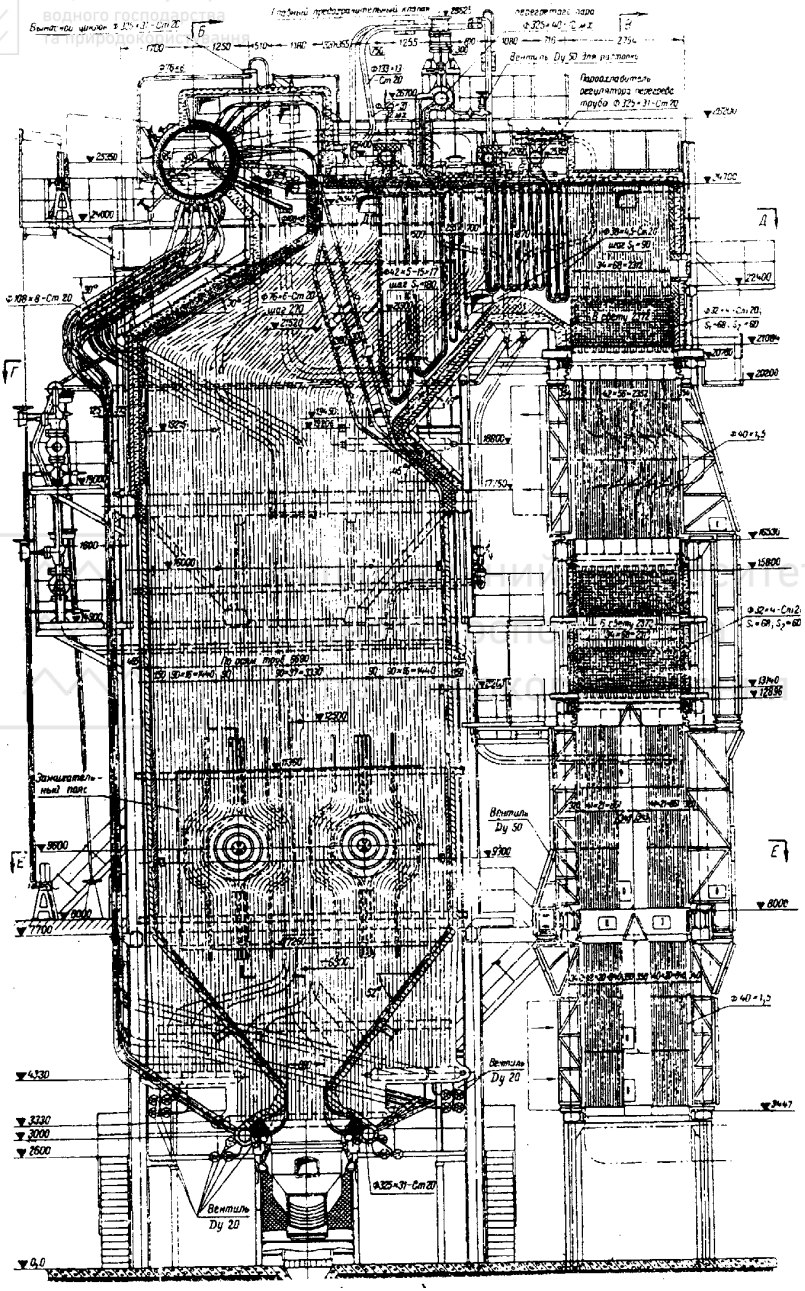


Рис.13.32. ПК ПК-19 (Е-120)

Національний університет
водного господарства
та природокористування

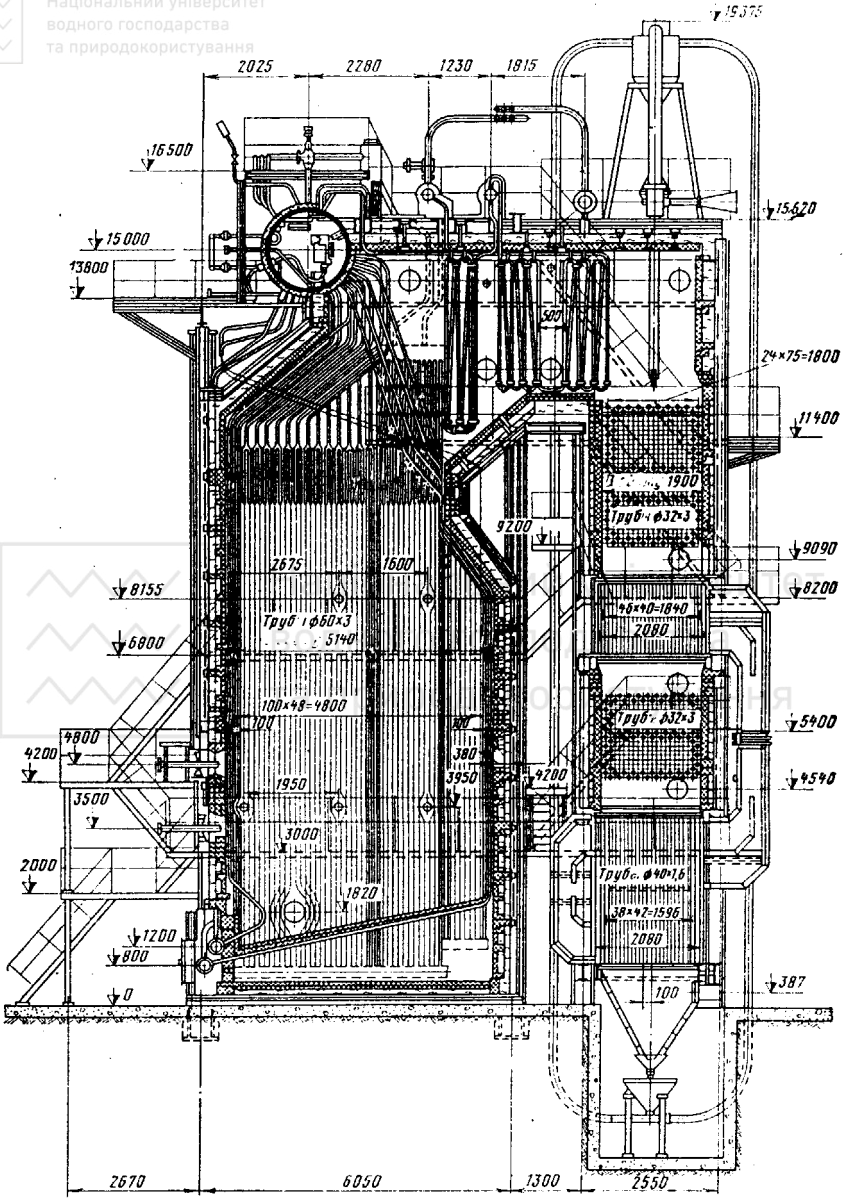


Рис. 13.33. ПК БКЗ 75-39ГМА

Національний університет
водного господарства

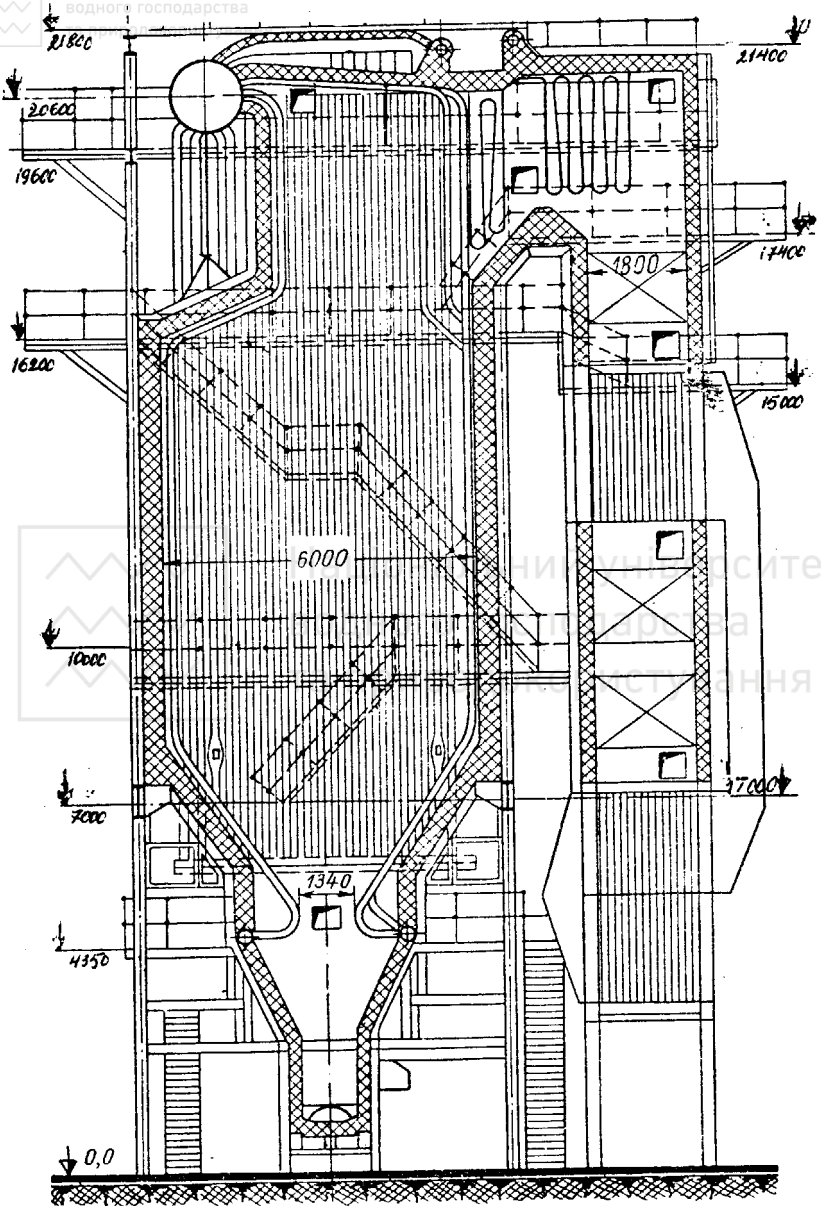


Рис. 13.34. ПК БКЗ-75-39 ТП-150-39-Ф

Національний університет
водного господарства
та природокористування

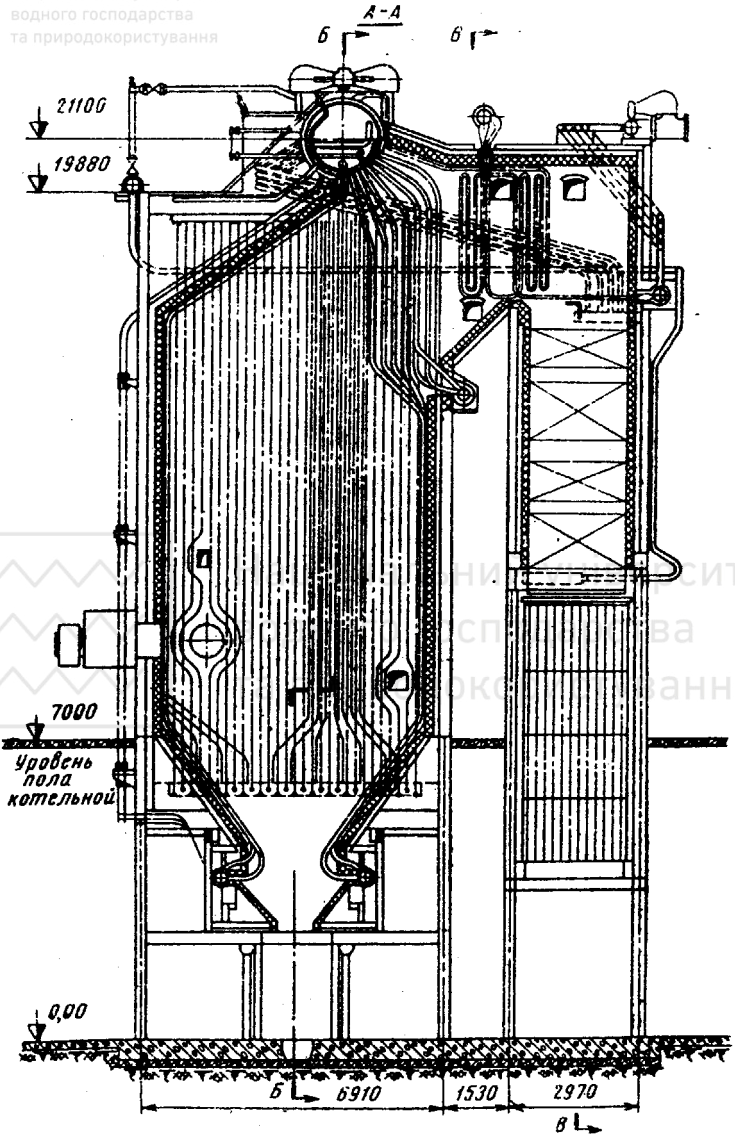


Рис. 13.35. ПК ТП-130

Національний університет
водного господарства
та природокористування

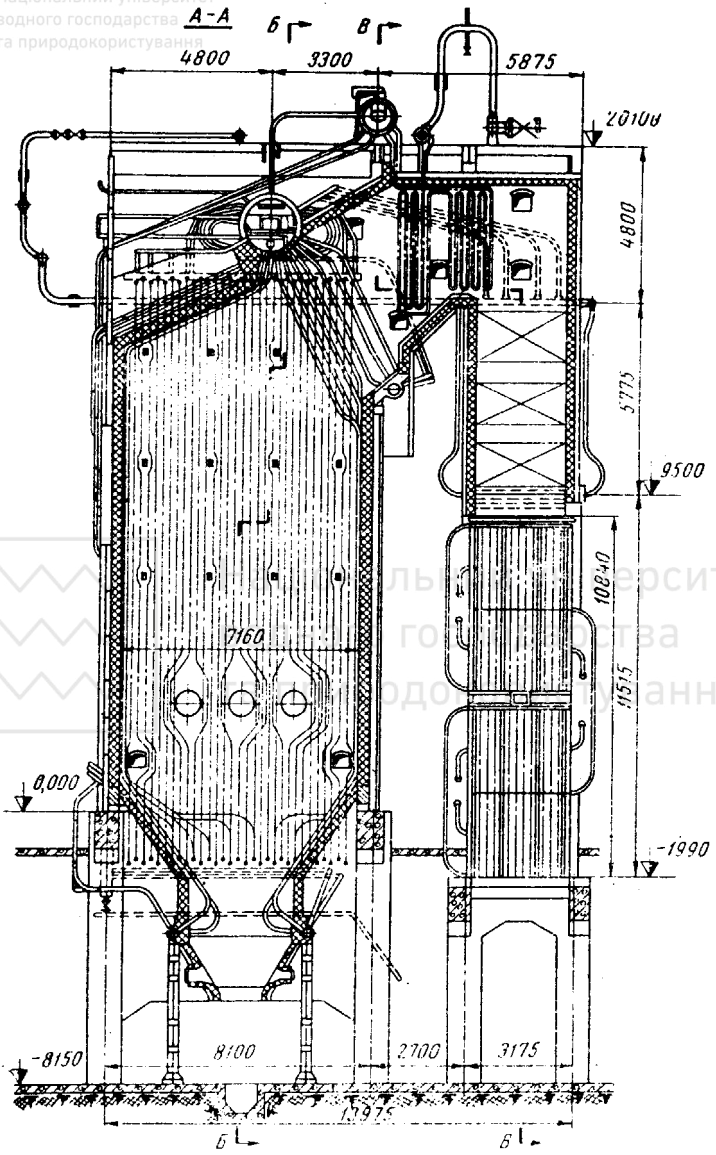


Рис. 13.36. ПК ТП-150

Національний університет
водного господарства
та природокористування

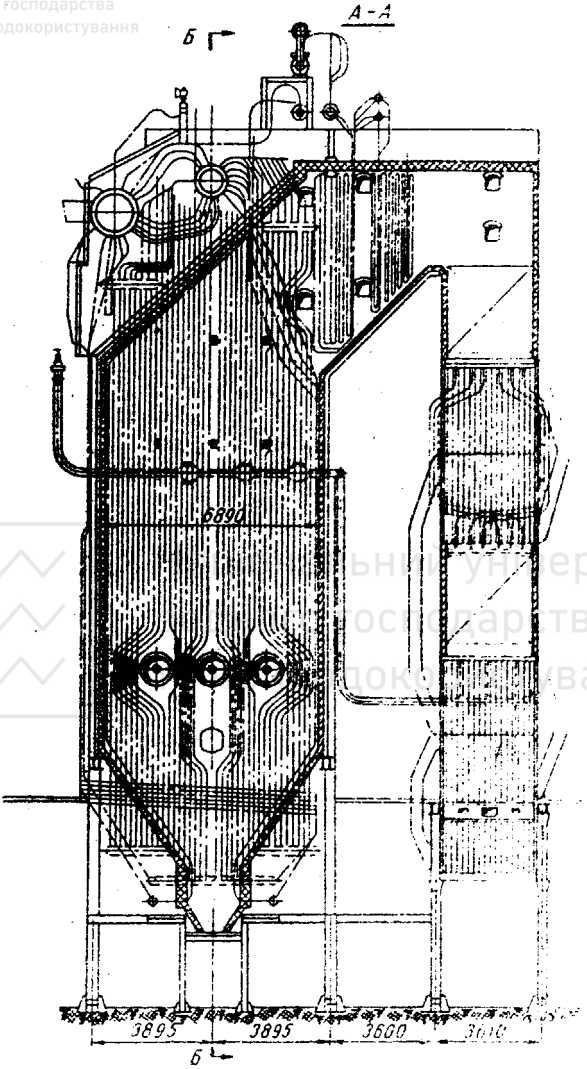


Рис. 13.37. ПК ТП-170

Національний університет
водного господарства
та природокористування

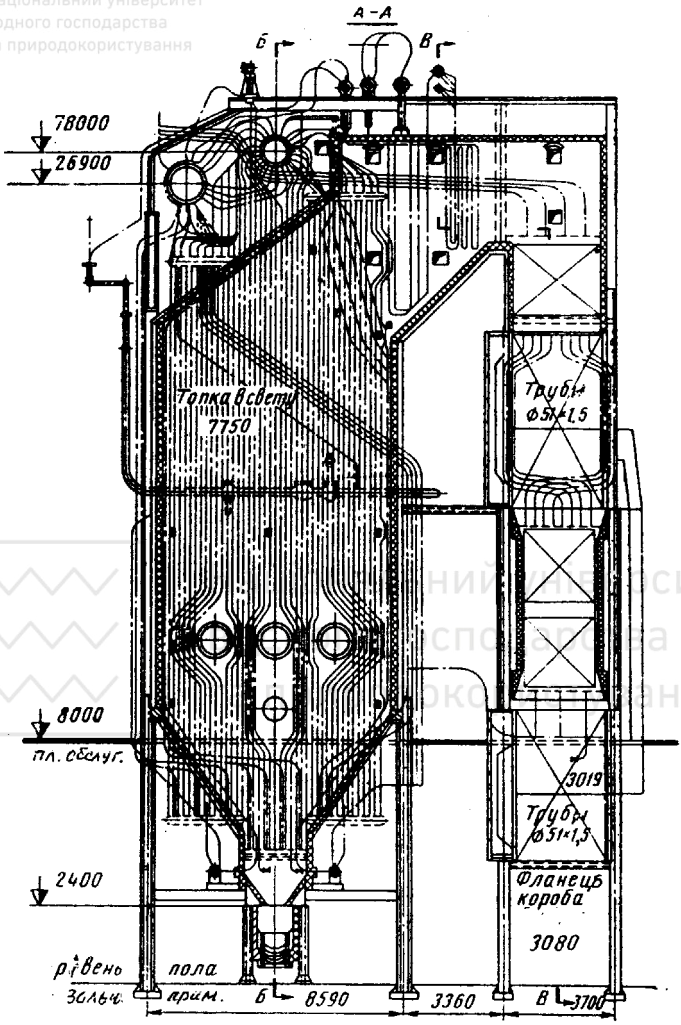


Рис. 13.38. ПК ТП-230

Національний університет
водного господарства
та природокористування

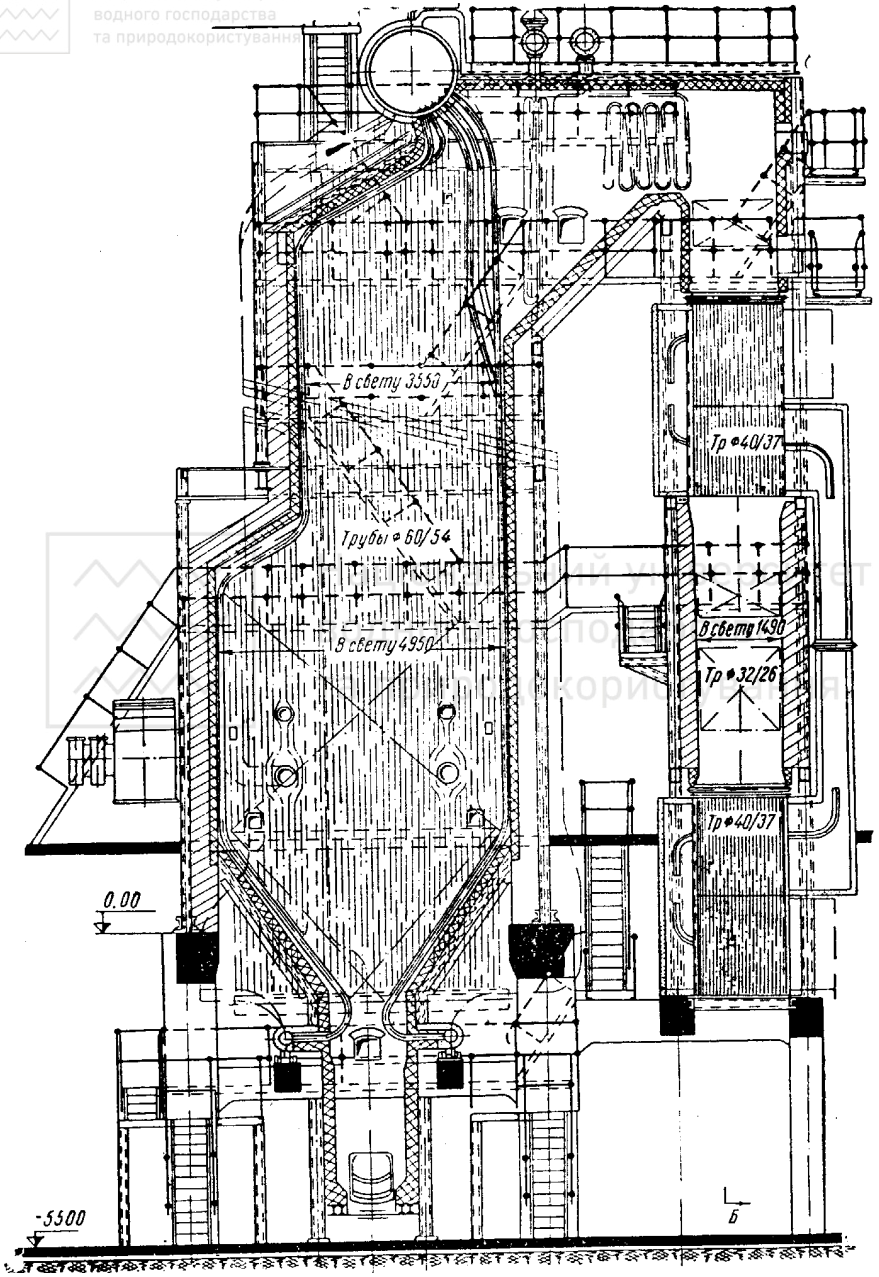


Рис. 13.39. ПК ТП-35

Національний університет
водного господарства
та природокористування

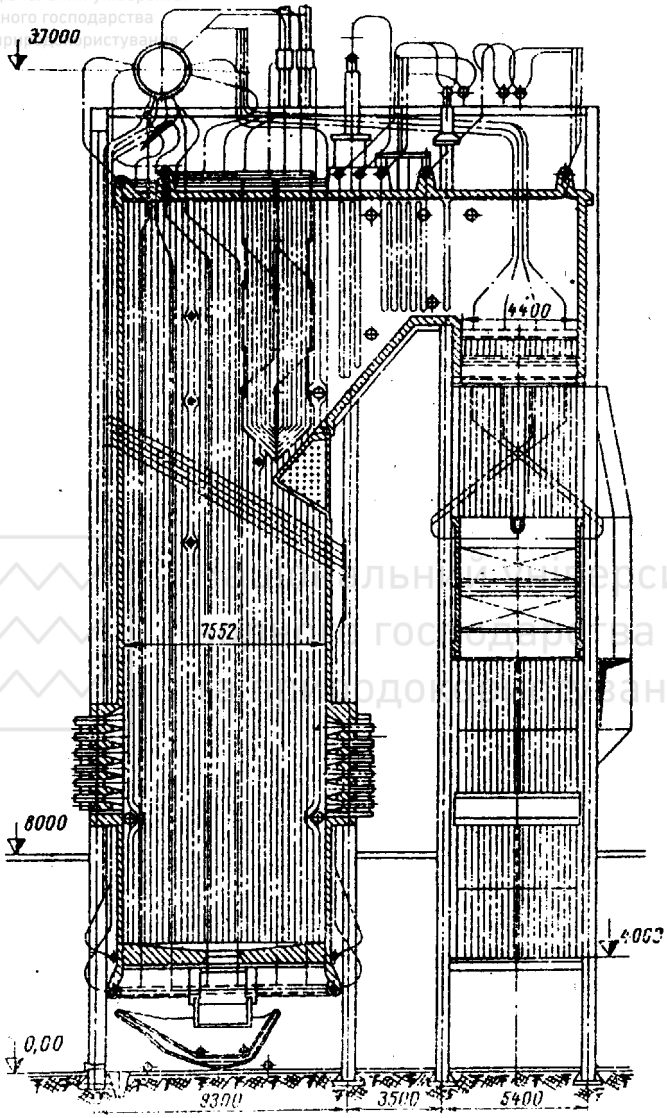


Рис. 13.40. ПК ТП-80

Національний університет
та природокористування

Тема 14. Системи водопостачання

14.1. Робоче тіло ТЕЦ, котелень є вода і водяна пара:

- циркуляційна вода, для охолодження відробленої пари у конденсаторі;
- сира вода – природна артезіанська вода для системи хімводоочищення;
- мережева вода – у системі опалення;
- вода підживлення – для поповнення витрат води;
- котлова вода – хімічноочищена вода у котлі;
- живильна вода – для подачі у котел;
- водяна пара – робоче тіло ПК;
- гаряча вода – робоче тіло ВК;
- конденсат – сконденсована пара.

14.2. Характеристика сирої води:

- прозорість – замулені частки визначають прозорість води, освітлюється фільтрацією;
- солевміст – розчинені у воді речовини, які залишаються після випаровування солі Ca, Mg, Cr;
- твердість – солі Ca, Mg, які створюють накип ($CaCO_3$, $CaSO_4$, $MgCO_3$, $MgSO_4$):

  - м'яка вода при $T_{ÇÀÃ} < 4$ мг-екв/кг;
  - тверда вода при $T_{ÇÀÃ} > 7$ мг-екв/кг.

  мг-екв/кг = 20 мг/кг MgO = 28 мг/кг CaO;

- лужність характеризується наявністю у воді іонів OH^-, HCO_3^-, CO_3^-, CO_3^{2-}, PO_4^{3-}, SiO_3^{2-}. Іони пов'язані з катіонами Na^+, Ka^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}.

  Концентрація іонів водню у воді визначається pH -

  - чиста вода $pH = 7$;
  - кисла вода $pH < 7$;
  - лужна вода $pH > 7$.
- наявність у воді газів O_2, CO_2.

Національний університет
та природокористування

14.3. Норми води, пари

Таблиця 14-1

Живильна вода для ВК

Показник	$p = 14$ бар	$p = 24$ бар
T , мг-екв/кг	$\frac{0,01 \quad Byz}{0,0015\ \tilde{A}\grave{a}\varsigma}$	$\frac{0,0075\ Byz}{0,005\ \tilde{A}\grave{a}\varsigma}$
Замулені частки, мг/кг	5	5
O_2 , мг/кг	$\frac{0,05}{0,03}, \frac{\hat{A}}{\tilde{A}}$	$\frac{0,05}{0,02}, \frac{\hat{A}}{\tilde{A}}$
pH	$8,5 \div 9,5$	$8,5 \div 9,5$

Вода для підживлення: $T \le 0,7$ мг-екв/кг;

$$O_2 = 0,05 \div 0,1 \text{ мг/кг.}$$

Таблиця 14-2

Норми живильної води для ПК

Показник	$P = 40$ бар	$P = 100$ бар	$P > 100$ бар
T , мг-екв/кг	0,005	0,003	0,001
SiO_2 , мг/кг	-	80	40
O_2 , мкг/кг	20	20	10
CO_2	відсутнє		
Fe , мкг/кг	200	100	20
Cu , мкг/кг	20	20	5
pH	$9,1 \pm 0,1$		

Таблиця 14-2

Норми пари

Показник	$P = 40$ бар	$P = 100$ бар	$P > 100$ бар
з Na , мкг/кг	60	15	10
SiO_2 , мкг/кг	–	15	15
CO_2 , мкг/кг	–	5 – 10	–

Національний університет
та природокористування

14.4. Методи хімобробки води

1. Фільтрація, коагуляція – позбавлення замулених частинок, домішок шляхом введення хімікатів, які зв'язують домішки і осідають шляхом пропуску води через фільтри.
2. Змягшення води вапном, при цьому зменшується концентрація Ca, Mg і знижується твердість води до $0{,}3$ мг-екв/кг.
3. Випарні установки, які позбавляють частково від всього.
4. Na, H катіонування солей Ca, Mg катіонування процесу заміни катіонів Ca, Mg катіонами Na^+, H^+, які легко відводяться і твердість води зменшується при одній ступіні до $0{,}1$ мг-екв/кг.

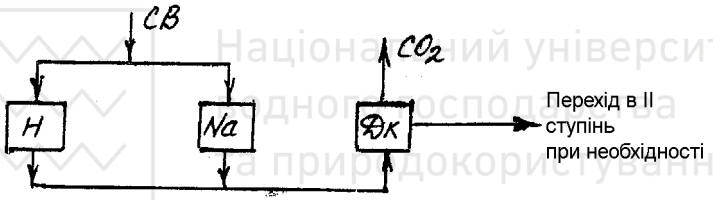


Рис. 14.1. Ступінь катіонування

$Д_K$ - декарбонізатор – відвід CO_2.

H - катіонітовий фільтр.

Na - катіонітовий фільтр.

Для малих ВК достатньо Na і Cl - іонування, яке зменшує твердість до $0{,}01$ мг-екв/кг.

5. Аніонування фільтрами АВ, АН зменшує лужність.
6. Деаерація води – позбавлення розчинених у воді газів O_2, CO_2.
7. Магнітний метод обробки води позбавляє воду від Ca, Mg, від мастил, накипу, заліза шляхом поляризації.

14.5. Розрахунок водопідготовки

З розрахунку теплової схеми визначена кількість сирої води, яка

Національний університет
та природокористування

подається в систему ХВО - M_{CB}.

Загальна площа фільтрів

$$F_{ЗАГ} = \frac{M_{CB}}{W_ф}, \text{ м}^2,$$

де $W_ф$ - швидкість фільтрації:

для I ступені $W_{ф_1} = 15 \div 30$ м/год;

для II ступені $W_{ф_2} = 40 \div 60$ м/год.

При відомій поверхні фільтра I і II ступені визначаємо кількість I і II ступені

$$n_I = \frac{F_{ЗАГ}}{W_{ф_1}}; \quad n_{II} = \frac{F_{ЗАГ}}{W_{ф_2}}.$$

Приймають не менше 2 фільтрів і 1 резервний. Періодично проводиться регенерація (освітлення) фільтрів, через 8 год. роботи.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

14.6. Продувка котла

Продувка буває постійною і періодичною. Постійна продувка здійснюється з «соленого» відсіку верхнього барабана котла. (рис.14.2). Разом з часткою котловою водою відводиться накип, шлам.

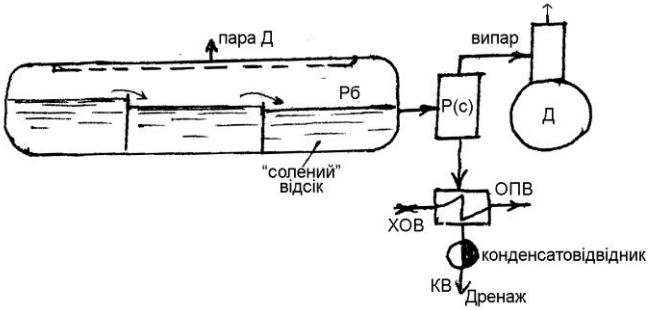


Рис. 14.2. Продувка ПК

Тиск у розширювачі (сепараторі) $P_p << P_б$, внаслідок чого вода закипає, чистий випар при $P_б$ подається у деаератор, а брудна вода заохолоджується в ОПВ і через КВ скидається у колодязь (дренаж).

Кількість продувальної води (котлової):

- $Д_{пр}$ при $P_б = 14$ бар ~ 10% від $Д$;

- $Д_{пр}$ при $P_б$ до 20 бар ~ 7% від $Д$;
- $Д_{пр}$ при $P_б$ до 40 бар ~ 5% від $Д$.

Періодична продувка здійснюється з нижніх колекторів контурів циркуляції для відводу тяжких фракцій шламу, які накопичуються з часом постійної роботи котла.

14.7. Деаерація води

Термічна деаерація (дегазація) відбувається при скипанні води, яка поступає в об'єм з меншим тиском (в деаераторну колонку). Чим більша площа закипання води, тим більш інтенсивніше відводяться гази O_2, CO_2 з води.

Деаератори в залежності від тиску бувають з надлишковим тиском $P = 6 \div 7$ бар, атмосферного тиску $P = 1{,}2$ бар і вакуумні при $P = 0{,}53$МПа.

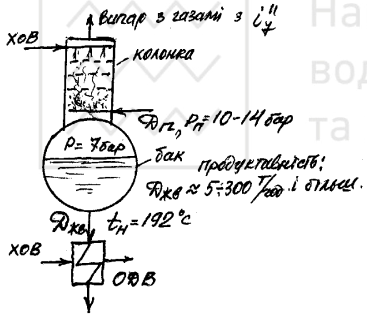


Рис. 14.3. Деаератор з надлишковим тиском

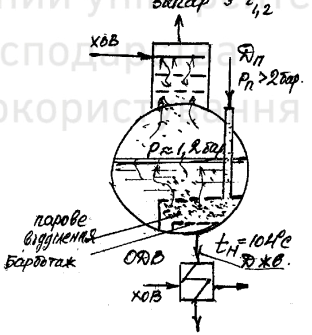


Рис.14.4. Деаератор атмосферного тиску

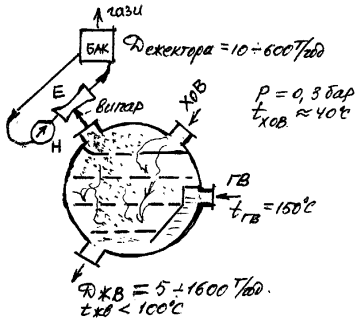


Рис.14.5. Вакуумний деаератор

Випар $Д_{вип} = 5 \div 60$ г/т.

При подачі пари гарячої води з тиском більше за тиску в деаераторі хімічно очищена вода, яка подається, зверху вскипає і стікає по дренажним тарілкам в бак деаератору.

При вскіпанні води відбувається інтенсивне виділення газів розчинених у воді.

У вакуумних деаераторів гази (ви-

Національний університет
та природокористування

пар) відсмоктується за допомогою електроду.

14.8. Технічне водопостачання

1. Прямотокове – складається з насосної станції, напірного водоводу і само токовий відвідний канал.
2. Оборотне – складається з циркуляційного насосу ЦН, градирні, напірного і відвідного водопроводів.

Мінімальна кількість ЦН – два.

Напірний канал діаметром до 3 м з бетону, гідроізоляцією і l до 800 м, без колодязів. Від конденсатора відвідний трубопровід ізольований з колодязями.

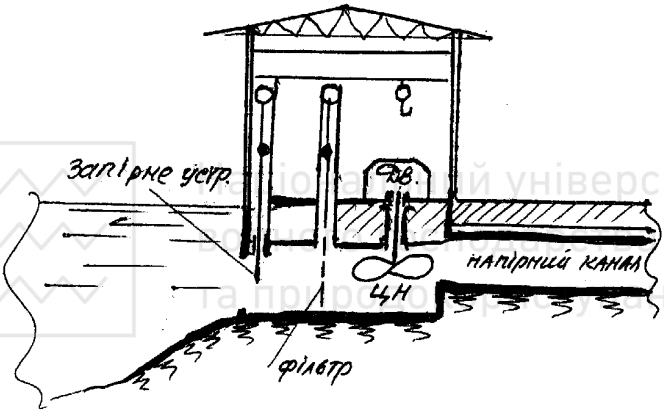


Рис. 14.6. Насосна станція

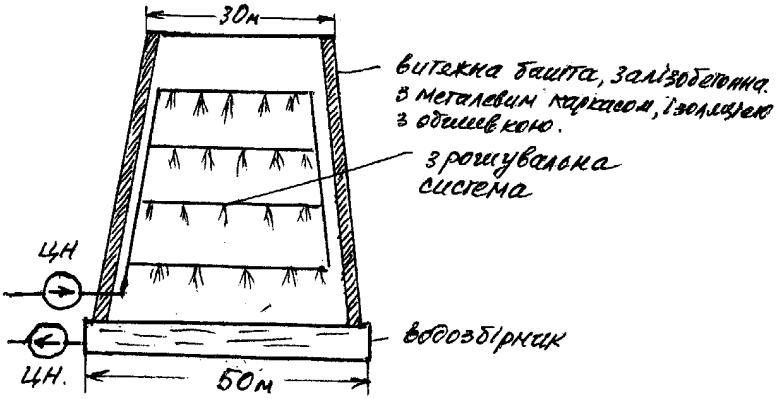


Рис. 14.7. Градирня

Національний університет
водного господарства
та природокористування

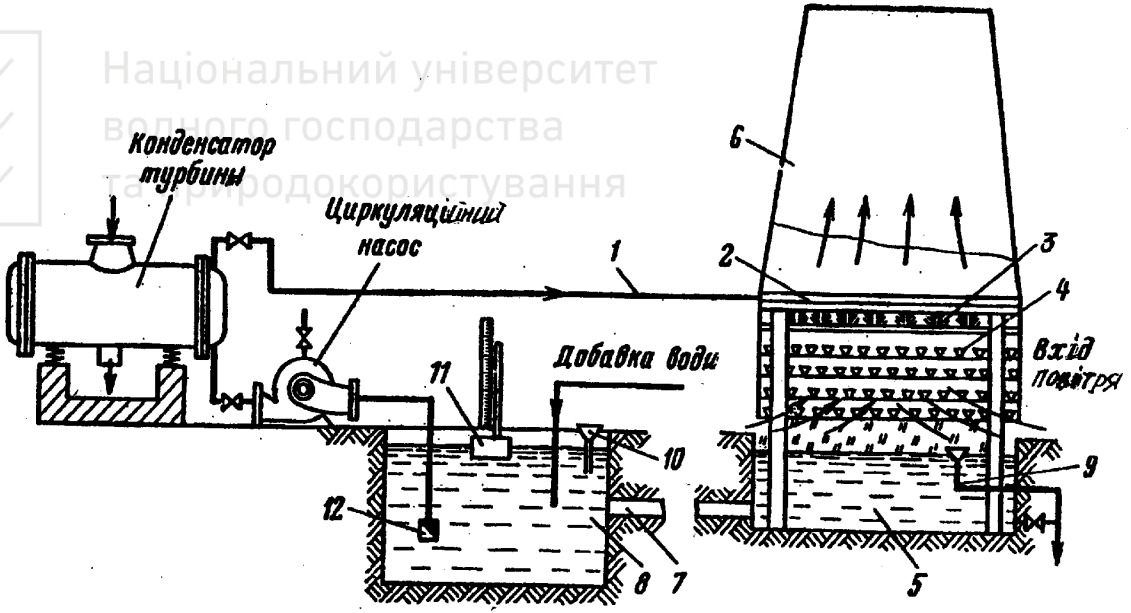


Рис. 14.8. Принципова схема оборотного водопостачання з градирнями: 1 – напірний трубопровід; 2 – розподіляючий лоток; 3 – розпорскувач; 4 – система зрошення; 5 – скідний басейн; 6 – витяжна труба; 7 – самотечний канал; 8 – водоприймаючий басейн; 9 – продувна воронка; 10 – воронка для введення хлорного вапна; 11 – показник рівня; 12 – зворотний клапан

Національний університет
водного господарства
та природокористування

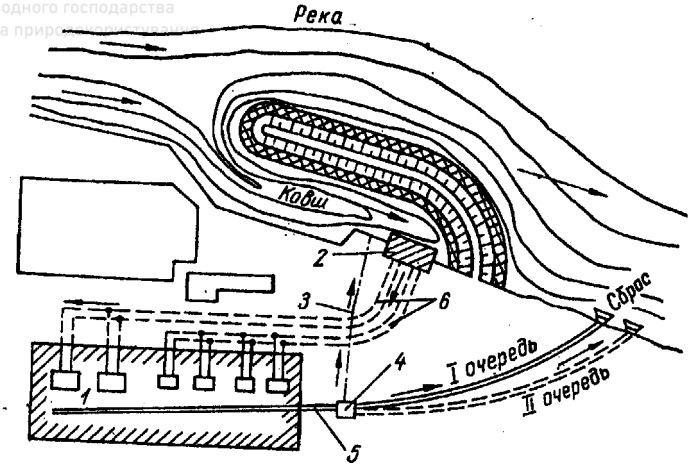


Рис. 14.9. Пряме водопостачання ТЕЦ:
1 – головний корпус; 2 – багерна насосна станція; 3 – тепла вода; 4 – колодязь;
5 - відвідний канал; 6 – підвід води

Національний університет
водного господарства
та природокористування

14.9. Насоси

Насоси призначені для підвищення тиску робочого тіла (потенціальної енергії) і подачі його до об'єктів для використання. Обираються насоси з каталогу по заданим продуктивності Q [м^3(кг)/с] і напору H [МПа]. До інших характеристик відносяться: ККД насосу, потужність двигуна, кількість обертів n [об/хв], діапазон регулювання, коефіцієнт запасу потужності, продуктивності. Наприклад, ЖН мають подвійну продуктивність. До насосів вода повинна підходити під власним напором, щоб запобігти закипання, кавітації води. Напір забезпечує подачу робочого тіла і подолання опору трубопроводів, обладнання. Насоси розраховані на довготривалу, безперервну роботу. Резерв передбачається установкою декількох насосів: ЖН – 2 (один з паровим приводом), КН-2; ПН-2, МН-2, ЦН-2, НСВ, РН, ЕН-езекторний насос, НД-насос дозатор подає розчин фосфату в барабан для попередження накипу утворення., ДН-2.

Національний університет
та природокористування

14.10. Витрата води на ТЕЦ, у котельні

Таблиця 14-4

Витрата води

$Ä$ м^3/год	Потужність ТЕЦ, котельні, МВт
4880	25
9580	50
19535	100
27730	200

Витрата питної води (артезіанської) $Ä_{ÿ Â} = 100$ м^3/год·люд.

Водосховище повинно бути нижче на 3 м площадки ТЕЦ. Територія ТЕЦ, котельні повинні мати дренажні установки. Злив – самотеком. Коливання рівня води у водоймах – ріжок не більше 1 м. Рівень розташування конденсатора на 3-7 м вище рівня води у водоймах. Насоси надійно всмоктують воду до 10 м. Машинний зал розміщують в стороні водосховища.

Вартість прямого водозабору – 6-7 грн./кВт, водосховище з річки – 10-12 грн./кВт , наливне водосховище – 14 грн./кВт, оборотне водопостачання (градірня) – 18-24 грн./кВт.

ТЕМА 15. Теплообмінні апарати

15.1. Класифікація ТА

- Рекуперативні (поверхневого типу), коли гарячий і холодний теплоносії розділені стінкою (РП, МП, К, ОВ, ПСВ, ОПВ, ОДВ, ПХОВ, ВП, в/е, п/п, ОК, Калорифер і т. інші). В залежності від теплоносіїв можуть бути пароводяні, водоводяні, газоводяні. В залежності від розташування поділяються на вертикальні, горизонтальні, в залежності від взаємного руху теплоносіїв – прямотокові, протитокові, з перехресним рухом і більш складним.
- Змішуючого типу, коли гарячий та холодний теплоносії змішуються до необхідної середньої температури. Теплоносії повинні мати однакові фізичні характеристики (Д, РОУ, змішувачі – З, Р(С), КБ, Е, елеватор, БА і інші).
- Регенеративні ТА коли одна сама поверхня спочатку нагрівається гарячим теплоносієм, а потім холодний теплоносій відбирає

Національний університет
тепло при проходженні вздовж цієї поверхні. РП використовують у потужних енергетичних ПК, в металургійних печах і т. інше.

15.2. Тепловий розрахунок ТА поверхневого типу

Цей вид ТА найбільш поширений в теплоенергетиці. Розділяюча поверхня нагріву змінюється у широкому діапазоні $F = 9 \div 200$ м^2. Тиск гріючого (гарячого) теплоносія $P_1 = 2 \div 14$ бар (для мережевих підігрівачів). Тиск холодного теплоносія – мережевої води завжди більше на 1-2 бара. Температура у прямій лінії $t''_{\hat{i}\,\hat{a}} = 150^\circ C$, у зворотній – $t'_{\hat{i}\,\hat{a}} = 70^\circ C$. Розділяюча поверхня – металеві трубки (латунні) діаметром 16-22 мм, довжиною 2-4 м, у яких рухається гарячий теплоносій, а в міжтрубному просторі – холодний теплоносій – вода. Трубки кріпляться у трубних дошках з температурними компенсаторами. Схема руху завжди обирається протитокова, як найбільш ефективна і багатоходова за рахунок перегородок (рис.15.1).

Тепловий розрахунок ведеться по двох рівняннях:

- теплового балансу - $Q_1 \cdot \eta_{TA} = Q_2$ [кВт];
- теплопередачі $Q = KF\Delta t \cdot 10^{-3}$ [кВт].

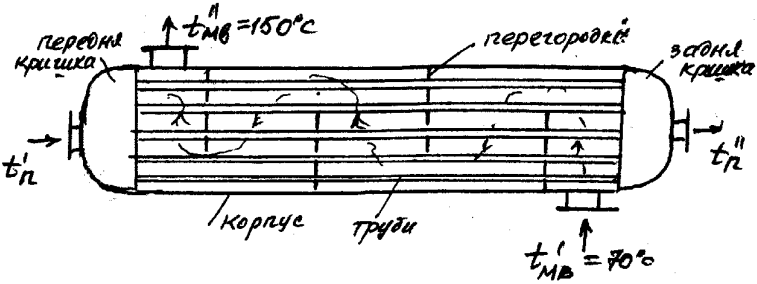


Рис. 15.1. Схема мережевого підігрівника – МП (пароводяного, горизонтального)

Тепло гарячого теплоносія (пари) $Q_1 = M_1(t'_1 - t''_1)$, кВт.

Тепло, яке сприймається холодним теплоносієм $Q_2 = M_2(i''_2 - i'_2)$, кВт. η_{TA} - ККД ТА (приймаємо 0,98).

Національний університет
та природокористування

Температурний напір (середньологаріфмічний)

$$\Delta t = \frac{\Delta t_á - \Delta t_ì}{\ln \frac{\Delta t_á}{\Delta t_ì}}, \ ^\circ C .$$

Для протитоку (прт)

$$\Delta t_i' \left\{ \begin{matrix} t_1' \to t_1'' \\ t_2'' \leftarrow t_2' \end{matrix} \right\} \Delta t_i''$$

$$\Delta t_i' = t_1' - t_2''$$

$$\Delta t_i'' = t_1'' - t_2'$$

Для прямотоку (прм)

$$\Delta t_á \left\{ \begin{matrix} t_1' \to t_1'' \\ t_2' \to t_2'' \end{matrix} \right\} \Delta t_ì$$

$$\Delta t_á = t_1' - t_2'$$

$$\Delta t_ì = t_1'' - t_2'',$$

Яка величина більша $\Delta t_i'$ або $\Delta t_i''$ - залежить від конкретного розподілу температур, якщо $\frac{\Delta t_á}{\Delta t_ì} < 1,7$, то Δt знаходимо як середньоарифметичне $\Delta t = \frac{\Delta t_á + \Delta t_ì}{2} \ ^\circ C$.

Коефіцієнт теплопередачі $K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$, Вт/м^2·гр; при $\frac{l}{d_{TP}} > 50$.

Визначення α_1, α_2 - коефіцієнтів тепловіддачі здійснюється з критеріальних рівнянь:

1) турбулентний режим руху

$$\mathrm{Re}_â > 2200$$

$$\mathrm{Re}_Ã > 10 \cdot 10^4 \qquad Nu = 0,021 \cdot \mathrm{Re}^{0,6} \, \mathrm{Pr}^{0,43} \left(\frac{\mathrm{Pr}_p}{\mathrm{Pr}_c} \right)^{0,25};$$

2) перехідний режим

$$\mathrm{Re}_â = 2200 \div 2300$$

$$\mathrm{Re}_Ã > 10 \cdot 10^4 \div 10 \cdot 10^5 \qquad Nu = 0,008 \cdot \mathrm{Re}^{0,9} \, \mathrm{Pr}^{0,43} \left(\frac{\mathrm{Pr}_p}{\mathrm{Pr}_c} \right)^{0,25};$$

3) ламінарний режим

$$\mathrm{Re}_â < 2200$$

$$\mathrm{Re}_Ã < 10 \cdot 10^4 \qquad Nu = 0,15 \cdot \mathrm{Re}^{0,23} \, Gr^{0,1} \, \mathrm{Pr}^{0,43} \left(\frac{\mathrm{Pr}_p}{\mathrm{Pr}_c} \right)^{0,25},$$

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Де Nu - критерій Нуссельта $Nu = \dfrac{\alpha \cdot d}{\lambda}$;

Re - критерій Рейнольда $\mathrm{Re} = \dfrac{w \cdot d}{\nu}$;

$\mathrm{Pr} = \dfrac{\nu}{a}$ - критерій Прандтля;

$Gr = \dfrac{g \cdot \beta \cdot d^3 \Delta t}{\nu^2}$ - критерій Грасгофа.

Для міжтрубного простору еквівалентний діаметр

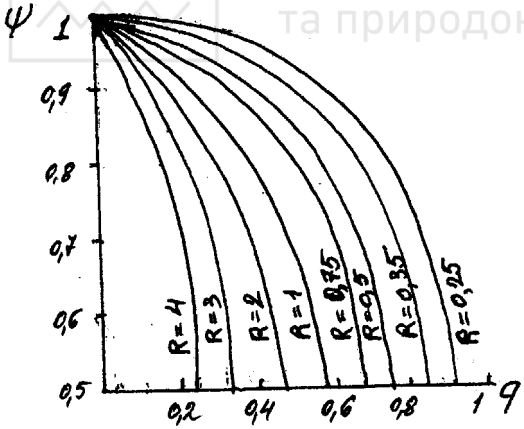
$$d = \frac{Ä^2_{\hat{e}\hat{i}\,\eth\ddot{i}} - nd^2_{\c{c}\hat{i}\,\hat{a}\acute{i}}}{Ä_{\hat{e}\hat{i}\,\eth\ddot{i}} - nd_{\c{c}\hat{i}\,\hat{a}\acute{i}}} \text{ [мм]},$$

де n - кількість труб.

Для складної схеми руху теплоносіїв температурний напір $\Delta t = \varphi \cdot \Delta t_{\ddot{i}\,\eth\partial}$.

Коефіцієнт ψ визначається з рис.15.2

Національний університет
водного господарства
та природокористування



$$q = \frac{t''_2 - t'_2}{t'_1 - i'_2},$$

$$R = \frac{t'_2 - t''_1}{t''_2 - t'_2}.$$

Рис. 15.2. Значення поплавкового коефіцієнта ψ

Значення коефіцієнта тепловіддачі зі сторони гарячого теплоносія α_1 і зі сторони холодного теплоносія α_2 можна визначити наближено по формулам наведених нижче.

Національний університет водного господарства

Режим руху води $\mathrm{Re} = \frac{wd}{\nu}$. Швидкість руху води $W_B = 2 \div 10$ м/с.

Це означає, що режим руху води турбулентний.

$$\alpha_{âí äè} = B \frac{W_B \rho}{d^{0,2}}^{0,8}, \text{ [Вт/м}^2\text{·гр].}$$

$t_â$, °C	0	20	40	60	80	100	120	140	150
B	6,49	7,53	9,25	10,78	12,27	13,56	14,6	15,7	16,16

Коефіцієнт теплопровідності: $\lambda_{ëàò óí} = 104,8$ Вт/м·гр,

$\lambda_{ñò àë} = 58,2$ Вт/м·гр.

$\alpha_{ï àðè} = 1,34 \frac{À_â}{\sqrt[4]{l_{TP} \cdot \Delta t}}$, [Вт/м^2·гр] – для вертикального ТА,

де $\Delta t = t_H - t_{CT}$.

$t'_Ï$, °C	100	200	300	400
$À_Â$	10570	11340	9009	8000

$\alpha_{ï àðè} = 0,84 A_Ã \left(\frac{r}{\Delta t \cdot l_{TP} \cdot d_{çî âí}} \right)^{0,25}$, [Вт/м^2·гр] – для горизонтального ТА.

$t_Ï$, °C	100	140	180	200
$À_Ã$	2190	2370	2430	2430

15.3. Гідравлічний розрахунок ТА

Для вибору насосів, димосмока, вентилятора потрібно знати напір, тобто опір обладнання, трубопроводів.

Загальний напір визначається втратами енергії по довжині і місцевий опір: $Y = \Delta H_{TP} + \Delta H_M$.

$\Delta H_{TP} = \lambda_{TP} \cdot \frac{\rho w^2}{2} \cdot \frac{l \chi}{d}$ [Па] – по довжині, де λ_{TP} - коефіцієнт тертя, $\lambda_{TP} = \frac{64}{\mathrm{Re}}$ при ламінарному русі.

Національний університет водного господарства та природокористування

$\lambda_{TP} = \frac{1}{(1,82 \cdot \lg \mathrm{Re} - 1,64)^2}$ - турбулентний режим.

χ - кількість ходів, l, d - довжина і внутрішній діаметр трубопровода, м. Місцеві втрати $\Delta H_M = \sum \zeta \cdot \frac{\rho w^2}{2}$, Па, де ζ - коефіцієнт тертя, $\zeta = 1,5$ на вході і виході з камер; $\zeta = 2,5$ - повороти на 180°; w - швидкість в трубах, м/с; $w \approx 1 \div 2$ м/с.

В тубах звичайно рухається вода, бо накип легше зняти з внутрішніх поверхонь труб, ніж із зовнішніх у між трубному просторі.

15.4. КБ, АБ – конденсатний, акумулюючий баки

Акумулюючі, конденсатні баки використовуються для запасу та збору конденсату, деаерованої води. У баках завжди підтримується невеликий надлишковий тиск $0,03$ бар, щоб попередити підсмоктування ззовні повітря. Конденсат, вода, які подаються у бак не повинні мати великий тиск, температуру для того, щоб запобігти можливість пароутворення, що може привести до розриву баків. Для баків передбачаються рівнеміри, запобіжні клапани, вимірювальна арматура. Для зниження тиску передбачаються РК і для заохолодження конденсату – ОК.

15.5. Трубопроводи

Стандартні розміри

Ø d_y - $10,15,20,25,32,40,50,65,80100,150,200$ мм безшовні, зварні. Встановлюються з можливістю верхньої і нижньої продувки (вентиляційні патрубки і дренажні), парові трубопроводи з конденсатовідвідниками, з температурними компенсаторами. Все робиться для запобігання гідроударів.

Внутрішній діаметр

$d_{вн} = K_{запасу} \cdot \sqrt{\frac{M}{W \cdot \rho}}$, мм,

де M - витрата робочого тіла, кг/с,

Національний університет водного господарства та природокористування

$$\left.\begin{array}{l} W_в = 1 \div 2 \text{ м/с – для води} \\ W_п = 20 \div 70 \text{ м/с – для пари} \end{array}\right\} приймаються:$$

$K_{зап} = 1{,}1 \div 1{,}3$.

Товщина стін d_y - 38, 51, 70, 90, 108 мм

$S_{\min}$ - 1,75, 2, 2,5, 3, 3,5 мм.

Температурні компенсатори: лінзові, сальникові, гнуті.

Опори – рухомі і нерухомі, підвісні. Ізоляція – бітум, мінвата, азбестова мастика, алюмінієве або оцинковане покриття (листове). Ззовні трубопроводи фарбуються:

- пара перегріта – червона; насичена – жовті кільця;
- кипляча вода – червоне з зеленими кільцями;
- вода – ЖВ – зелене, ХОВ – зелене (білі кільця), СВ – чорне; $Д_р$ - зелене (чорні кільця); ПОЖ – оранжеве, МВ – зелене (пряма – жовті кільця; зворотна – коричневі кільця).

Національний університет водного господарства та природокористування

15.7. Розрахунок ні міцність

На міцність розраховуються: корпус, днище (кришки), трубні дошки, штуцери, фланці, болти.

Товщина стінки корпусу

$$\delta_к = \frac{P \cdot Д_{вн}}{2\varphi \cdot \eta \cdot \sigma_{доп} - P} + C, \text{ мм},$$

де φ - коефіцієнт міцності, $\varphi = 0{,}7 \div 1$;

η - поправковий коефіцієнт, $\eta = 0{,}8 \div 1$;

$\sigma_{доп}$ - допустимі напруження, Па [44];

P - тиск, Па;

$Д_{вн}$ - внутрішній діаметр, мм;

C - поправковий коефіцієнт на корозію.

Товщина стінки криши

$$\delta_{кр} = \frac{P \cdot Д_{вн}}{4\varphi \cdot \eta \cdot \sigma_{доп} - P} \cdot \frac{Д_{вн}}{2h_в} + C, \text{ мм},$$

де $h_в$ - висота кришки, мм.

Аналогічно розраховується по відповідним формулам трубні решітки, штуцери, фланці, болти [43, 44].

ТЕМА 16. Паливопостачання

16.1. Система паливоподачі

Система подачі твердого палива антрацита-АШ, камінного вугілля – КВ, бурого вугілля – БВ, торфу – Т, сланців – С складається з обладнання: залізної дороги, ліній транспортування (конвейєра, пунктів пересипки, скребків, галерей, естакад) [рис.16.1, 16.2, 16.3, 16.4].

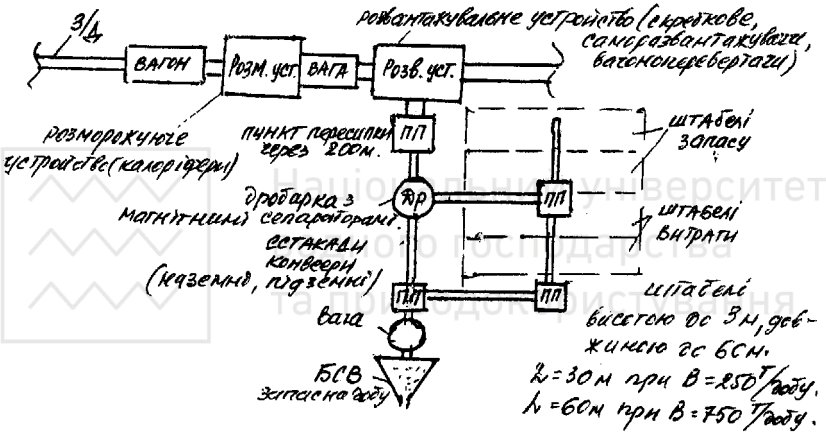


Рис.16.1. Паливоподача

Запаси палива на ТЕЦ: КВ, БВ – 1 місяць; мазут – 15 діб;
Т – 2 тижня.

при $B > 150$ т/год

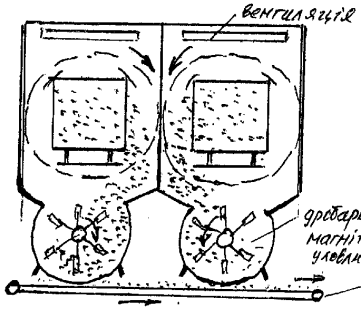


Рис.16.2. Вагоноперевертачі

при $B < 150$ т/год

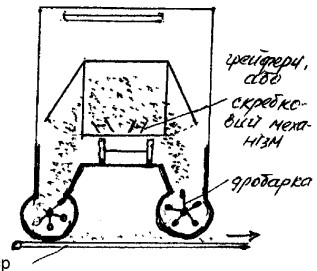


Рис.16.3. Розвантажувальне обладнання

Національний університет
водного господарства
та природокористування

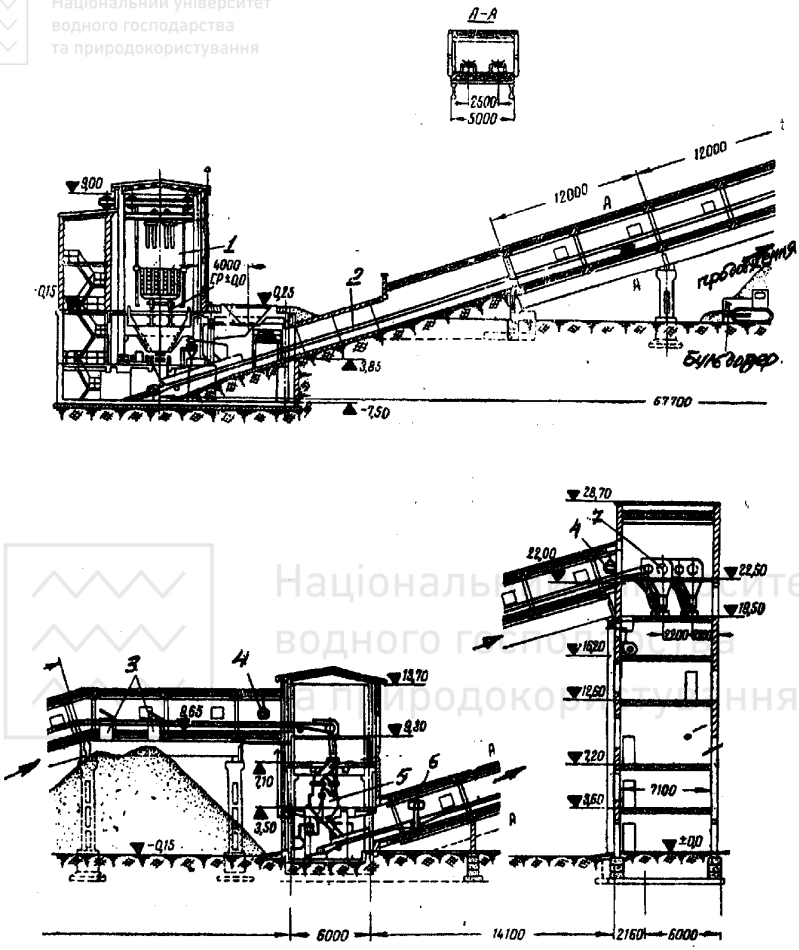
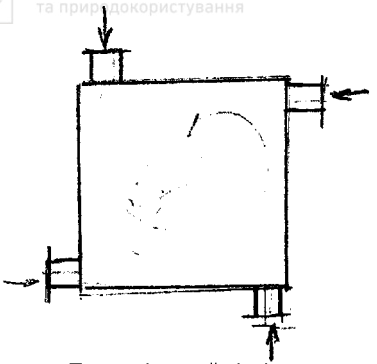
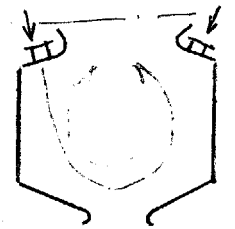


Рис. 16.4. Система паливоподачі твердого палива:
1 – вагон з розвантажувачем вугілля; 2 – конвейєр; 3 – скидувач; 4 – сепаратор;
5 – дробарка; 6 – вага; 7 – бункер сирого вугілля

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Способи завихрення факелу





Національний університет
водного господарства
та природокористування

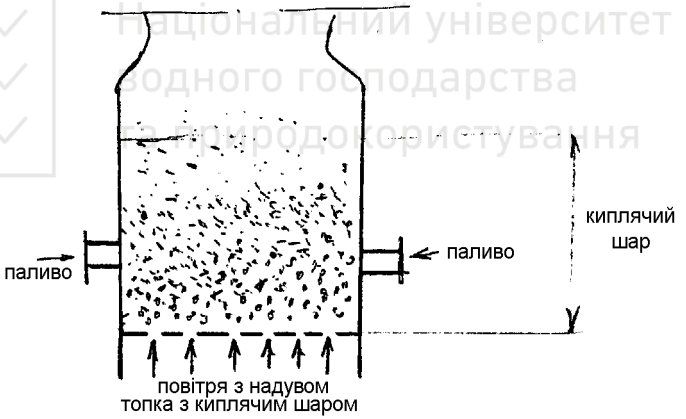


Рис.16.5. Способи інтенсифікації згоряння палива

Пункти пересипки змінюють напрямок подачі палива і встановлюються кожні 200 м. Стрічкові транспортери розміщуються у закритих галереях з обслуговуванням. Естакади робляться під кутом не більш 18° і мають опори через 10 – 20 м. Для регулювання кількість палива встановлюються дозатори.

Стрічкові транспортери (конвейєри) дозволяють подати вугілля на необхідну висоту для загрузки БСВ, для укладки штабелів, для переходу з одного рівня на другий.

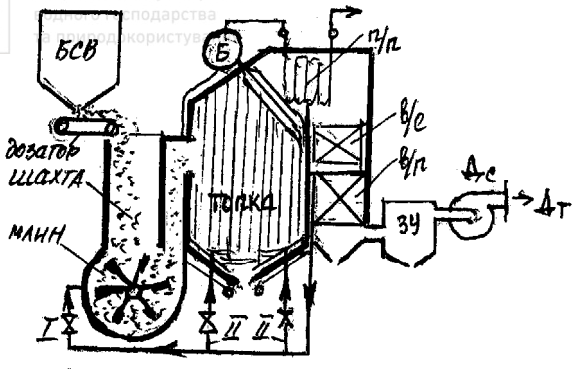
Розморожуючий пристрій – закрите приміщення, де обігрів здійснюється за допомогою пароповітряних калориферів. Гаряче повітря подається знизу і з витяжкою у верхній частині приміщення. Передбачаються у приміщенні дренажі.

Після дробарок вугілля поступає з кусками діаметром менш 20 мм у бункер сирого вугілля БСВ. А далі обирається один із способів спалювання твердого палива. Сьогодні вже майже не використовується шаровий спосіб спалювання вугілля на ланцюгових (колосникових) решітках, рухомих і нерухомих, як малоефективний з КПД до 85%. На рис. 16.5 і рис. 16.6 представлена рухома і нерухома ланцюгової решітки із шнековим з пневмомеханічним закидачем. Первинне гаряче повітря після в/п підсушує паливо і разом з механічним закидачем подають паливо на рухому решітку, яка повільно (швидкість обертання 0,5 – 1 м/хв) рухає шлак вперед або назад у шлаковідвал після згорання палива. Передбачається шлакозмішальний пристрій перед шлаковим комодом. Вторинне гаряче повітря подається у вікна решітки під шар горіння. Процес горіння регулюється дозатором подачі палива, кількістю повітря та швидкістю обертання решітки.

Частіш після дробарок куски вугілля проходять подальшу обробку у шахтних млинах, у шарових барабанних млинах (ШБМ), де перетворюються у пил і спалюються у камерах згоряння (екранованих топках), циклонах, предтопках з завихренням і камерах догоряння, у камерах з киплячим шаром де згоряння наближається до кинетичного режиму без значних втрат від хімічного і механічного згоряння. ККД таких парогенераторів доходить до 95% і більш.

На рис.16.6, 16.7 представлені схеми систем пило приготовлення з використанням шахтного млина (для БВ, Т, С …) і ШБМ (КВ, АШ).

Національний університет
водного господарства
та природокористування



I – первинне гаряче повітря для подачі пилу в топку і підсушку.

II – вторинне гаряче повітря після повітряпідігрівача В/П, яке подається в камеру згоряння.

Рис. 16.6. Пилоприготовлення з шахтними млинами

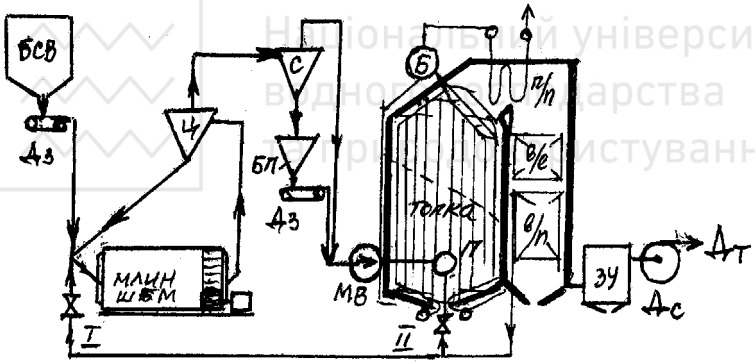
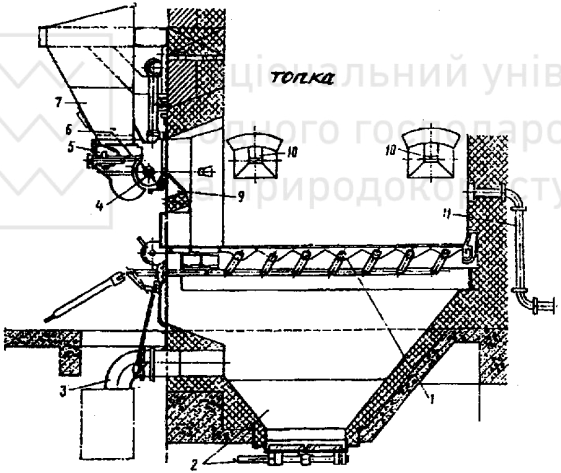


Рис. 16.7. Пилоприготовлення з ШБМ:
БСВ – бункер пилу; Дз – дозатор з вагою; Ц – циклон; С - сепаратор; БП – бункер пилу; ШБМ – шаровий барабанний млин; МВ – млинний вентилятор; Б – барабан котла; П – пальник; в/е – водяний економайзер; в/п – повітряпідігрівач; п/п – пароперегрівник; ЗУ - золовловник; Дс – димосмок; Дт – димова труба

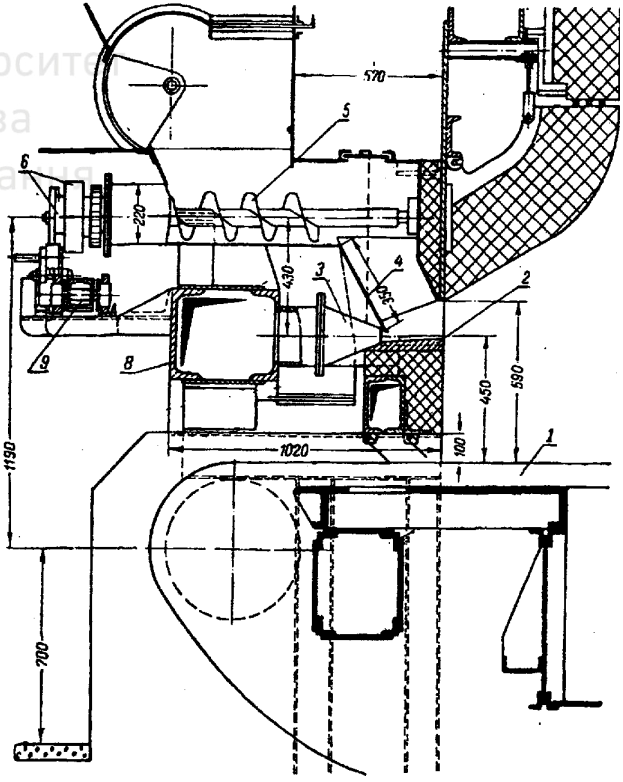
Рис. 16.9. ПМЗ – напівмеханічний закидач



1-нерухома колосникова решітка; 6-плита;
2-шлаковий бункер; 7-бункер;
3-повітря; 9-коров;
4-закідач; 10-лаз;
5-живлення; 11-II повітря.

1-рухома решітка;
2,4-плити;
3-сопло подачі повітря;
5-шнековий закідач;
6.-редуктор;
8-повітряний короб;
9-електродвигун.

Рис. 16.8. Шнековий закидач



Національний університет
водного господарства
та природокористування

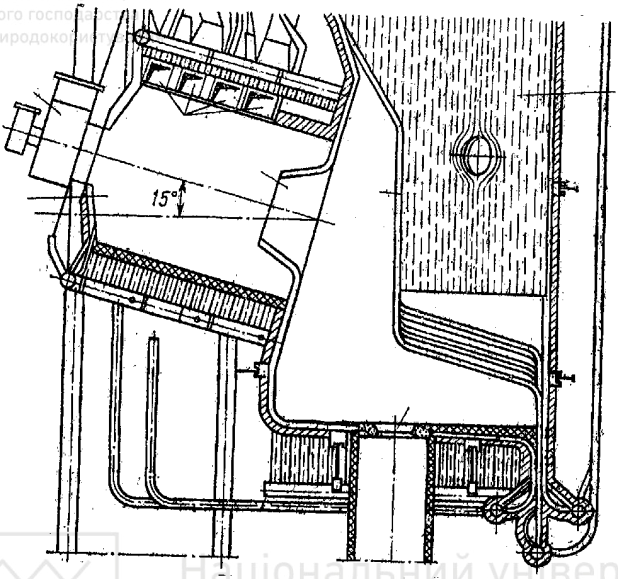


Рис.16.10. Циклонна топка

Національний університет
водного господарства
та природокористування

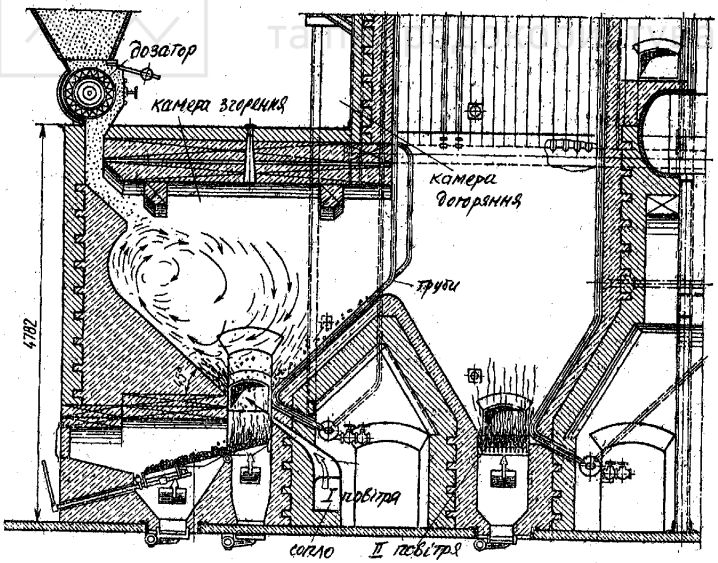


Рис.16.11. Топка із завіхренням у предтопку

Національний університет
водного господарства
та природокористування

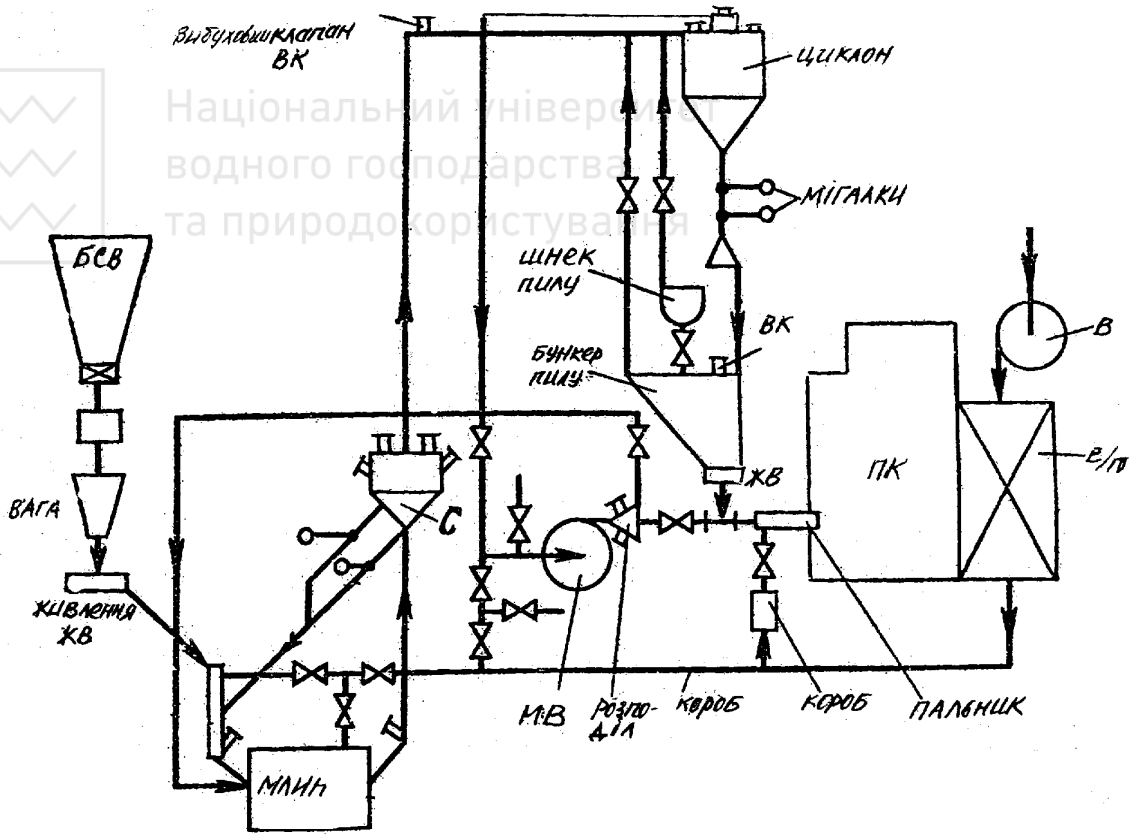


Рис. 16.12. Схема пилоприготовлення з шаровими барабанними млинами

Національний університет
водного господарства
та природокористування

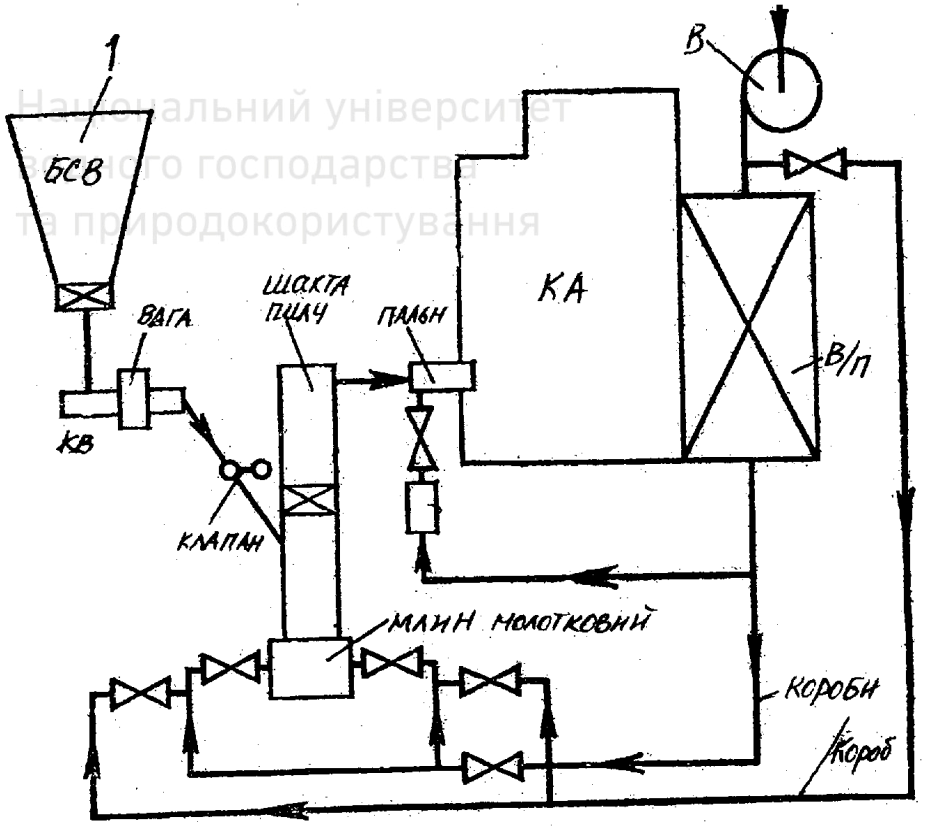


Рис. 16.13. Схема пилоприготовлення з молотковим млином

Національний університет
водного господарства
та природокористування

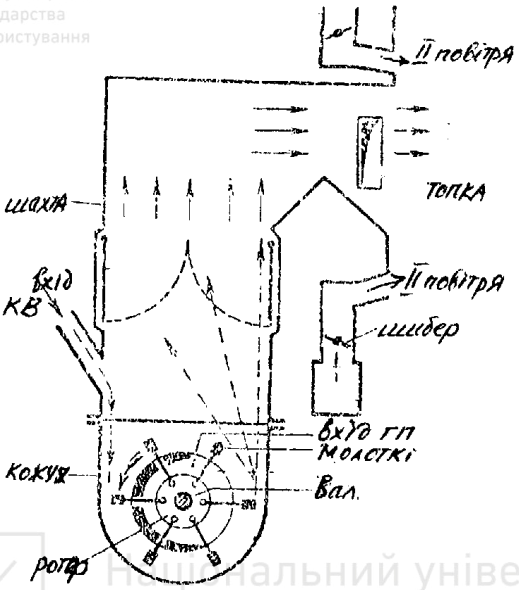


Рис. 16.14. Шахтний млин для помола вугілля

Національний університет
водного господарства
та природокористування

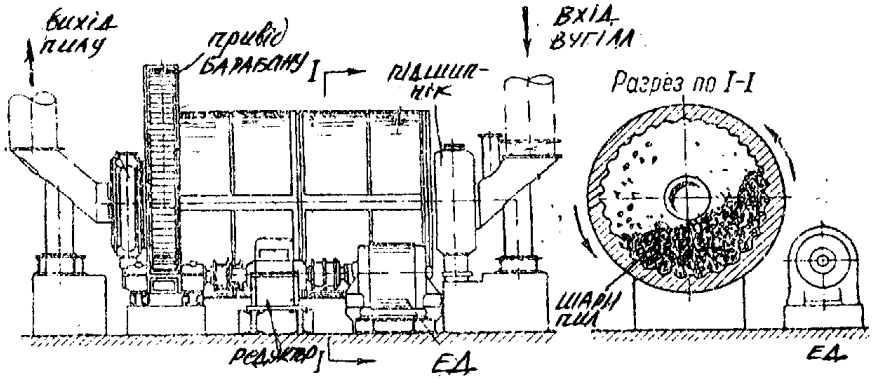


Рис. 16.15. Шаровий барабаний млин для помола КВ

Національний університет
водного господарства
та природокористування

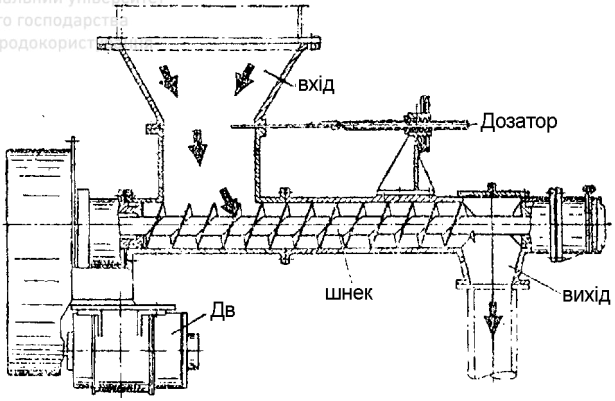


Рис.16.16. Шнекове живлення пилу

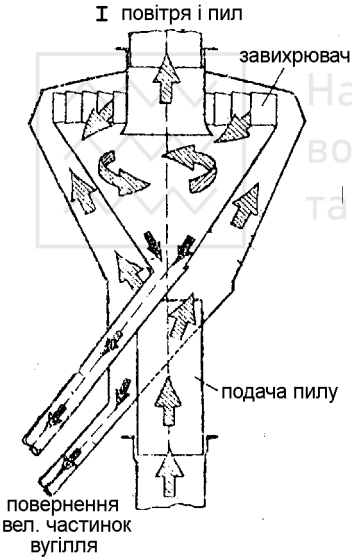


Рис.16.17. Сепаратор (пилороздільовач)

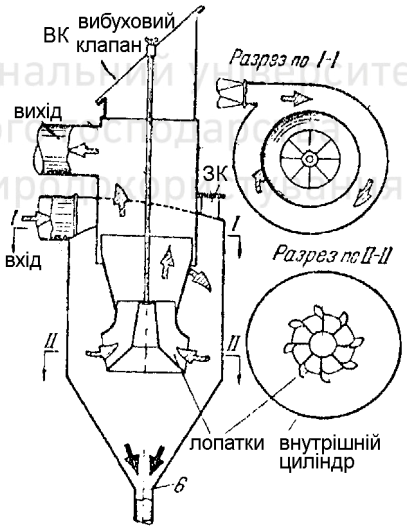


Рис.16.18. Циклон

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Національний університет
та природокористування

ТЕМА 17. Газомазутопостачання

17.1. Газопостачання

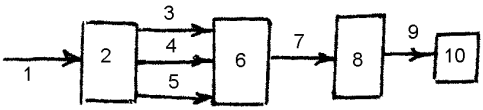


Рис.17.1. Схема газопостачання споживача
1 – магістральний газопровід; 2 – газорозподільна станція ГРС; 3 – газопровід низького тиску p до 0,05 бар; 4 – газопровід середнього тиску p до 3 бар; 5 – газопровід високого тиску p до 12 бар; 6 – газопунк ГРП; 7 – газопровід до котельні; 8 і далі до котлів 10

До битового споживача подається газ низького тиску, $W_r = 5-10\,{}^{м}\!/_{с}$. До котелень – середнього і високого тиску, $W_r = 30-60\,{}^{м}\!/_{с}$.

Національний університет
та природокористування

Всі газопроводи підземні. Перед котельною 8 встановлюється головна засувка. В котельні газопроводи – наземні на висоті 2,2 м. Можлива установка підземного газопроводу в деяких випадках на глибині $0{,}8 \div 0{,}9$ м. Безпосередньо в котельні розміщується газорозподіляючий пристрій ГРУ. Газопроводи повинні мати температурні компенсатори і бути окрашені в жовтий колір. Встановлюються також продувальні свічки діаметром 20 мм з вентилем і висотою 1 м над будівлею. В нижніх точках встановлюються конденсатовідвідники. Вентилі приєднуються на фланці; до приладу, пальнику на муфті. До газопроводів повинен бути вільний доступ.

17.2. ГРП

Газорегулювальний пункт призначений для регулювання тиску газу, очищення газу, для вимірювання витрат газу, для автоматичного вимикання об’єкту.

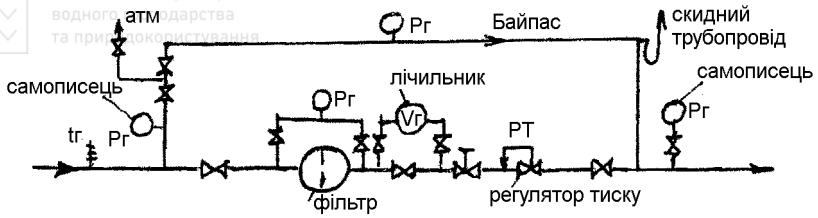


Рис.17.2. Схема ГРП

ГРП встановлюються на високому і середньому тиску, в окремих будинках, без обслуговуючого персоналу, з дренажем, на опорах, поза котельною з протипожежним обладнанням. Обладнуються контрольно-вимірювальними приладами витрат газу, заміру і запису тиску, температури, вологовмісту, густини газу.

ГРУ – газорозподіляючий пристрій для вимірювання витрат та параметрів газу, встановлюється безпосередньо у котельні в доступному, освітленому місці з вентиляцією на відстані не менш 0,8 м від стін.

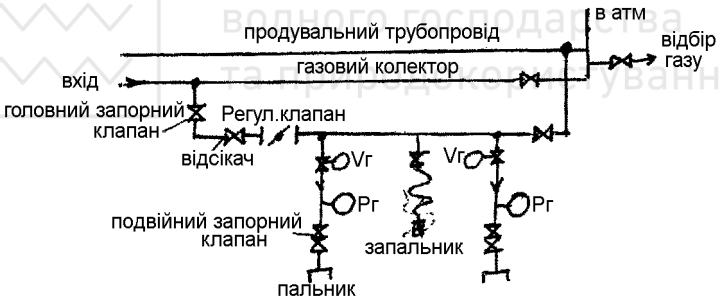


Рис.17.3. Підвід газу до котлів

17.3. Мазутопостачання

Мазут у котельнях, ТЕЦ використовується як допоміжне, аварійне, запалювальне паливо. Мазут – залишковий продукт нафтопереробки. Буває малов'язкий М-40, високов'язкий М-100, 200. В залежності від наявності сірки, мазут поділяють на малосірчасті – до 0,5%, середньосірчасті – $0{,}5 \div 2\,\%$ і багатосірчасті – більше 2%. Мазут як резервне, розпалювальне паливо повинен завжди знаходитись у готовності до використання, а це означає, що його треба зберігати у розігрітому стані. Розігрівають мазут парою.

$P_n = 8 - 13$ бар; $t_n = 200 \div 250^\circ C$; $V_n = 0,9$ Т/год на 1 цистерну.

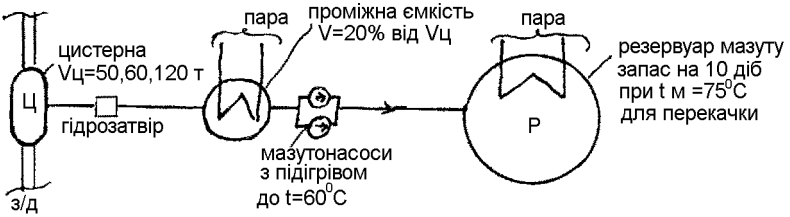


Рис.17.4. Мазутне господарство

В цистерні, резервуарі, проміжній ємності встановлюються глибинні перекачуючи насоси з підігрівом. З резервуару мазут подається до котлів.

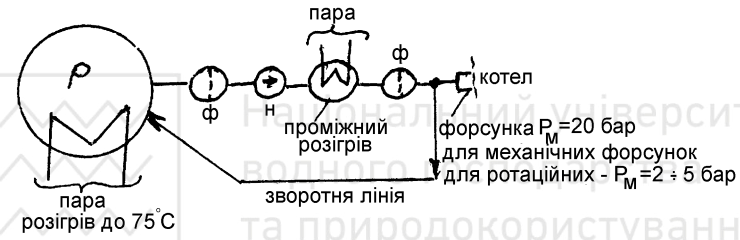


Рис.17.5. Підвід мазуту до котла

Для зменшення корозійних властивостей мазуту додають присадки.

17.4. Розрахунок пальників

Різноманітні пальники для спалювання пилу, газу, мазуту, представлені на рис. 17.6 ÷ 17.17.

Основне призначення пальників – забезпечити надійне сумішеутворення палива з необхідною кількістю повітря для забезпечення повного згоряння палива при різних режимах роботи котла. Крім того, пальник забезпечує надійне запалення суміші, необхідну довжину факелу, запобігає "відриву" і "проскоку" факелу.

Розрахунок пальників виконується у такій послідовності:

1. Витрата палива на котел

$$B_к = \frac{Д_п - i_{жв}}{Q_y^p \cdot \eta_к}, \; кг/с \; (м^3/с);$$

2. Виходячи з виду палива, конструкції пальника і камери згоряння, а також норм проектування, задаємо коефіцієнт надлишку повітря $\alpha_m = 1{,}03 \div 1{,}5$, а для деяких КЗ, наприклад ГТУ, і більше. Для спалювання газу $\alpha_T = 1{,}03 \div 1{,}05$, твердих палив – $1{,}2 \div 1{,}4$, мазуту – $1{,}1 \div 1{,}2$.
3. Виходячи з конструкції КЗ, визначаємо кількість пальників, їх розташування: на фронтальній поверхні, на бокових стінках, по кутах, тангенціально, кількість ярусів.

Витрата газу (палива) на один пальник $B = \dfrac{B_к}{n}$;

4. Визначаємо тип пальника в залежності від виду палива – для пилу, для газу, мазуту: пилогазові, газомазутні, просто форсунки і таке інше.
5. Визначаємо $t_{ГП}$ – температуру гарячого повітря в залежності від наявності повітряпідігрівача $в/п$. Визначаємо тиск мазуту $P_М$, газу $P_Г$, виходячи з гідравлічного опору пальника, форсунки. Визначаємо тиск повітря $P_П$.
6. Витрата повітря

$$V_П = \alpha_T \cdot V^\circ \cdot B \cdot \frac{760}{P_П} \cdot \frac{T_{ГП}}{273}, м^3/с \ (кг/с),$$

де V° – теоретично необхідна кількість повітря при спалюванні 1кг (м^3) палива у середньому $V^\circ \approx 10 м^3/м^3$ (кг).

Для газу витрата суміші $V_C = B + V_П, м^3/с$.

7. Задаємо діаметр змішувача $Д_З$ або швидкістю суміші на виході змішувача $W_З = 15 \div 50 м/с$, щоб попередити “проскок” або “відрив” факелу. Якщо $Д_З$ задано для номенклатурного пальника, то визначаємо $W_З$, або при конструкторському розрахунку визначаємо $Д_З$ при заданій $W_З$. З рівняння

$$W_ç = V_c / F_ç = \frac{V_c}{0{,}785 \cdot Ä_ê^2}, \text{ м/с.}$$

8. Для газових пальників задаємо кількість газових отворів, їх діаметр. При цьому, приймаємо швидкість витікання газу з отворів $W_Г = 50 \div 100$ $^{м}/_{с}$, що забезпечить належну глибину проникнення потоків газу в поперечний потік повітря для кращого сумішоутворення. Глибина проникнення $h_Г$, швидкість газу та діаметри газових отворів і змішувача пов'язані рівнянням

$$\frac{h_Г}{d_Г} = 1{,}76 \frac{W_Г}{W_П} \cdot \frac{d_Г}{Д_З} \cdot \sqrt{\frac{\rho_Г}{\rho_П}},$$

де $W_П$ – швидкість повітря, $^{м}/_{с}$;

$\rho_Г$, $\rho_П$ – густина газу і повітря, $^{кг}/_{м^3}$;

$h_Г$ – глибина проникнення потоків газу в поперечний потік повітря, мм;

$d_Г$ – діаметр газового отвору, мм.

Рівняння використовується при центральній або периферійній роздачі газу. Діаметр потоків газу на глибині $h_Г$: $Д_Г \approx 0{,}75 \cdot h_Г$.

Національний університет водного господарства та природокористування

Таблиця 17-1

Технічна характеристика пальників

Найменування	ГМГ-1,5	ГМГ-2	ГМГ-4	ГМГ-6	ГМГБ	ГМ-2,5	ГМ-4,5	ГМ-7	РГМ-10	РГМ-20	РГМ-30	ГМП-10	ГМП-14	ДКЗ 50	ДКЗ 100
Потужність, $\frac{Гкал/год}{МВт}$	1,5 / 1,75	2 / 2,33	4 / 4,67	6 / 7,0	5,6 / 6,5	2,5 / 2,91	4,5 / 5,24	7 / 8,15	10 / 11,65	20 / 23,3	30 / 35	10 / 11,65	14 / 16,3	5 / 5,8	6 / 7
Витрата газу, $м^3/год$ мазуту	-	-	-	-	-	293	530	823	-	-	-	1194 / 1127	1845 / 1736	660 / 320	900 / 900
Тиск $\frac{P_Г}{P_М}$, $\frac{мм H_2O}{бар}$	500 / 16	360 / 20	380 / 20	200 / 20	500 / 20	2500 / 20	2500 / 20	2500 / 20	– / 2	– / 2	– / 2	2500 / 20	2500 / 20	2500 / 30	2500 / 30
Витрата повітря, $м^3/год$ при α –	1700	2700	5400	8000	7000				1900	1900	1960	16600	29800		
тиск $P_{пов}$, $мм H_2O$	1,15 / 500	1,15 / 500	1,15 / 500	1,15 / 500	1,05 / 500	1,1 / 550	1,1 / 550	1,1 / 550	1,05 / 630	1,05 / 630	1,05 / 630	1,05 / 700	1,05 / 700	1,05 / 700	1,05 / 700
Змішувач $\frac{Д_З}{\alpha}$, $мм$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	800 / 1200	800 / 1200	-	-
Теплонапруга, $\frac{q_П}{q_{КЗ}}$, $\frac{Гкал/м^2 \cdot год}{Гкал/м^3 \cdot год}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,3 / 8,58	16,05 / 13,4	-	-

продовження табл. 17-1

Діапазон регулювання, %	20-100	20-100	20-100	20-100	20-100	10-100	10-100	10-100	10-100	10-100	10-100	10-100	10-100	10-100	10-100
Площа, $\frac{F_П}{F_Г}$, $м^2$	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,092 / 0,002	0,092 / 0,0024
отвори, $\frac{d_Г}{n}$, $\frac{мм}{шт}$	–	–	–	–	–	–	–	–	14 / 16	16 / 20	18 / 21	–	–	–	–
Опір, $\Delta h_Г$, $мм\,H_2O$	1100	1200	1500	1700	1700	1300	1500	1800	2000	3000	4000	2000	2500	5500	6000
$\Delta h_П$, $мм\,H_2O$	120	120	120	80	120	80	90	110	700	730	900	160	171	180	200
Діаметр амбразури, $мм$	280	300	400	430	420	810	410	480	542	676	725	540	580	920	1100
Тиск пари форсунки, $бар$	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5
Кут розкриття факелу, $град$	70	70	70	70	65	60	60	60	60	60	60	65	65	65	65

Національний університет
водного господарства
та природокористування

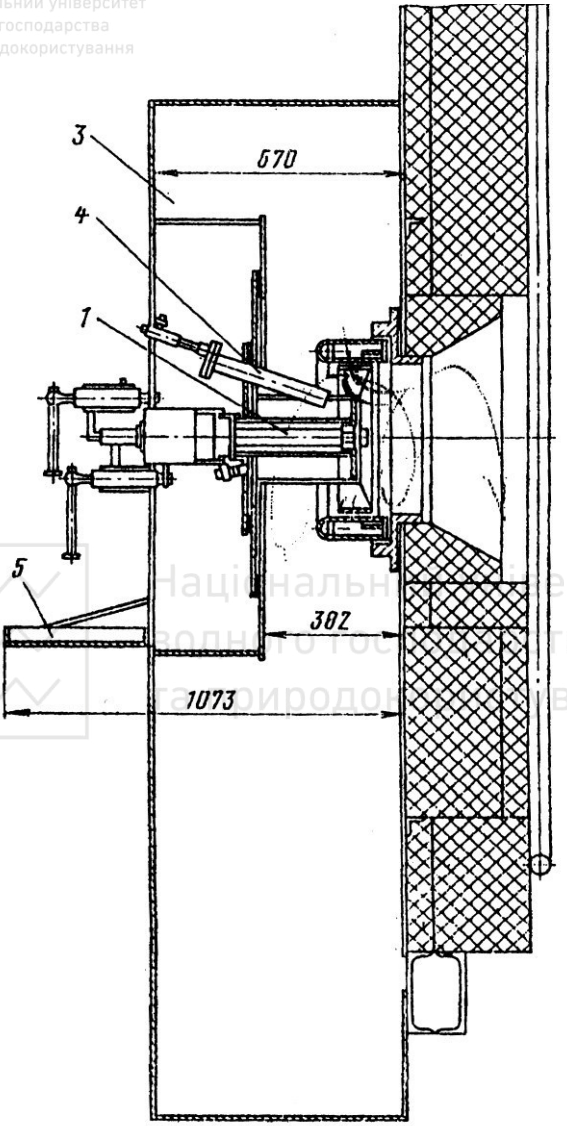


Рис.17.6. ГМ-7
1 – ГМ-7; 2 – подача газу; 3 – короб повітря; 4 – запал; 5 – рама

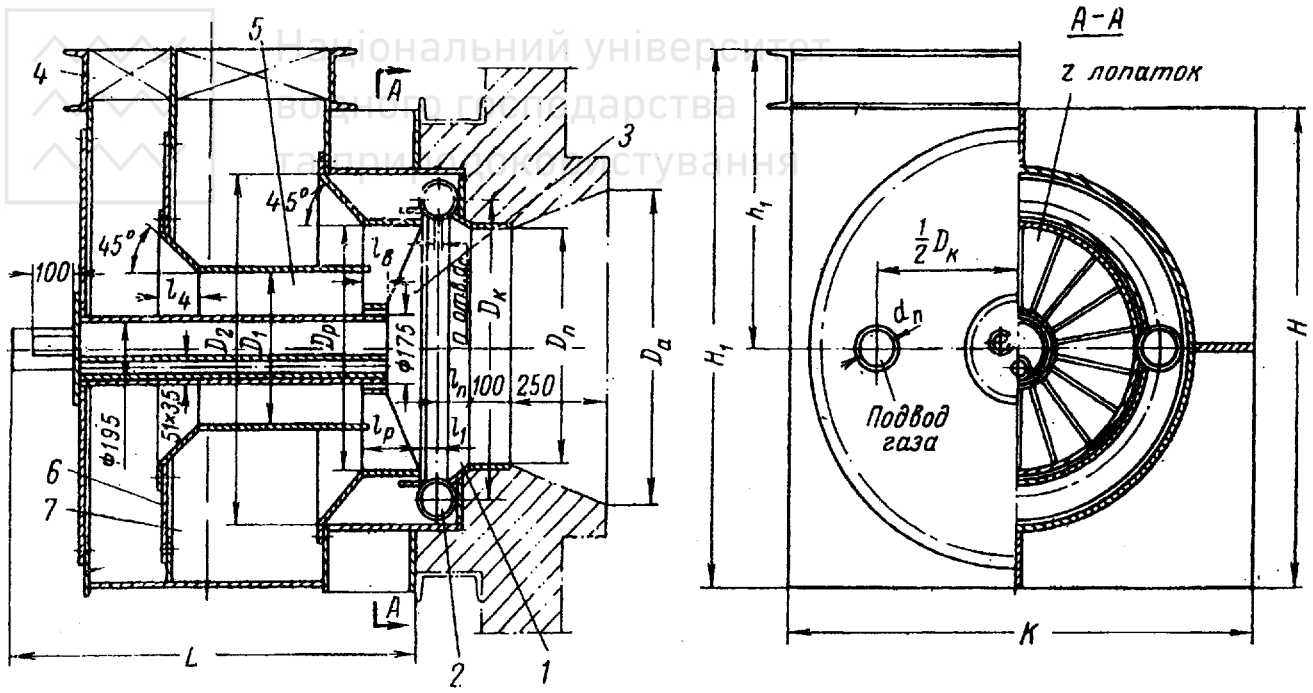


Рис. 17.7. ПГ Пальник ЦКТІ
1 – змішувач; 2 – газовий колектор; 3 – завихрював; 4 – регістри І повітря;
5 – канал; 6 – фланець; 7 – короб ІІ повітря

Національний університет
водного господарства
та природокористування

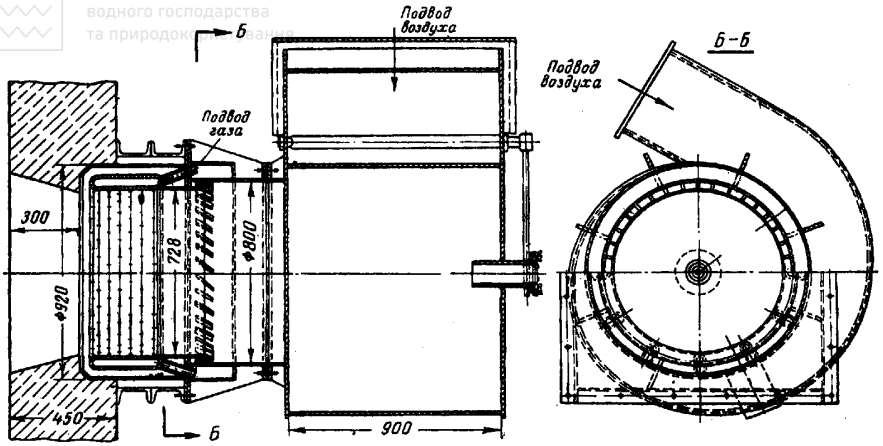


Рис. 17.8. Газовий пальник з периферійним підводом

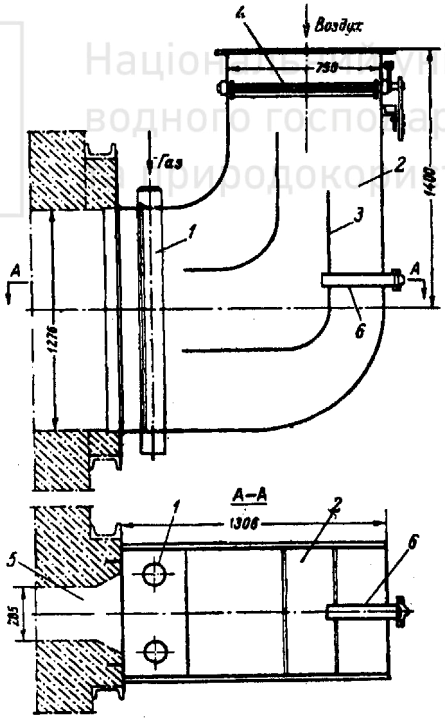


Рис. 17.9. Газовий пальник
1 – газові труби; 2 – повітря; 3 – направляючі; 4 – засувка регулююча;
5 – амбразура; 6 – запальник

Національний університет
водного господарства
та природокористування

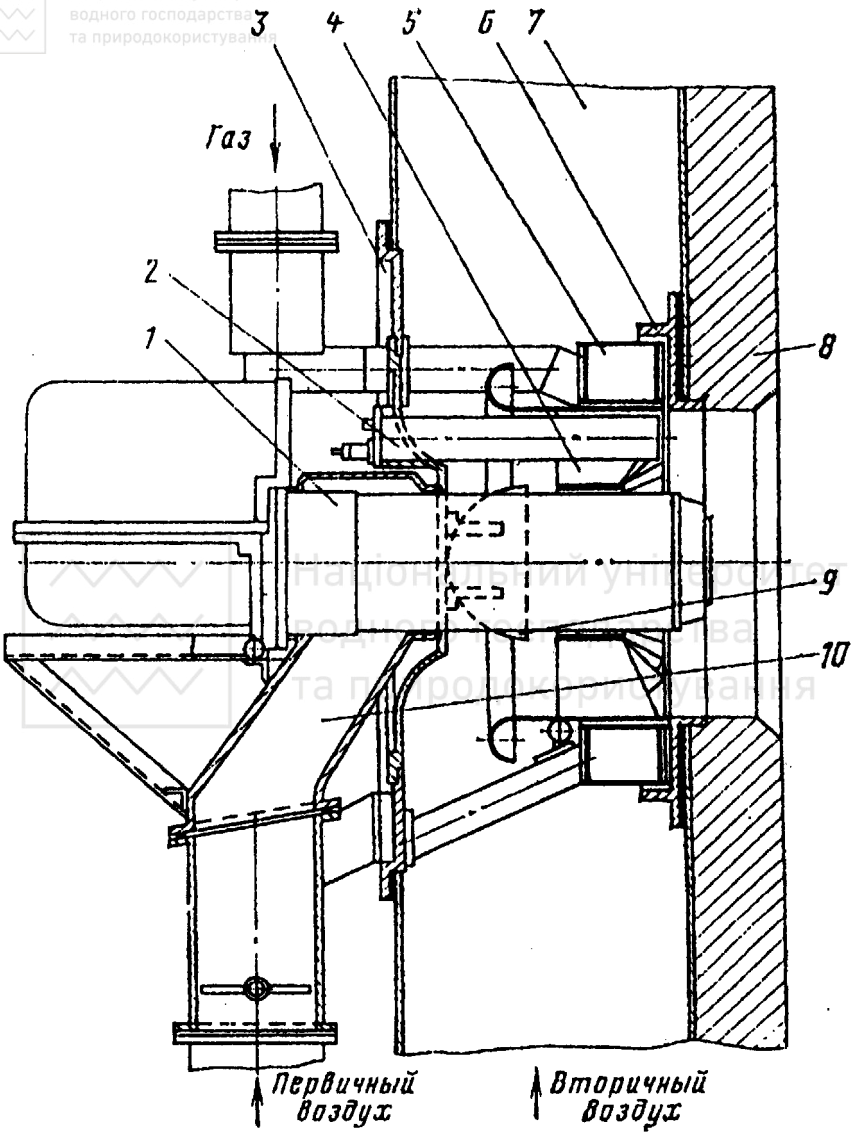


Рис. 17.10. Ротаційний ГМП
1 – ротаційна форсунка; 2 – запальник; 3 – рама; 4 – завихрювач; 5 – газ; 6 – фланець; 7 – короб II повітря; 8 – торкрет; 9 – засувка; 10 – короб I повітря

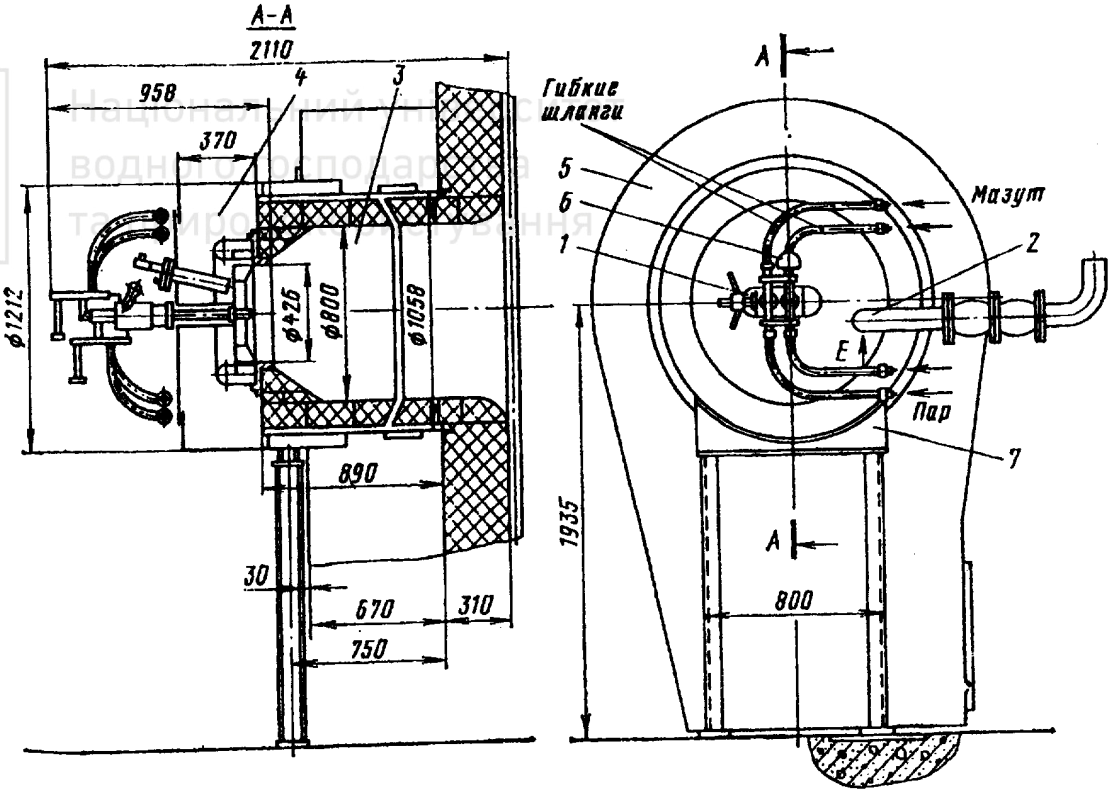


Рис. 17.11. ГМП-14
1 – ГМП-14; 2 – газ; 3 – мазутна камера; 4 – короб повітря пальнику;
5 – короб повітря котла; 6 – запал; 7 – рама

Національний університет
водного господарства
та природокористування

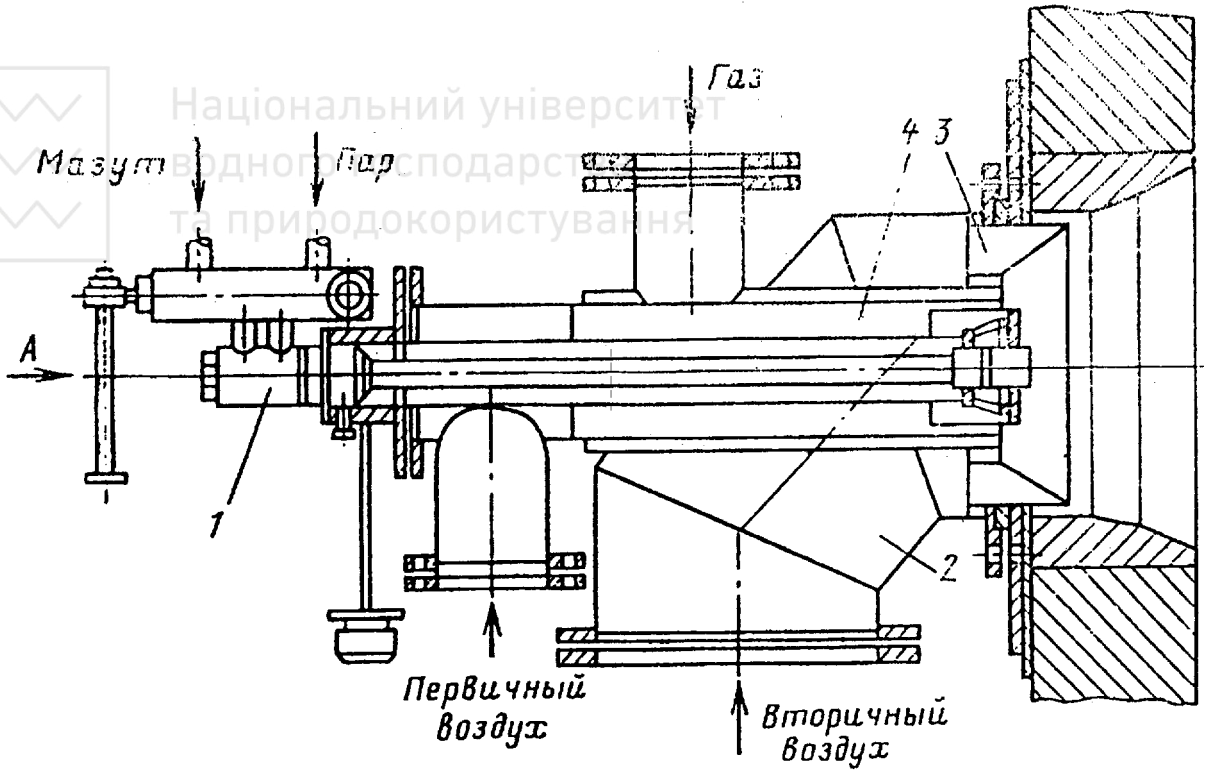


Рис. 17.12. ГМГ
1 – форсунка; 2 – короб II повітря; 3 – завихрювач; 4 – короб I повітря

Національний університет
водного господарства
та природокористування

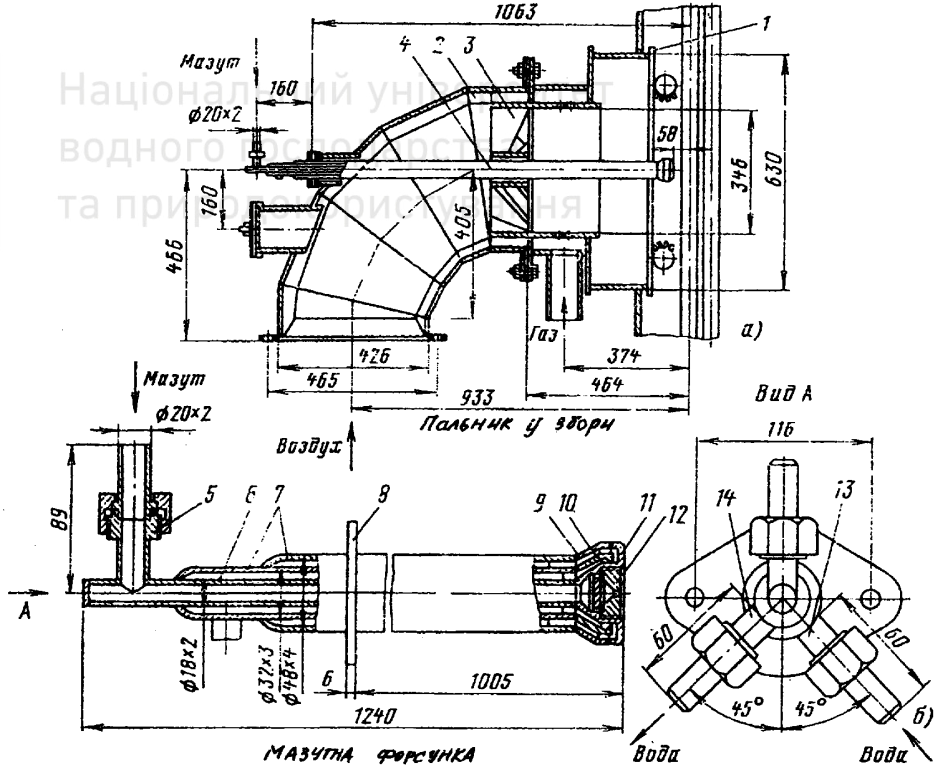


Рис. 17.13. ГМП ДК3

1 – рама; 2 – короб; 3 – регістр; 4 – мазутна форсунка; 5 – штуцер; 6 – труба палива; 7 – водяне охолодження; 8 – фланець; 9, 10 – конуси; 11 головка; 12 – завихрювач; 13,14 – штуцера підводу і відводу води

Національний університет
водного господарства
та природокористування

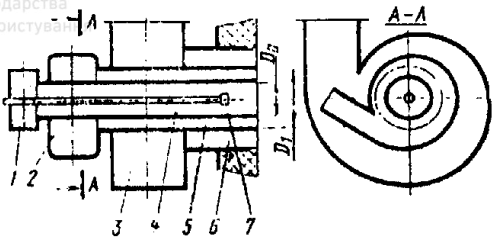


Рис. 17.14. Пиловугільний пальник
1 – короб I повітря; 2 – завихрювач; 3 – короб II повітря;
5 – змішувач; 7 – запалювач; 4,6 – канали повітря

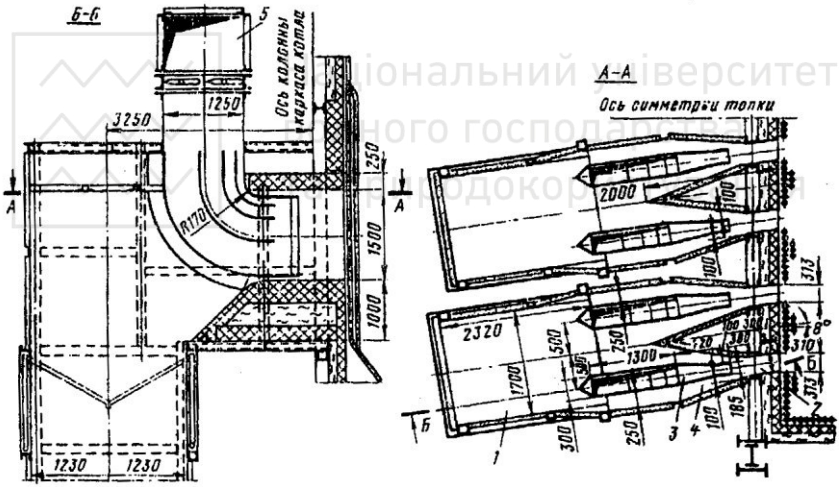


Рис.17.15. Щілинний пальник для пилу вугілля
1 – короб пилу; 2 – амбразура; 3 – II повітря; 4 – I повітря; 5 – короб II повітря

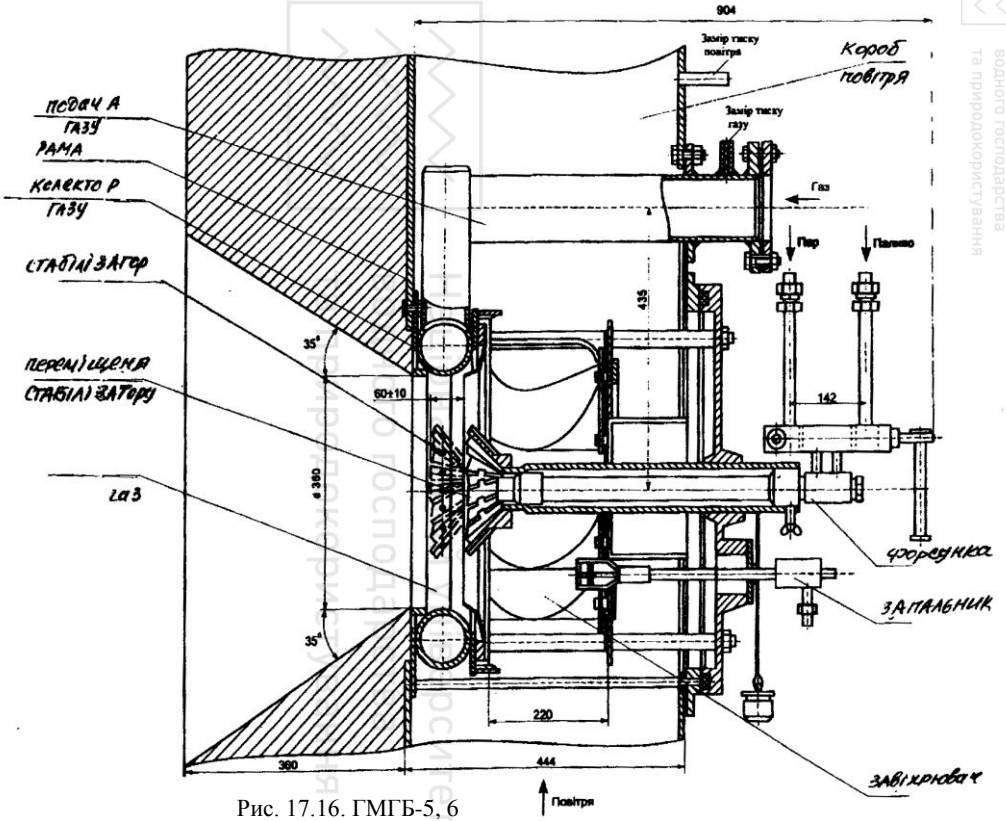


Рис. 17.16. ГМГБ-5, 6

Національний університет
та природокористування

ТЕМА 18. Золошлаковідвід

При спалюванні твердого палива утворюється летуча речовина – зола, яка відводиться з котла із димовими газами, з топки, через конвективні поверхні нагріву (фестон, п/п, в/с, в/п) димосмоком в димову трубу. Перед димосмоком встановлюється система золовловлення.

Крім того, при спалюванні утворюється твердий залишок – шлак, який збирається у нижні частині топки – шлаковій воронці. Відвід шлаку здійснюється двома способами – сухе і рідке шлаковідведення. Шлак і певна кількість золи транспортується на золошлаковідвал, на шлакобетонний завод.

Кількість золи і шлаку, які утворюються при спалюванні твердого палива, визначається по формулі

$$M_{ЗШ} = 0{,}01 \cdot B\left(A^P + q_4 \cdot \frac{Q_H^P}{32400} \right), \ {кг}/{год}.$$

Якісне згоряння палива характеризується відсутністю або мінімальною втратою тепла від хімічного недопалювання $q_3 \approx 0 \div 0{,}3\ \%$. Важливою задачею є зменшення втрати тепла від механічного недопалювання q_4 і втрата тепла зі шлаком q_6.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

18.1. Шлаковідведення

Механічне для малих котлів $Д$ до 10 ${т}/{год}$ або при $M_{ЗШ}$ до 150 ${т}/{год}$

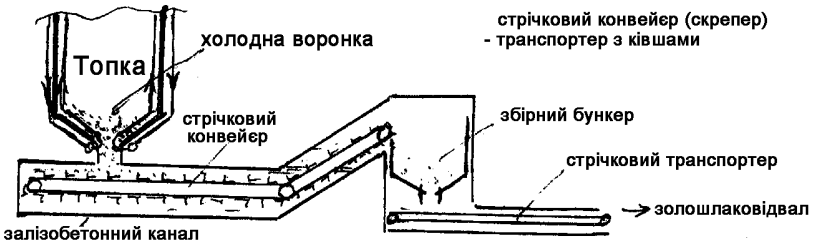


Рис.18.1. Механічне золошлаковідведення

Холодна воронка екранована для охолодження до $t < t_{ЗШ}$ ($t_{ЗШ}$ – температура затвердіння шлаку), тобто шлак знаходиться у гранульо-

ваному стані і поступає через летку у канал, який заповнюється водою. Може бути і сухе скебкове відведення шлаку, якщо під холодною воронкою встановити дробарку гранульованого шлаку. Дрібний шлак з діаметром до 25 мм може транспортуватись на золовідвал повітрям (пневматичне відведення). Для цього потрібен компресор, ежектор (насадка) – E, циклон – $Ц$, для відділення повітря від шлаку, ежектор для відсмоктування повітря з циклону.

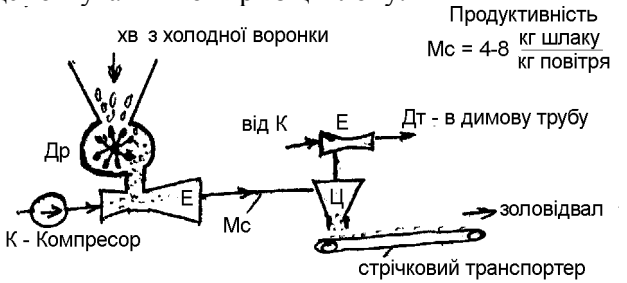


Рис.18.2. Пневматичне золошлаковідведення

Найбільш поширеним способом відведення золи і шлаку є гідравлічний. Використовується як при сухому, так і рідкому шлаковідведенні. При рідкому шлаковідведенні у шлакової воронки підтримується температура більше температури затвердіння шлаку. Шлак стікає у шлаковий комод з охолоджувальною водою, де шлак та зола гранулюються, далі у дробарці розбиваються на дрібні частки і з водою багерним насосом *БН* транспортуються на золошлаковідвал.

Рис.18.3. Гідравлічне золошлаковідведення

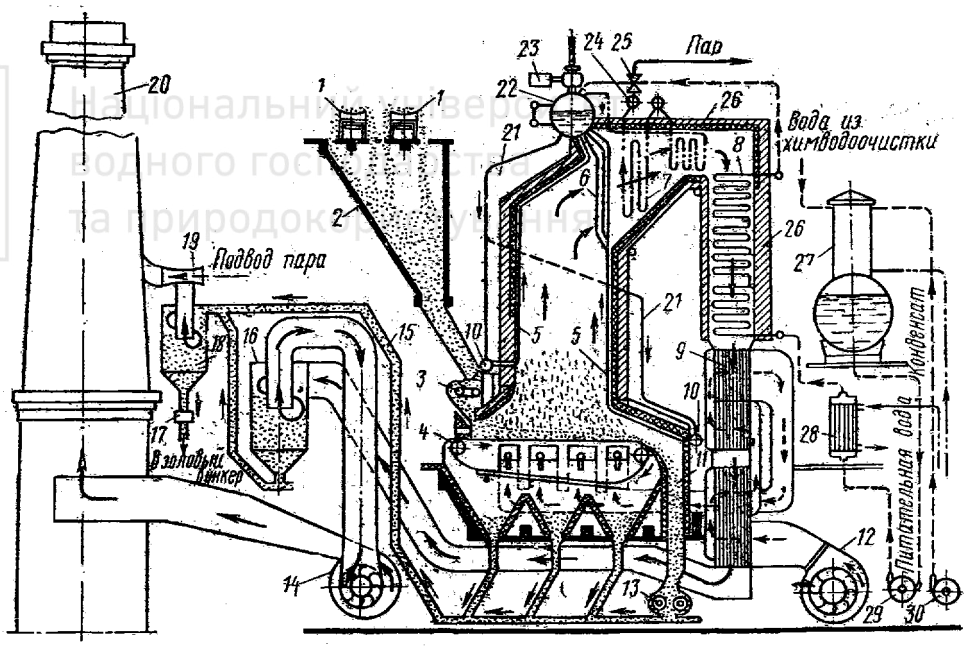


Рис. 18.4. Схема золошлаковідводу котельні у технологічному процесі
1 – конвейєр подачі палива; 2 – БСВ; 3 – механізм подачі палива; 4 – ланцюгова решітка; 5 – екрани;
6 – фестон; 7 – п/п; 8 – в/е; 9 – в/п; 10 – колектор; 11 – шлаковий бункер; 12 – В; 13 – шлакова дробарка;
14 – Дс; 15 – золопровід; 16 – золовловник; 17 – клапан; 18 – циклон; 19 – ежектор; 20 – Дт; 21 – опускні труби;
22 – барабан; 23 – ЗК; 24 – колектор; 25 – ЗВ; 26 – обмурівка; 27 – Д; 28 – ТА; 29 – ЖН; 30 – КН

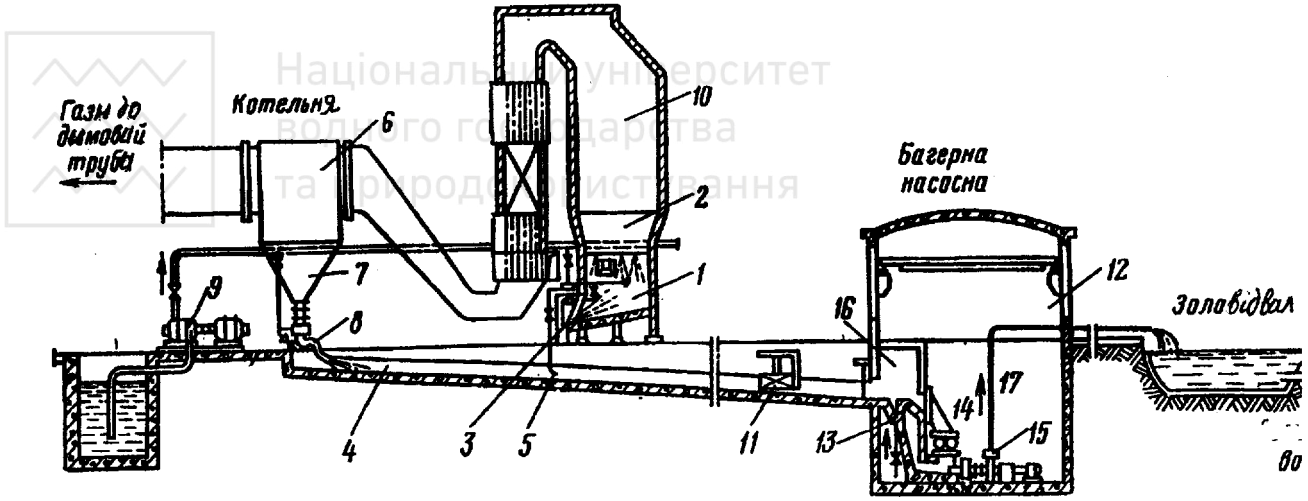


Рис. 18.5. Принципова схема гідрошлакозоловідводу

1 – шлакова ванна; 2 – пристрій зрошення; 3 – змивне сопло; 4 – шлакозоловий канал; 5 – збуджуюче сопло; 6 – золовловник; 7 – золі бункер; 8 – золозмивний апарат; 9 – насос змивний; 10 – топка ПК; 11 – перемикач; 12 – приміщення багерної станції; 13 – металовловник; 14 – дробарка; 15 – багерний насос; 16 – решітка; 17 – шлакозолопровід

Національний університет
водного господарства
та природокористування

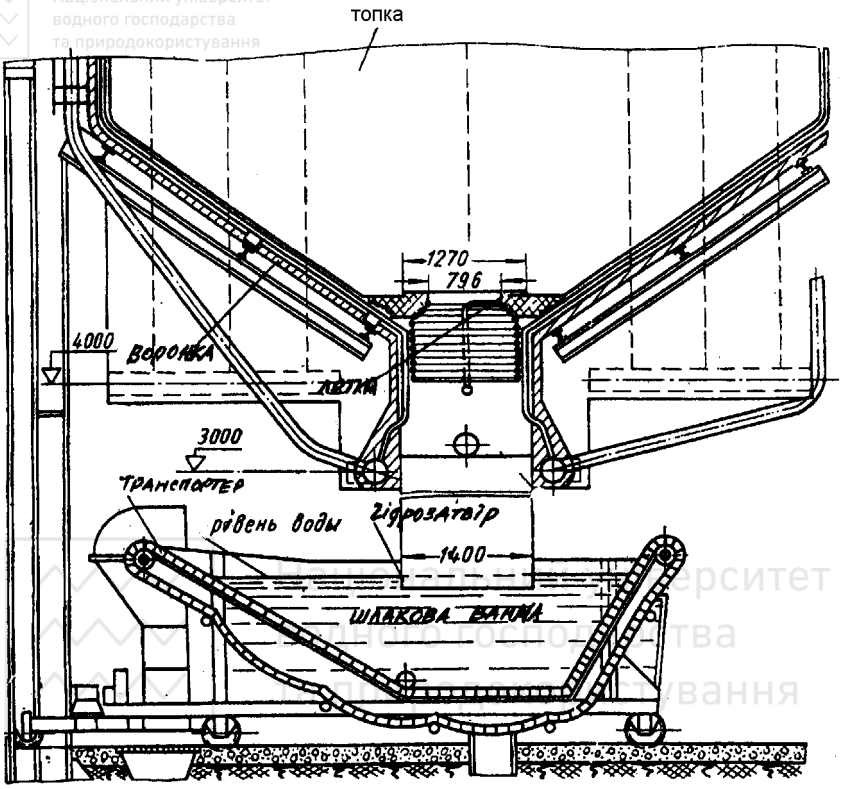


Рис. 18.6. Рідке шлаковідведення з гідозатвором

18.2. Золовловлення

Система золовловлення має на меті очищення димових газів від золи, шкідливих речовин – продуктів згоряння палива – CO_2, CO, оксидів азоту NO_x, сірки SO_x, оксидів ванадію, H_2S.

Згідно норм захисту навколишнього середовища ПДК наявність цих шкідливих речовин повинна бути у допустимих концентраціях: NO_2 – 0,085 $^{м^2}/_{м^3}$, NO – 0,25 $^{м^2}/_{м^3}$, SO_3 – 0,3 $^{м^2}/_{м^3}$, SO_2 – 0,5 $^{м^2}/_{м^3}$, CO – 3 $^{м^2}/_{м^3}$, V_2O_5 – 0, сажа – 0,15 $^{м^2}/_{м^3}$, пил (зола) – 0,5 $^{м^2}/_{м^3}$, H_2S – 0,008 $^{м^2}/_{м^3}$. При спалюванні твердого палива

Національний університет
винос золи знаходиться в межах:

- шарове спалювання – 10-15% від всієї золи;
- рідке шлаковідведення – до 30%;
- сухе шлаковідведення – до 80%

Система золовловлення: інерційні циклони, батарейні циклони, скуббери, електрофільтри, речовини хімічного поглинання.

Під дією відцентрової сили зола відкидається до стін циклона і опадає вниз, димовий газ викидається через центральну трубу до димосмоку.

Національний університет водного господарства та природокористування

Рис.18.7. Циклон

Батарейний циклон – це каскад інерційних циклонів, декілька циклонів, об’єднаних у групу. ККД очищення – до 90%.

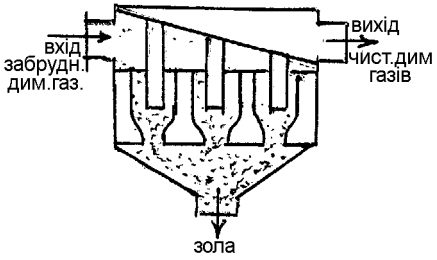


Рис.18.8. Батарейний циклон

Мокрий циклон – скуббер, коли зола по стінках змивається водою. Вода подається по периметру корпусу циклону. ККД збільшується до 94%.

Електрофільтри – у закритому корпусі, через які рухається забруднений димовий газ, розташовані послідовно “від’ємні” і потім “додат-

ні" електроди постійного струму. Наелектролізована зола налипає на стрижні, які періодично відключаються від струму і обтріпуються від золи. Зола скидається у золовий бункер. ККД очищення – до 99%.

Очищення від оксидів сірки SO_x проводиться розчинами і твердими абсорбентами (активоване вугілля, Al, Mg, Ka, Na, Fe).

Очищення від оксидів азоту NO_x проводиться сорбентами каталізом $NO_x = N_2 + O_2$.

18.3. Димова труба

Димова труба призначена для розсіювання "чистих" димових газів в атмосфері і створення тяги у котлі. Невеликі котельні мають металеві труби. Потужні котельні, ТЕЦ мають залізобетонні, цегляні димові трубі з гідроізоляцією. В середині труби розташовано декілька стволів (до 4), ліфт обслуговування.

Висота димової труби обирається по нормах в залежності від продуктивності котельні, ТЕЦ (табл. 18-1).

Таблиця 18-1

Вибір параметрів $Д_{тр}$

$Д, т/год$	$H_{тр}, м$	$d_{вихід}, м$
5-15	30-45	1,2
15-50	30-60	1,2-2
50-100	60-80	3,6
100-200	80-100	4,5
200-300	100-120	5
300 і більше	120-150	6

Національний університет
водного господарства
та природокористування

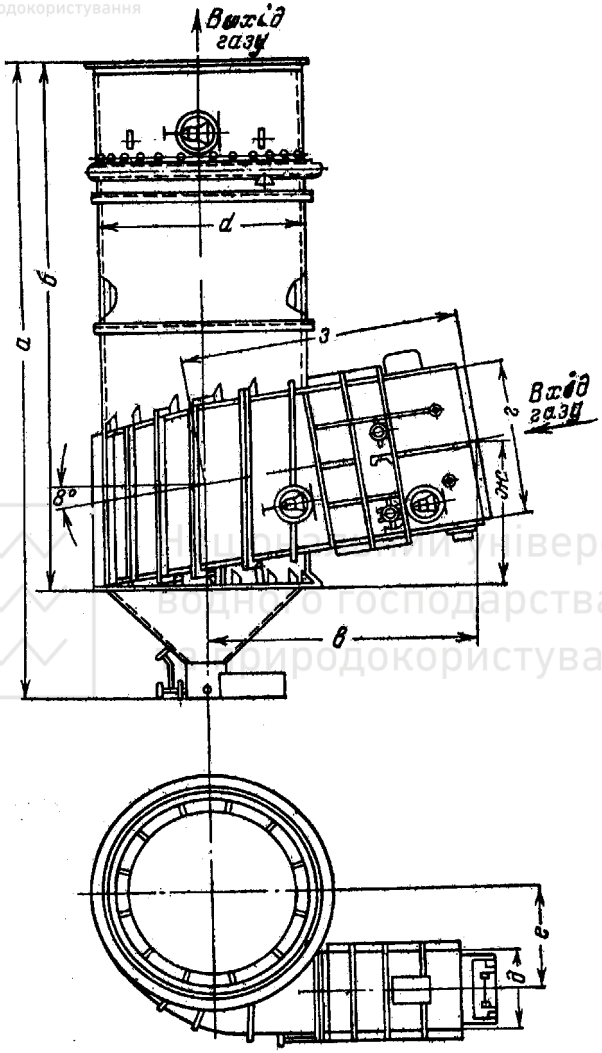


Рис. 18.9. Золовловник – ЗУ

Національний університет
водного господарства
та природокористування

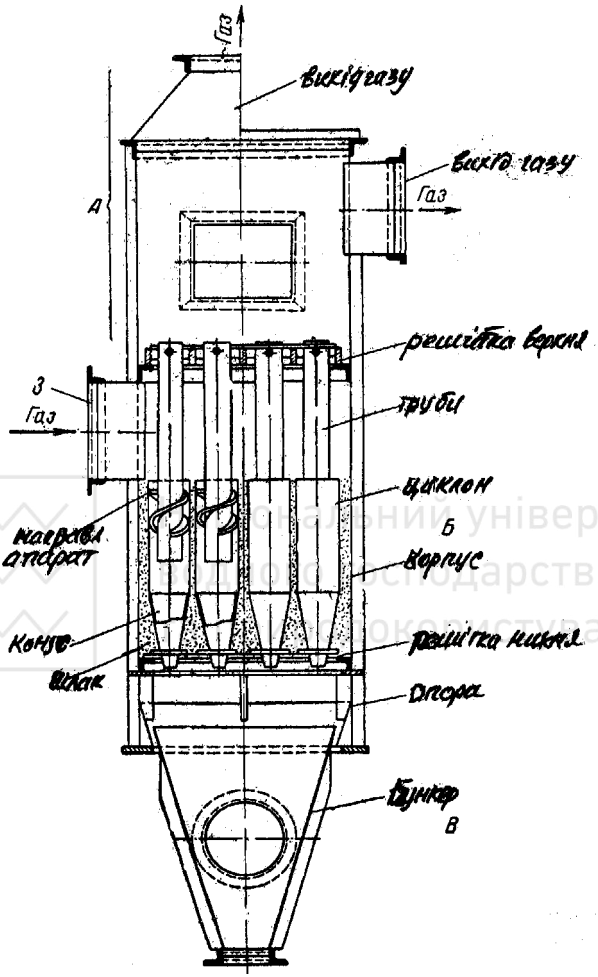


Рис. 18.10. Батарейний ЗУ

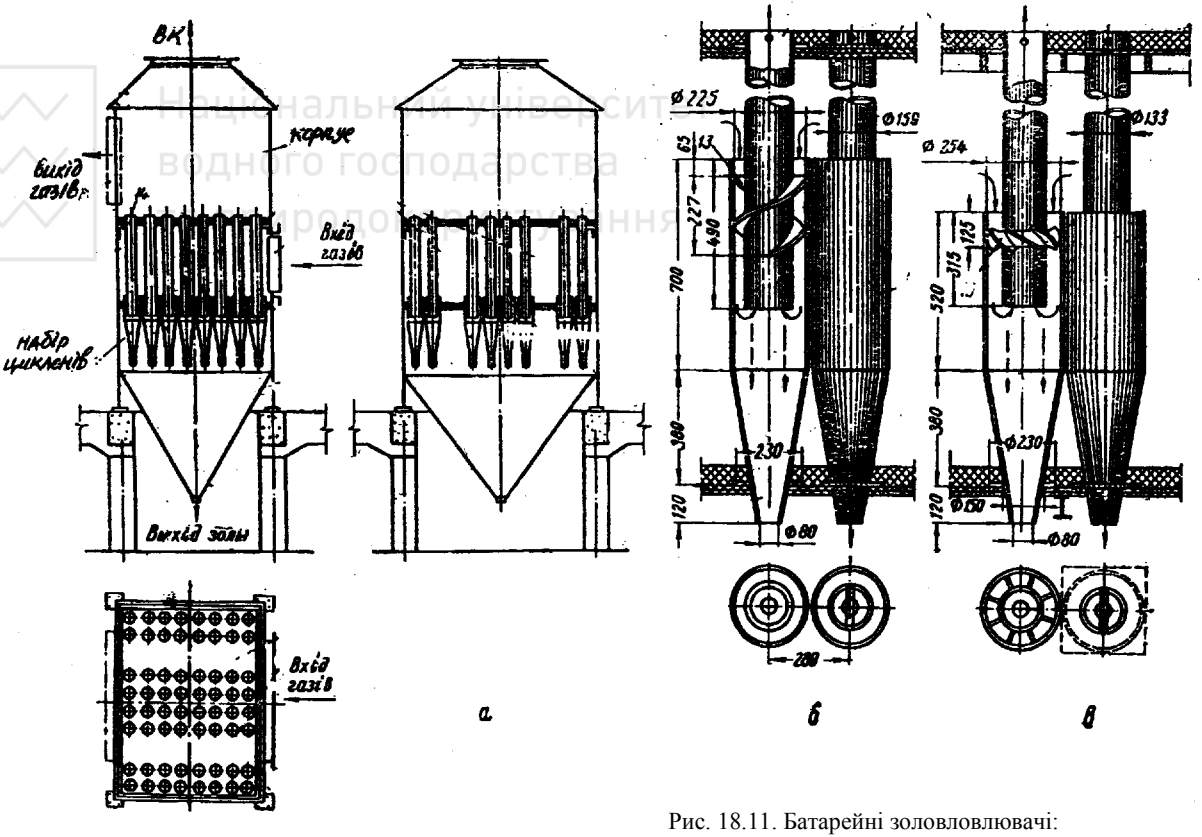


Рис. 18.11. Батарейні золовловлювачі:
А – загальний вид; б і в – сепарируючі елементи

Національний університет
водного господарства
та природокористування

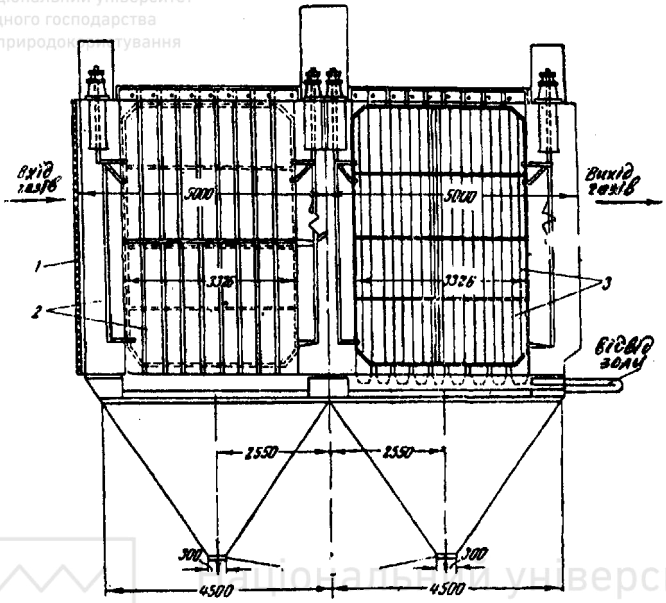


Рис. 18.12. Схема електрофільтра
1 – розподіляюча решітка; 2 – осаджаючі електроди;
3 – коронуючі електроди; 4 - механізм відводу золи

Розрахунок висоти димової труби:

1) з умов розсіювання димових газів

$$H = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot m \cdot n}{ГДК}} \cdot \sqrt[3]{\frac{z}{V_Г \cdot \Delta t}}, \text{ м},$$

де z – кількість $Д_Т$; n – кількість стволів;

M – концентрація золи;

A – коефіцієнт допустимого забруднення ($A = 160$);

Δt – температурний перепад;

$V_Г$ – витрата газу; $m = 0{,}8 \div 1$ – умови виходу газу.

2) з умов напору

$$H = \frac{1{,}2\Delta h_K + \Delta h_M + \Delta h_{ТР}}{(\rho_П - \rho_Г) \cdot g}, \text{ м},$$

де Δh_K – опір газоходів котла;

Δh_M – опір місцевий;

Δh_{TP} – опір димової труби.

18.4. Тягодутьєва система

Опір повітряного тракту: $\Delta P_Ф, \Delta P_T, \Delta P_B, \Delta P_{B/П}, \Delta P_П, \Delta P_{ШБМ}$, місцевий опір: вхід-вихід, звуження, розширення, повороти. Опір газового тракту складається: $\Delta P_K, \Delta P_{B/П}, \Delta P_T, \Delta P_{ЗУ}, \Delta P_{ЕФ}, \Delta P_{ДТ}, \Delta P_{ДС}$, а також місцевий опір: повороти, вхід-вихід, звуження, розширення.

Вентилятор, димосмок обираються по двом параметрам:

- напір H $[Па]$;
- продуктивність $[м^3/с]$:

Продуктивність вентилятора

$$V_B = K \cdot B \cdot V^0 \cdot \alpha \frac{t_П + 273}{273}, \; м^3/с.$$

Продуктивність димосмоку

$$V_{Д_С} = K \cdot B \cdot \left[V_Г^0 + (\alpha_{відх} - 1) \cdot V^0 \right] \cdot \frac{t_{відх} + 273}{273}, \; м^3/с.$$

K – коефіцієнт запасу $K = 1{,}1 \div 1{,}2$.

Напір $H = (\Delta P_{по\ довжині} + \Delta P_{місцевий}) \cdot K, \; Па$.

K – коефіцієнт запасу $K = 1{,}2 \div 1{,}3$, тяга труби зменшує H.

Втрата напору на тертя по довжині трубопроводів (газоходів)

$\Delta P_T = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho W^2}{2}$ $[Па]$: для прямокутних коробів $d_e = \frac{2ab}{a+b}$.

Місцеві втрати напору $\Delta P_M = \xi \cdot \frac{\rho W^2}{2}$ $[Па]$,

де λ – коефіцієнт тертя, $\lambda = 0{,}02 \div 0{,}04$ (з норм проектування);

ξ – коефіцієнт зниження, $\xi = 0{,}06 \div 1$ (з норм проектування).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

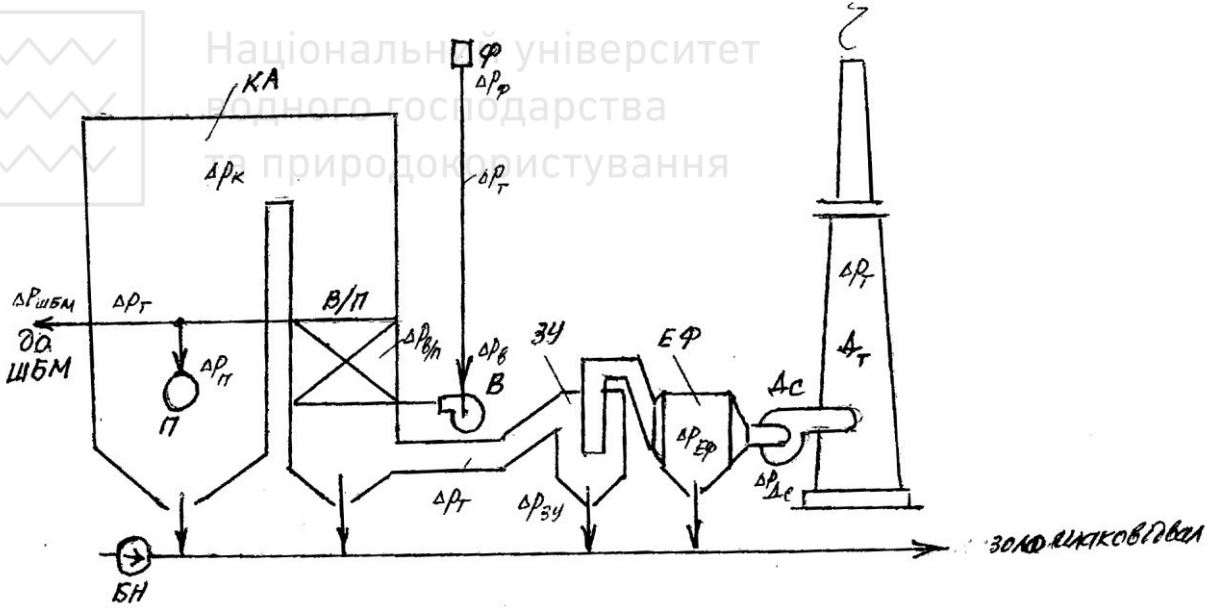


Рис.18.6. Тягодутьєва система котлоагрегату

КА – котлоагрегат; *П* – пальник; *в/п* – повітропідігрівник; *В* – вентилятор; *Ф* – фільтр; *ЗУ* – золовловлювач; *ЕФ* – електрофільтр; $Д_С$ – димосмок; $Д_Т$ – димова труба; *БН* - багерний насос

Національний університет
та природокористування

3. Методичні рекомендації до практичних занять

	Теми	годин	
		денна	заочна
1.	Види теплогенеруючих установок (ТГУ)	2	
2.	Порядок проектування	2	
3.	Питання спорудження об'єктів ТЕ	2	
4.	Компоновка котелень, ТЕЦ	2	
5.	Вибір систем ТГУ	2	2
6.	Схеми теплопостачання	2	
7.	Проектування котелень	2	2
8.	Теплові схеми котелень	2	2
9.	Розрахунок теплової схеми котельні	2	
10.	Проектування ТЕЦ	2	2
11.	Розрахунок ТС ТЕЦ	2	
12.	Енергобаланс ТЕЦ, ТЕП	2	
13.	Основне обладнання	2	2
14.	Система водопостачання	2	
15.	Теплообмінні апарати – ТА	2	
16.	Система паливопостачання	2	
17.	Газомазутопостачання	2	
18.	Золошлаковідвід	2	
	Усього	36	10

Змістовий модуль 1. ТГУ, вибір

Практичне заняття 1. Схеми ТГУ (Тема 1)

1. Скласти технологічну схему котельні, визначити необхідне обладнання, обґрунтувати необхідність кожного елемента схеми.
2. Скласти технологічну схему ТЕЦ, підібрати і обґрунтувати необхідне обладнання.

Література [7, 17, 18, 19].

Практичне заняття 2. Порядок проектування (Тема 2)

1. Скласти ТЕО для побудови котельні, ТЕЦ.
2. Скласти розділи технічного проекту. Обґрунтувати вибір майданчика для будівництва котельні, ТЕЦ.
   Основне, допоміжне обладнання, системи котельні, ТЕЦ. Вибір палива.
3. Робочий проект, етапи будівництва.

Національний університет
Література [1, 17, 18, 25, 40].

Практичне заняття 3. Питання спорудження котельні (Тема 3)

1. Елементи споруд. Накреслити корпус котельні, ТЕЦ.
2. Вимоги до обладнання.
3. Спорудження головного корпусу, накреслити.
4. Накреслити комунікації.

Література [11, 17, 30, 42].

Практичне заняття 4. Компоновка котельні, ТЕЦ (Тема 4)

1. Накреслити головний корпус. Обґрунтувати обрану компоновку.
2. Скласти план обраного об'єкту ТЕ.
3. Скласти поперечний розріз.
4. Скласти поздовжній розріз.
5. Представити генплан котельні, ТЕЦ.

Література [7, 9, 12, 17, 18, 19, 21, 23, 24, 25, 42].

Практичне заняття 5. Вибір систем ТГУ (Тема 5)

1. Кошторис котельні, ТЕЦ.
2. Вибір централізованого і децентралізованого теплопостачання.
3. Представити параметри для вибору системи ТГУ.
4. Розрахунок теплового навантаження.

Література [2, 5, 9, 12, 17, 18, 19, 25, 32, 34, 41].

Практичне заняття 6. Схеми теплопостачання (Тема 6)

1. Обґрунтувати необхідність встановлення парової або водяної системи теплопостачання. Надати схему.
2. Обґрунтувати встановлення закритої або відкритої системи теплопостачання. Накреслити схему.
3. Обґрунтувати і накреслити одно- і двотрубні СТ.

Література [25, 31, 32, 42].

Змістовий модуль 2. Теплові схеми, розрахунок

Практичне заняття 7. Проектування котелень (Тема 7)

1. Обрати тип котельні.
2. Вибір параметрів, обладнання.
3. Представити схему теплопостачання мікрорайону по заданих параметрах.

Література [9, 18, 19, 21, 25, 28, 31, 32, 42].

Практичне заняття 8. Теплові схеми котелень (Тема 8)

1. Накреслити ТС парової котельні.
2. Накреслити ТС водогрійної котельні.
3. Накреслити ТС змішаної котельні

Література [7, 9, 18, 19, 21, 25, 28, 42].

Національний університет

Практичне заняття 9. Розрахунок ТС котельні (Тема 9)
1. Визначення параметрів змішаної ТС.
2. Обрати ПК і ВК, характеристика.
3. Розрахувати $Q_{МВ_т}$, $Д\ ^{кг}/_{год}$ $^{г}/_{с}$, $M_{СВ}$ для обраної ТС.
4. Розрахувати ПСВ, РОУ (РК), Р(с), МП, ОПВ, КБ, Д, ОВ.

Література [7, 9, 18, 19, 21, 25, 28, 42].

Практичне заняття 10. Проектування ТЕЦ (Тема 10)
1. Вибір ТЕЦ, турбогенераторів.
2. Побудувати ТС ТЕЦ, обрати обладнання.
3. Обрати параметри відборів на регенерацію, теплофікаційного і технологічного відборів, деаератор, ежектор.

Література [4, 7, 9, 17, 18, 19, 21, 23, 24, 42].

Практичне заняття 11. Розрахунок ТС ТЕЦ (Тема 11)
1. Побудувати процеси в $i-s$ діаграмі.
2. Визначити необхідність вторинного перегріву пари.
3. Розрахунок потоків пари, води, конденсату.
   Розрахувати: Р(с), ПСВ, ОДВ, РП, Д, МП.

Література [4, 7, 9, 17, 18, 19, 21, 23, 24, 42].

Практичне заняття 12. Енергобаланс ТЕЦ, ТЕП (Тема 12)
1. Визначити потужності ТЕЦ.
2. Визначити ККД ТЕЦ.
3. Визначити ТЕП котельні, ТЕЦ.

Література [6, 18, 19, 21, 23, 24, 27, 34, 36, 41].

Змістовий модуль 3. Основне і допоміжне обладнання

Практичне заняття 13. Вибір ПК, ВК (Тема 13)
1. Представити номенклатуру котлів, характеристику.
2. Розрахувати витрату палива, тепловий баланс ПК, ВК.

Література [2, 7, 9, 12, 18, 19, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 31, 33, 38,39].

Практичне заняття 14. Система водопостачання (Тема 14)
1. Види водопостачання, технічне водопостачання.
2. Види робочого тіла котельні, ТЕЦ, характеристика, вимоги.
   Норми ЖВ, СВ, ПП. Потреба СВ.
3. Методи хімобробки сирої води. Розрахунок..
4. Накреслити схему продувки котла.
5. Види деаераторів.

Література [4, 9, 13, 17, 18, 19, 21, 25, 40].

Практичне заняття 15.Розрахунок ТА (Тема 15)
1. Назвіть типи ТА, які використовуються у котельнях, ТЕЦ.

Національний університет водного господарства та природокористування

2. Розрахунок поверхневих ТА (тепловий, гідравлічний, на міцність).
3. Насоси, трубопроводи.

Література [2, 9, 18, 19, 21, 25, 27, 40, 43, 44].

Практичне заняття 16. Система паливопостачання (Тема 16)

1. Накреслити принципову схему постачання твердого палива. Елементи системи паливопостачання, призначення.
2. Представити схеми паливоприготування.

Література [1, 2, 3, 6, 9, 12, 20, 21, 39, 40].

Практичне заняття 17. Системи газомазутопостачання (Тема 17)

1. Накреслити схему газопостачання, ГРП, підводу газу до котлів.
2. Накреслити схему мазутопостачання.
3. Розрахунок пальників.

Література [1, 2, 9, 12, 14, 15, 19, 20, 21].

Практичне заняття 18. Золошлаковідведення (Тема 18)

1. Розрахунок кількості золи і шлаку в котлах.
2. Накреслити схеми золошлаковідводу.
3. Накреслити схему золовловлення. Методи золовловлення.
4. Розрахувати тягодутьєву систему.
5. Розрахувати димову трубу.

Література [1, 3, 5, 12, 14, 17, 18, 19, 21, 25, 38, 39].

Національний університет водного господарства та природокористування

4. Контрольні питання

Змістовий модуль 1. ТГУ, вибір

Тема 1. Види теплогенеруючих установок (ТГУ)

1. Перспективи розвитку теплоенергетики України.
2. Паливо-енергетичний баланс України.
3. Нетрадиційні способи генерування теплової енергії.
4. Структура покриття теплового навантаження України.
5. Теплоносії ТГУ.
6. Види теплогенеруючих ТГУ та тепловикористовуючих (ТВУ) установок.
7. Використання первинних видів енергоресурсів (ПЕР).
8. Скласти технологічну схему котельні.
9. Основне і допоміжне обладнання котелень.
10. Скласти технологічну схему ТЕЦ.
11. Основне і допоміжне обладнання ТЕЦ.

Національний університет

Тема 2. Порядок проектування

1. Порядок проектування котелень, ТЕЦ.
2. Склад, об'єм та строки проектування.
3. Порядок узгодження та затвердження проектів.
4. Склад техніко-економічного обґрунтування проекту (ТЕО).
5. Ескізний проект.
6. Склад технічного проекту.
7. Склад робочого проекту.
8. Кошторис об'єктів ТГУ, проекту.
9. Кошторис основного обладнання.
10. Кошторис допоміжного обладнання.
11. Кошторис будівництва котелень, ТЕЦ, строки.
12. Кошторис палива, води, електроенергії, будматеріалів, норми.
13. Капітальні витрати.
14. Експлуатаційні витрати.

Тема 3. Питання спорудження об'єктів ТЕ

1. Уніфікація обладнання.
2. Блочно-модульна система об'єктів ТЕ, типорозміри.
3. Залізо-бетонні конструкції, фундамент, колони.
4. Каркас, міжетажні перекриття, ферми. Кріплення. Температурні компенсатори.
5. Які існують комунікації на території котелень, ТЕЦ.
6. Допоміжні споруди.
7. Будівельно-монтажна база, обладнання.
8. Санітарно-захисна зона.
9. Етапи будівництва, строки, графік.
10. Зміст головного періоду будівництва.
11. Зміст підготовчого і завершального етапу будівництва.

Тема 4. Компоновка котелень, ТЕЦ

1. Вибір майданчика під будівництво котельні, ТЕЦ.
2. Генплан котельні, розміщення обладнання.
3. Генплан ТЕЦ, розміщення обладнання.
4. Компоновка головного корпусу котельні.
5. Компоновка головного корпусу ТЕЦ.
6. План котельні.
7. План ТЕЦ.
8. Поперечний розріз котельні.
9. Поперечний розріз ТЕЦ.

10. Поздовжній розріз котельні.
11. Поздовжній розріз ТЕЦ.
12. Розміщення електричної частини ТЕЦ, склад.
13. Доставка палива.
14. Водні ресурси.
15. Електропостачання.
16. Дороги, транспорт, зв'язок.
17. Робоча сила, будівництво містечка.

Тема 5. Вибір систем ТГУ
1. Які умови вибору ТГУ, параметри вибору.
2. Графічний метод порівняння централізованого і децентралізованого теплопостачання.
3. Види централізованого і децентралізованого теплопостачання.
4. Коли обирається ЦК або ТЕЦ.
5. Комбіноване вироблення електричної і теплової енергії.
6. Густина теплового навантаження по Україні.
7. Густина електричного навантаження.
8. Переваги і недоліки централізованого та індивідуального теплопостачання.
9. Розрахунок теплового навантаження на опалення.
10. Розрахунок теплового навантаження на вентиляцію.
11. Розрахунок теплового навантаження на гаряче водопостачання.
12. Розрахунок технологічного теплового навантаження.

Тема 6. Схеми теплопостачання
1. Класифікація систем теплопостачання.
2. Відкрита схема теплопостачання – СТ.
3. Закрита схема теплопостачання.
4. Коли обираються одно-, дво- і багатотрубні СТ.
5. Парова СТ.
6. Водяна СТ.
7. Режими споживання ТЕ, графіки споживання.
8. Графік регулювання СТ.
9. Параметри робочих тіл СТ.

Змістовий модуль 2. Теплові схеми, розрахунок

Тема 7. Проектування котелень

1. Класифікація котелень.
2. Принципова теплова схема (ТС) парової котельні.
3. Обладнання ТС. Параметри.
4. Принципова ТС котельні з великою витратою МВ.
5. Яка різниця між принциповою, розгорнутою і робочою ТС.
6. Промислові котельні.
7. Опалювальні котельні.
8. Змішані котельні.
9. Власні потреби тепла у котельні.

Тема 8. Теплові схеми котелень
1. Принципова ТС водогрійної котельні, обладнання. Параметри робочого тіла.
2. Принципова ТС змішаної котельні.
3. Обладнання змішаної котельні. Параметри.
4. Схеми підключення водогрійних котлів (ВК).
5. Позначення на схемі обладнання змішаної котельні.
6. Вимоги до складання ТС.
7. Способи утилізації вторинного тепла.

Тема 9. Розрахунок теплової схеми котельні
1. Скласти матеріальний баланс котельні по витраті пари в $m/год$ ($кг/с$).
2. Скласти енергобаланс котельні в МВт.
3. Назвіть втрати тепла в котельні, величини.
4. Скласти баланс витрати сирої води у котельні ($M_{СВ}$).
5. Принцип складання теплового і матеріального балансів обладнання ТС, ККД ТА.
6. Визначити потужність котла, котельні.

Тема 10. Проектування ТЕЦ
1. ТЕЦ з протитисковими турбінами, обладнання. Принципова ТС. Параметри.
2. ТЕЦ з теплофікаційними турбінами, обладнання. Принципова ТС. Параметри.
3. Типи турбогенераторів для ТЕЦ, характеристика.
4. Вимоги до складання ТС ТЕЦ.

Національний університет

5. Утилізація вторинного тепла на ТЕЦ.
6. Вибір регенеративних підігрівачів РП низького і високого тиску.
7. Вибір вторинного перегріву.

Тема 11. Розрахунок ТС ТЕЦ

1. Порядок побудови процесів розширення пари в турбіні в *h-s* діаграмі.
2. Вибір параметрів обладнання ТС (РП, Д, МП, К, ПК).
3. Для чого використовуються РП, вибір кількості РП,
4. Скласти баланс ТЕЦ по пару (в $^{кг}/_{с}$).
5. Скласти енергобаланс котельні в МВт для ТЕЦ.
6. Скласти баланс витрати сирої води ($M_{СВ}$, $^{кг}/_{с}$).
7. Принцип розрахунку ТА ТЕЦ.
8. Розрахунок Д.
9. Розрахунок РП низького тиску.
10. Розрахунок РП високого тиску.

Національний університет водного господарства та природокористування

Тема 12. Енергобаланс ТЕЦ, ТЕП

1. Енергобаланс ТЕЦ.
2. Потужності ТЕП.
3. ККД ТЕЦ.
4. Техніко-економічні показники (ТЕП) котельні.
5. Коефіцієнт використання тепла ТЕЦ.
6. Питома витрата палива (умовного).
7. ККД котла брутто і нетто з прямого і зворотного балансів.
8. Визначення ентальпій пари, води, конденсату в обладнанні ТЕЦ, котелень.
9. Визначення тепла, регенерації, теплофікації, технологічного відбору, тепла на електроенергію.
10. Коефіцієнти недовироблення електроенергії на технологічному і тепловому споживанні.

Змістовий модуль 3. Основне і допоміжне обладнання

Тема 13. Основне обладнання

1. Класифікація котлоагрегатів – КА.

2. Номенклатура котлів, позначення.
3. Вибір котлів для ТЕЦ, котелень.
4. Характеристика котлів.
5. Парові і водогрійні котли, параметри.
6. Котли для спалювання газу, мазуту, вугілля.
7. Жаротрубні котли.
8. Котли з циклонним предтопком.
9. Котли з кип'ячим шаром.
10. Методи інтенсифікації процесу згоряння (завіхрення факелу, тангенціальне розташування пальників, рециркуляція продуктів згоряння, наддув, пережим топки, падаючий факел, камери догоряння).
11. Котли малої, середньої, великої продуктивності.
12. Котли з шаровими і камерними топками.

Тема 14. Система водопостачання

1. Робоче тіло котелень, ТЕЦ. Позначення пари, води, конденсату: ПП, ВП, СНП, СВ, ТВ, ЦВ, ДВ, ПВ, ХОВ, ХВ, ЖВ, ПЖВ, МВ, АВ.
2. Технічні характеристики робочого тіла – РТ. Вимоги до складу води, пари, конденсату.
3. Види технічного водопостачання, схеми, насосні станції, градирні.
4. Водопідготовка, способи очищення води (фільтрація, коагуляція, випаровування, Na, Н-катіонування, аніонування, магнітна обробка, деаерація).
5. Розрахунок водопідготовки для котелень, ТЕЦ.
6. Типи деаераторів, пристрій.
7. Продувка котла – безперервна, періодична, схеми.
8. Насоси, призначення (ЖН, КН, МН, РН, НП, ЕН, БН, НСВ, ДН, ЦН). Вибір насосів.
9. Трубопроводи, призначення, маркування, пофарбування, ізоляція.
10. Арматура трубопроводів (витратоміри, прилади для вимірювання тиску, температури, запірна арматура).

Тема 15. Теплообмінні апарати – ТА

1. Класифікація ТА.
2. Конструкції ТА.

Національний університет
та природокористування

3. Тепловий розрахунок поверхневих ТА (конструкторський і повірковий), таких як ПСВ, ОПВ, МП, ОДВ, ОВ, $^{в}/_{е}$, $^{в}/_{п}$ та ін.
4. Тепловий розрахунок змішуючих ТА (Д, КБ, АБ, Е, РОУ).
5. Рівняння теплового балансу ТА.
6. Рівняння теплопередачі ТА.
7. Рівняння температурного напору ТА.
8. ККД ТА.
9. Режим руху теплоносіїв, швидкість руху.
10. Критеріальні рівняння для визначення коефіцієнтів тепловіддачі.
11. Рівняння теплопередачі.
12. Розрахунок ТА на міцність.
13. Рівняння для визначення товщини корпусу, кришки, трубної дошки, фланця.
14. Гідравлічний розрахунок ТА.
15. Формула Дарсі.

Національний університет
біоресурсів і природокористування України

Тема 16. Система паливопостачання

1. Способи спалювання твердого палива.
2. Схеми паливоподачі на ТЕЦ, у котельні.
3. Зберігання палива, запаси палива.
4. Обладнання системи паливопостачання: вагонорозвантажувальні пристрої (перевертачі, самоскидачі), вага, фільтри, конвейєри, дробарки, естакади, вузли пересипки, бункери і таке інше.
5. Системи пилоприготовлення: з ШБМ, з шахтними млинами, з молотковими млинами та інші.
6. Обладнання системи пилоприготовлення з ШБМ: шаровий барабанний млин (ШБМ), сепаратор, циклон, дозатори, бункери сирого вугілля, пилу (БСВ, БП), млинний вентилятор.
7. Як здійснюється сушіння палива?
8. Техніка безпеки при експлуатації котлів на твердому паливі.
9. Особливості спалювання твердого палива у шаровій топці. Паливоподача. Паливоприготовлення.

Тема 17. Газомазутопостачання

1. Схема газопостачання.

2. ГРП, ГРУ, контрольно-вимірювальні прилади, запірна арматура, температурні компенсатори, свічки, скидні трубопроводи, маркірування трубопроводів, їх розташування.
3. Підвід газу до котлів.
4. Схема мазутопостачання. Обладнання: насоси, фільтри, мазутосховище, пристрої для підігріву мазуту і таке інше.
5. Підвід мазуту до котлів.
6. Пальники. Пальники для спалювання газу, мазуту, пилу, вугілля. Способи сумішеутворення. Вплив пальника, форсунки на якість згоряння палива, на розміри топки, на довжину факелу, на його пірометричні та емісійні властивості.
7. Розрахунок пальників, форсунок, пальників з центральною і периферійною подачею газу, ежекційних пальників.
8. Техніка безпеки при експлуатації газових і мазутних котлів.

Тема 18. Золошлаковідвід

1. Способи відводу золи, шлаку.
2. Механічне золошлаковідведення, схема.
3. Повітряне золошлаковідведення, схема.
4. Гідравлічне золошлаковідведення, схема.
5. Утилізація тепла шлаку.
6. Сухе і рідке шлаковідведення, схеми.
7. Питання екології, охорони довкілля.
8. Використання золи і шлаку.
9. Способи золовловлення (циклони, скруббери, електрофільтри), схеми.
10. Тягодутьєве обладнання, схема.
11. Димова труба, призначення. Розрахунок і вибір висоти димової труби з умов тяги і розсіювання димових газів.
12. Способи очищення поверхонь нагріву котла (обдувка, дробоочищення), схеми.
13. Утилізація тепла відхідних газів.
14. Способи очищення димових газів від CO, CO_2, NO_x, SO_x.

5. Контрольні вправи

Змістовий модуль 1. ТГУ, вибір

Тема 1. Види теплогенеруючих установок (ТГУ)

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Таблиця 1

Варіант / Показник	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кількість ПК	1	2	3	4	5	4	3	2	1	5
Кількість ВК	3	4	5	2	1	1	2	3	4	5
Варіант / Показник	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип ТГУ	ЦК	ТЕЦ	ЦК	ТЕЦ	ЦК	ТЕЦ	ЦК	ТЕЦ	ЦК	ТЕЦ

Скласти технологічну схему ТГУ. Паливо – вугілля.

Тема 2. Порядок проектування

Таблиця 2

Варіант / Показник	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Скласти	ТЕО	ТП	ТП	ТЕО	ТП	ТП	ТЕО	ТЕО	ТП	ТЕО

Скласти об’єм, розділи ТЕО, ТП.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Тема 3. Питання спорудження об’єктів ТЕ

Таблиця 3

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Завдання	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1

Скласти і обґрунтувати:
1. Строки будівництва.
2. Допоміжні споруди.
3. Комунікації.
4. Основні споруди.
5. Необхідні конструкції.

Тема 4. Компоновка котелень, ТЕЦ

Таблиця 4

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Завдання	1	2	3	4	5	6	3	4	5	6

Зробити компоновку:
1. Майданчика.
2. Генплан.

Національний університет водного господарства та природокористування

3. Головного корпусу.
4. План.
5. Поперечний розріз.
6. Поздовжній розріз.

Тема 5. Вибір систем ТГУ

1. Яка потужність ТГУ потрібна для теплопостачання України?
2. Яка потужність потрібна для електропостачання України?
3. Які нетрадиційні ПЕР можливо використати для енергопостачання України, яка їх можлива потужність?
4. Які комбіновані види ТГУ можливо використати для енергопостачання, їх можливі ККД, потужності?
5. Назвати параметри, їх значення, при яких потрібно встановлювати ТЕЦ, ЦК або ІК.
6. Розрахувати теплове навантаження ТГУ.

Таблиця 5

Варіант / Показник	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Площа житла, $F \cdot 10^{-3}$, $м^2$	100	200	300	400	250	150	350	50	80	90
Об'єм будівель, $V \cdot 10^{-3}$, $м^3$	60	80	100	200	90	150	300	400	180	250
Чисельність населення, $N \cdot 10^{-6}$, *чол.*	0,5	0,6	0,8	1	0,2	0,3	0,4	0,15	0,08	0,09
Технологічне навантаження, Q_T, *мВт*	20	5	10	15	30	40	8	1,5	25	9

Визначити витрату пари на виробництво при $P = 14\,бар$, $t_H = 195^\circ C$, $t_K = 50^\circ C$.

Тема 6. Схеми теплопостачання

Скласти схему теплопостачання і схему під'єднання елеватора – Е, бойлера – Б(ТА), калорифера у системі опалення (ОП), гарячого водопостачання (ГВ), вентиляції (В).

Національний університет водного господарства та природокористування

Таблиця 6

Варіант / Показник	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Робоче тіло – РТ	пара	вода	пара	вода	пара	вода	пара	вода	пара	вода
Кількість труб	1	2	3	4	2	3	2	4	2	3
Варіант / Показник	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Спосіб подачі РТ	відк.	закр.	відк.	закр.	відк.	закр.	відк.	закр.	відк.	закр.
Споживач	ОП	НВ	ОП	В	ГВ	ОП	В	ГВ	ОП	ГВ

Змістовий модуль 2. Теплові схеми, розрахунок

Тема 7. Проектування котелень

Надати схему можливого підключення обладнання котелень, його призначення.

Таблиця 7

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Обладнання	ПК ВК	Р(с)	ОПВ	ПСВ	Д атм	ОВ	Д вак	Д тиск	Д ПВ	МП пік
Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Обладнання	ОДВ	РК РОУ	КВ	МП осн	безп. прод	період. прод	насоси ЕН РН	насоси КН МН	АБ	ОК

Тема 8. Теплові схеми котелень

Зобразити ТС котельні, вказати параметри РТ.

Таблиця 8

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кількість ПК	2	3	0	4	2	0	3	2	4	0
Кількість ВК	0	2	3	0	4	2	0	6	2	3
Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кількість ПК	1	1	2	3	2	4	4	3	3	4
Кількість ВК	1	2	1	3	2	1	3	1	2	2

Тема 9. Розрахунок теплової схеми котельні

Скласти тепловий, матеріальний баланси, баланс сирої води для котельні і для обладнання ТС по варіанту.

Національний університет водного господарства та природокористування

Таблиця 9

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Потужність, *мВт*	5	10	20	15	25	30	35	40	45	50
Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Обладнання	ПСВ	Р(с)	ОПВ	МП	$Д_{ЖВ}$	ОВ	КБ	РОУ	ОДВ	$Д_{ПВ}$

Тема 10. Проектування ТЕЦ
Скласти ТС ТЕЦ.

Таблиця 10

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кількість РП	3	5	2	4	7	6	3	4	5	7
Тип РП	ЗМ	пов.	ЗМ	пов.	ЗМ	пов.	ЗМ	пов.	ЗМ	пов.
Тип турбіни	Т	ПТ	Р	Т	ПТ	ПТ	Р	Т	ПТ	ПТ
Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Потужність, *мВт*	25	50	75	100	150	200	250	25	75	50

Тема 11. Розрахунок ТС ТЕЦ
Розрахувати ТС ТЕЦ (табл.10). Параметри з табл. 11.

Таблиця 11

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_1, бар$	14	40	20	40	50	40	20	40	50	40
$t_1, ^\circ C$	350	300	400	350	400	400	450	450	510	500
$P_2, бар$	0,1	0,05	0,5	0,02	0,05	0,02	0,1	0,02	0,05	0,1

Побудувати $i-s$ діаграму процесів.

Тема 12. Енергобаланс ТЕЦ, ТЕП
Визначити ТЕП:

- для ТЕЦ – η_t, $b_{y_{ЕЕ}}$, $b_{y_{ТЕ}}$, B_y, $Q_{ЕЕ}$, K (ТЕЦ з табл. 10, 11);
- для котельні – B_y, b_y (котельня з табл. 8, 9).

Прийняти $\eta_K = 0{,}9$, $Q_{ТЕ}$, *мВт*, по варіанту табл. 12.

Таблиця 12

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип ТГУ	кот.	ТЕЦ	кот.	ТЕЦ	кот.	ТЕЦ	кот.	ТЕЦ	кот.	ТЕЦ
Технологічне навантаження, Q_T, *мВт*	5	10	15	25	10	15	25	5	20	10

Національний університет
та природокористування

Змістовий модуль 3. Основне і допоміжне обладнання

Тема 13. Основне обладнання

Для котельні, обраної з табл. 8, 9, або для ТЕЦ, обраної з табл. 10,11, вибрати типи ПК, ВК, їх потужності, продуктивність, надати технічну і конструктивну характеристику обраних котлів.

Тема 14. Система водопостачання

Для обраної котельні або ТЕЦ (тема 13) запроектувати схему водопідготовки, назвати методи обробки сирої води, конденсату. Розрахувати кількість фільтрів по витраті сирої води з попередніх розрахунків.

Тема 15. Теплообмінні апарати – ТА

Для обраної котельні, ТЕЦ по варіанту (див. тему 13) зробити конструкторський розрахунок мережевих підігрівників (основного і пікового). Обрати схему МП та їх конструктивну характеристику.

Тема 16. Система паливопостачання

Для обраної котельні або ТЕЦ (тема 13) і обраних котлів надати схеми паливоподачі, паливоприготовлення (або пилоприготовлення). Визначити витрату палива і запас палива на ТЕЦ і котельні, його об'єм і способи зберігання.

Тема 17. Газомазутопостачання

Для обраної котельні або ТЕЦ (тема 13) прийняти газ за основне паливо, мазут як запасне. Розробити схеми газомазутопостачання. Розрахувати витрати газу і мазуту. Передбачити запас мазуту та його зберігання. Розрахувати пальники – обрати конструкцію пальників ГМ, розрахувати витрату газу, повітря, кількість пальників, їх розташування у котлах. Розрахувати витрату пари на мазутне господарство, на форсунки.

Тема 18. Золошлаковідвід

Для обраної котельні або ТЕЦ (тема 13, 16) обрати схему золошлаковідведення і необхідне обладнання.

Обрати нормативну висоту димової труби і підтвердити її розрахунками. Обрати тягодутьєві пристрої, способи очищення поверхонь нагріву котлів.

Національний університет
та природокористування

6. Контрольні тести

Змістовий модуль 1. ТГУ, вибір

Тема 1. Види теплогенеруючих установок (ТГУ)

1. Які корисні види енергії найбільш поширені, процент їх використання?
2. Які найбільші запаси ПЕР?
3. Які види ПЕР найбільше використовуються сьогодні?
4. Процент використання хімічної енергії палива в комунальному господарстві, в енергетиці, в промисловості?
5. Назвіть поновлювані види ПЕР.
6. Які запаси ПЕР обмежені?
7. Які ПЕР використовуються для вироблення теплової енергії?
8. Які ПЕР використовуються для вироблення електроенергії?
9. Чому обмежується використання сонячної енергії?
10. Назвіть нетрадиційні джерела енергії.
11. Які перетворення енергії здійснюються у котельнях?
12. Які перетворення енергії здійснюються на ТЕЦ?
13. Які робочі тіла використовуються у ТГУ?

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Тема 2. Порядок проектування

1. Яка послідовність проектування?
2. Який проект складається для будівельників? (ЕП, ТП, РП, ТЕО)
3. Де обертається майданчик під будівництво ТГУ? (ТЕО, ТП, РП, ескізний проект)
4. Які строки для складання ТЕО, ТП, РП, ЕП?
5. Коли складається кошторис? (ТЕО, ТП, РП, ескізний проект)
6. Які існують норми проектування?

Тема 3. Питання спорудження об’єктів ТЕ

1. Які строки будівництва котелень, ТЕЦ?
2. Де знаходиться санітарно-захисна зона?
3. Що можна розміщувати у санітарно-захисній зоні?
4. Місце будівництва ТЕЦ, котельні?
5. Яке кріплення ферм до каркасу?
6. Яке кріплення перекриття до колон?
7. Яке кріплення стінних плит до каркасу?
8. Де встановлюються температурні компенсатори?
9. Під яке обладнання будується окремий фундамент?

10. Де встановлюється перекриття:
    - котельний зал;
    - машинний зал;
    - бункеро-деаераторне відділення?
11. Які комунікації наземні і які підземні на території котельні, ТЕЦ?
12. Яка глибина промерзання ґрунту прийнятна:

$0{,}5 \div 1$ м; $2 \div 3$ м; $4 \div 5$ м?

Тема 4. Компоновка котелень, ТЕЦ

1. Яка відстань між корпусами? (3, 5, 10, 20 м)
2. Як розміщуються котли?
3. Яка відстань між ТЕЦ і житловим масивом?
4. Де будуються котельні?
5. Яке обладнання знаходиться на відмітці 0.0 ?
6. Яке розміщення насосів?
7. Де знаходяться площадки обслуговування?
8. Де розміщується система теплоприготовлення, БСВ?
9. З якої сторони повинно бути водосховище?
10. Розташування “рози вітрів”?
11. Чи може котельня примикати до будівель?
12. Чи можуть котли розміщуватись поза корпусом або примикати до корпусу котельні?
13. Де, на якій відстані розміщуються паливомазутосховища?

Тема 5. Вибір систем ТГУ

1. При якому тепловому навантаженні обертається індивідуальне теплопостачання? (20, 60, 80, 100 мВт)
2. Номінальний радіус транспортування ТЕ. (2, 7, 10, 20 км)
3. Коефіцієнт використання тепла на ТЕЦ. (0,3; 0,6; 0,8; 0,9)
4. При якому співвідношенні технологічного і теплового навантаження обертається ТЕЦ? (0,3; 0,4; 0,5; 0,7)
5. При якому питомому тепловому навантаженні обертається ТЕЦ? (0,3; 0,4; 0,7; 0,8 $\frac{мВт}{га}$)
6. Яка норма витрати тепла на гаряче водопостачання, $\frac{B_T}{чол.}$?

Національний університет
водного господарства

7. Яка норма витрати тепла на вентиляцію, $\frac{B_T}{м^3 \cdot гр}$?
8. Яка норма витрати тепла на опалення, $\frac{B_T}{м^2}$, $\frac{B_T}{м^3}$?
9. Що краще транспортувати на дальню відстань: пару, гарячу воду?

Тема 6. Схеми теплопостачання

1. Яке джерело тепла у калорифері?
2. При елеваторі яка схема водопостачання?
3. Яка температура гарячого теплопостачання? (30, 40, 60, 90)
4. Звідки береться вода на гаряче водопостачання?
5. Яке обладнання необхідне у паровий СТ?
6. Який тиск у КБ?
7. При якій температурі зовнішнього повітря починається опалювальний сезон?
8. Які параметри (тиск і температура) у прямій і зворотній лінії СТ?

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Змістовий модуль 2. Теплові схеми, розрахунок

Тема 7. Проектування котелень

1. Яка потужність малих котелень? (10, 20, 40, 80 МВт)
2. Яка потужність середніх котелень? (20, 50, 80, 100 МВт)
3. Яка потужність великих котелень? (50. 70, 90, 110 МВт)
4. Який тиск у деаераторах?
5. За допомогою чого відсмоктуються гази з вакуумного деаератору?
6. Якого типу МП?
7. Якого типу Д?
8. Якого типу РОУ?
9. Якого типу ОВ?
10. Звідки береться і яка вода в РОУ?
11. Для чого РН?
12. Чим відрізняється безперервна і періодична продувка?
13. До якої температури нагрівається МВ у піковому і основному МП?
14. Який тиск у Р(с)?

Тема 8. Теплові схеми котелень

1. Яка $t_{:ЖВ}$ у котельні?
2. Який тиск пари для Д?
3. Де вторинне тепло у котельні?
4. Способи утилізації вторинного тепла.
5. Для чого ПСВ?
6. Для чого КБ, АБ?
7. Яка різниця між РОУ і РК?
8. Чому потрібно знижувати тиск, заоходжувати конденсат перед КБ?
9. Чому дорівнює ентальпія вологої пари при $x = 0{,}8$?
10. Яка ентальпія пари після ПК?
11. Яка ентальпія води після ВК?
12. Для чого потрібні $Д_{:ЖВ}$, $Д_{:ПВ}$?
13. Принцип роботи деаератору?
14. Скільки пари випаровується у $Д$, P ?

Тема 9. Розрахунок теплової схеми котельні

1. Які втрати у котельні (%)?
2. Які втрати з продувкою (%)?
3. Які втрати мережевої води (%)?
4. Які втрати у мазутному господарстві (%)?
5. Які витрати тепла на власні потреби у котельні?
6. На що витрачається пара у котельні? Чи можлива заміна на гарячу воду?
7. Принцип складання теплового балансу?
8. Як знижується тиск і температура у РОУ?
9. Коли спрацює вибуховий клапан, де вони встановлюються?

Тема 10. Проектування ТЕЦ

1. Який потрібен тиск пари для забезпечення теплофікації?
2. Допустимі значення ступеня сухості пари наприкінці процесу розширення у турбіні – x_2 ? (0,8; 0,9; 0,98; 1)
3. Вторинне тепло на ТЕЦ?
4. Способи утилізації вторинного тепла?
5. Як зміниться η_t при збільшенні P_2 у ТЕЦ?
6. Оптимальна кількість РП для ТЕЦ?

7. Характеристика турбін Р, Т, ПТ?
8. Для чого вторинний перегрів пари?
9. Недоліки турбіни з протитиском?
10. Недоліки турбіни з теплофікаційними відборами?

Тема 11. Розрахунок ТС ТЕЦ

1. Який недогрів в РП низького і високого тиску?
2. Який недогрів в МП?
3. Який недогрів в Д?
4. Який недогрів в Е?
5. Значення перепаду температур в РП?
6. Значення перепаду температур в Д?
7. Значення перепаду температур в Е?
8. Де потрібно встановлювати РОУ і РК?
9. Яка температура $t_{:ЖВ}$?
10. Який ККД РП?
11. Як визначити $t_{:Н}$ при тиску відбору?
12. Який тиск пари на Д?
13. Який тиск пари відбору на МП?
14. Значення η_{0i} для ЦВТ, ЦСТ, ЦНТ?
15. Потужність теплофікаційного відбору?
16. Тепло і потужність відбору на РП?
17. Потужність технологічного відбору?
18. Знайти h_{2g}, k_{2g}.

Тема 12. Енергобаланс ТЕЦ, ТЕП

1. Визначення B у котельні?
2. Значення $b_y \left({кг}/{МДж} \right)$ котелень?
3. Значення $\eta_{КА}^{бр}$ котелень і $\eta_{КА}^{нт}$?
4. Визначення B для ТЕЦ.
5. Значення $b_{y_{ЕЕ}}, b_{y_{ТЕ}} \left({кг}/{кВт^2}, {кг}/{МДж} \right)$?
6. Теплова потужність $Q_{ЕЕ}, МВт$?
7. Теплова потужність $Q_{ТЕ}, МВт$?
8. ККД ТЕЦ по виробленню ЕЕ, по виробленню ТЕ і коефіцієнт

Національний університет
використання тепла палива?
та природокористування

Змістовий модуль 3. Основне і допоміжне обладнання

Тема 13. Основне обладнання

1. При яких потужностях котлів на вугіллі потрібні камерні топки?
2. Як розраховувати розміри топки?
3. Теплове навантаження котлів на газу, вугіллі, мазуті?
4. Для якого палива (газ, мазут, вугілля) потрібна більша топка?
5. Прямий, зворотній баланс котла?
6. Де більше q_3 при спалюванні газу, мазуту, вугілля?
7. Де більше q_2 для КА – 20 $^{м}/_{год}$, 50 $^{м}/_{год}$, 100 $^{м}/_{год}$?
8. Значення q_4, q_6 при спалюванні газу, мазуту, вугілля?
9. Для чого "хвостові" поверхні нагріву КА?
10. Особливості конструкцій ВК, ПК.
11. Що відбудеться з КА, якщо $\nu_{відх} \approx t_{повітря}$?
12. Як тепло передається у топці і у "хвостовій" поверхні нагріву КА?
13. Які недоліки шарового способу спалювання палива?
14. Яка потужність у МВт 1 $^{м}/_{год}$ для ПК і ВК?

Тема 14. Система водопостачання

1. Які від'ємні наслідки забруднення пари, котлової води солями Ca, Mg?
2. Які від'ємні наслідки забруднення котлової води газами O_2, CO_2?
3. Як позбавляються від накипу, шлаку у котлах?
4. Яке водопостачання краще: пряме, оборотне?
5. Які насоси існують у котельнях, їх кількість?
6. Які насоси встановлюються на ТЕЦ, кількість?
7. Що таке критичний діаметр ізоляції?
8. Який повинен бути запас ХОВ у котельнях, ТЕЦ? (на 10 хв. роботи, на 40 хв., 12 годин, 3 доби)
9. Для чого насосні станції?

Тема 15. Теплообмінні апарати – ТА

1. Які ТА краще: поверхневі, змішуючи?
2. Які рівняння використовують при розрахунку поверхневих ТА?
3. Які ТА потребують більшу поверхню нагріву: прямотокові, протитокові?
4. До якої температури можна нагріти "холодний" теплоносій у прямо токовому і протитоковому ТА?
5. Для чого оребрюють поверхню нагріву і з якої сторони?
6. Які коефіцієнти тепловіддачі для газу і води (2000 $Вт/м^2 \cdot гр$, 50 $Вт/м^2 \cdot гр$)?
7. Які значення $Re_{води}$ при ламінарному, турбулентному і перехідному режиму русі?
8. Які значення $Re_{газу}$ при ламінарному, турбулентному і перехідному режиму руху?
9. Що змінюється при розташуванні ТА вертикально або горизонтально?
10. Який ККД ТА?
11. Запишіть температурний напір для ТА з теплоносіями:
    а) НП – вода (протитік);
    б) вода – вода (прямотік);
    в) газ – вода (протитік).

Тема 16. Система паливопостачання

1. Які існують способи спалювання вугілля?
2. Способи інтенсифікації процесу згоряння вугілля?
3. Які особливості спалювання торфу, бурого вугілля?
4. Які значення α_T для газу, мазуту, вугілля?
5. Який запас палива (газу, мазуту, вугілля) потрібно мати у котельні, ТЕЦ?
6. Призначення циклону?
7. Призначення сепаратору?
8. Тонкість мливу вугілля у ШБМ?
9. Тонкість мливу у шахтних млинах?
10. Для чого робиться закрутка повітря?
11. Для чого здійснюється закрутка факелу?

Національний університет
та природокористування

12. Яка температура на виході з топки ϑ_m'' при спалюванні вугілля, газу, мазуту?

Тема 17. Газомазутопостачання

1. Який тиск у газопроводах низького, середнього і високого тиску?
2. Призначення пальників?
3. Типи пальників в залежності від палива?
4. Типи пальників в залежності від способу сумішоутворення?
5. Які контрольно-вимірювальні прилади у ГРП?
6. Які КВП у ГРУ?
7. Яка запірна арматура на газопроводі?
8. Яке згоряння краще: кінетичне чи дифузійне?
9. Скільки повітря потрібно для спалювання газу, вугілля, мазуту?
10. Коли відбувається "проскок", "відрив" факелу?
11. Для чого поділяється I і II повітря?
12. Як транспортується мазут?
13. Як зберігається мазут? Резерв мазуту?
14. Газопроводи прокладаються у землі чи у повітрі?

Національний університет
та природокористування

Тема 18. Золошлаковідвід

1. Як розрахувати кількість золи і шлаку при спалюванні вугілля?
2. Призначення $Д_Т$?
3. Для чого шлакова ванна?
4. Переваги і недоліки сухого і рідкого шлаковідведення.
5. Коли використовують дробарки для шлаку?
6. Призначення багерного насосу.
7. Призначення, принцип дії циклону.
8. Що таке батарейний циклон?
9. Призначення, принцип дії скубберу.
10. Принцип дії електрофільтру.
11. Принцип дії дробоочищення.
12. Принцип дії обдувши поверхонь нагріву.
13. Який процент уловлення золи димових газів?
14. Які шкідливі речовини димових газів?

Національний університет
та природокористування

7. Контрольні тестування

7.1. Поточний контроль

Поточний контроль знань студентів проводиться письмово по матеріалу кожної теми на практичних заняттях за контрольними картками. Контрольна картка містить контрольні питання, вправи і тести. Розподіл балів здійснюється у пропорції відповідно 0,4; 0,5; 0,1. Загальний бал по кожній темі наведено у табл. 7-1.

Міністерство освіти та науки України
Національний університет водного господарства та природокористування
Кафедра теплоенергетики та машинознавства

Дисципліна ПСОТЕ Тема _____

Контрольна картка _____

1. Контрольне питання _____
2. Контрольна вправа _____
3. Контрольний тест _____

Викладач _____ Зав. кафедри_____

Національний університет
водного господарства
та природокористування

7.2. Підсумковий контроль

До підсумкового контролю допускаються студенти, які за результатами поточного контролю набрали 35÷60 балів. Підсумковий контроль проводиться письмово на основі завдання на підсумковий контроль. Картки підсумкового контролю містять контрольні питання, вправи, тести з будь-якого змістового модулю і теми. Результат вважається позитивним, якщо студент набрав 25÷40 балів. Максимальна кількість балів згідно табл. 7-1 – 40 балів, які розподіляються між питаннями у пропорції: 0,4; 0,4; 0,2 (16; 16; 8).

Підсумкова оцінка виставляється на основі шкали узгодження національної системи з рекомендаціями ECTS (табл. 7-3).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти та науки України
Національний університет водного господарства та природокористування
Кафедра теплоенергетики та машинознавства

Дисципліна – ПСОТЕ
(проектування та спорудження об'єктів теплоенергетики)

Завдання на підсумковий контроль _____

1. Контрольне питання _____
2. Контрольна вправа _____
3. Контрольний тест _____

Викладач _____ Зав. кафедри _____

Національний університет
водного господарства
та природокористування

7.3. Розподіл балів

Таблиця 7-1

При поточному та підсумковому контролі

Поточний контроль																		Підсумковий модуль	Загальна сума
Змістовий модуль 1						Змістовий модуль 2						Змістовий модуль 3							
Т 1	Т 2	Т 3	Т 4	Т 5	Т 6	Т 7	Т 8	Т 9	Т 10	Т 11	Т 12	Т 13	Т 14	Т 15	Т 16	Т 17	Т 18		
3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	40	100
18						24						18							

Таблиця 7-2

При курсовому проектуванні

Етапи виконання						Пояснювальна записка	Ілюстративна частина	Захист КП	Сума
1	2	3	4	5	6				
5	5	10	10	10	10	10	10	30	100

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Таблиця 7-3

Шкала оцінювання в КМСОНП та ECTS

Сума балів за всі форми навчання	Оцінка в ECTS	Для іспиту, курсового проекту
90÷100	A	відмінно
82÷89	B	добре
74÷81	C	
64÷73	D	задовільно
60÷63	E	
35÷59	FX	незадовільно з повторним складанням
0÷34	F	незадовільно з повторним вивченням дисципліни

8. Індивідуальна робота – курсовий проект

Індивідуальна робота передбачена навчальним планом у вигляді КП, на виконання якого відводиться 24 години. КП виконується студентами денно і заочної форми навчання у останньому семестрі.

Мета КП – закріпити знання, набуті студентами при вивченні теоретичного курсу, одержати навики самостійного розв'язування практичних задач теплоенергетики з проектування ТГУ, складання і розрахунку технологічних і теплових схем, підбору основного і допоміжного обладнання котелень, ТЕЦ з врахування питань екології, охорони навколишнього середовища, набуття навиків у використанні технічної, довідкової літератури.

8.1. Тема КП і завдання

Тема КП – проектування промислово-опалювальних котелень, ТЕЦ для покриття теплового навантаження мікрорайону. Об'єм КП складає до 50 сторінок розрахунково-пояснювальної записки і двох листів (А-1) основного і допоміжного обладнання згідно індивідуального завдання.

Міністерство освіти та науки України
Національний університет водного господарства та природокористування
Кафедра теплоенергетики та машинознавства

ЗАВДАННЯ
для КП "Проектування промислово-опалювальної котельні"

Студент _____ Варіант _____
Факультет _____
Група _____

Загальна потужність котельні $Q =$ _____ МВт.
Теплове навантаження в % від Q: $Q_{ОП+В} =$ _____ МВт
$Q_{ГВ} =$ _____ МВт
$Q_{Т} =$ _____ МВт

Індивідуальне завдання (для листів): _____
_____

Завдання видане _____ Керівник_____

Термін виконання – 10 тижднів, розбитих на 6 етапів, у які проводиться поточний контроль згідно з табл. 7-2. У 6 етапі здаються РПЗ і листи (графічна частина) на перевірку. Підписаний проект керівником допускається до захисту на комісії. Захист оцінюється у 30 балів. Загальна оцінка виставляється на основі шкали узгодження [табл. 7-2, 7-3].

8.2. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- титульний лист;
- зміст;
- завдання;

Національний університет водного господарства та природокористування

- вступ;
- розрахунок теплового навантаження;
- складання теплової схеми, опис необхідного обладнання зі схемами. Розрахунок ТС;
- опис системи теплопостачання, схеми МП та їх розрахунок (конструкторський);
- опис основного обладнання – ПК, ВК, схеми, характеристика обраних котлів. Техніко-економічні показники котлів, котельні (витрата палива, ККД, питома витрата палива);
- схема пальників, їх розрахунок;
- опис обраного допоміжного обладнання, схеми обладнання (водопідготовка, паливоподача, паливоприготовлення згідно обраного способу спалювання, системи шлаковідведення, золовідведення, вибір згідно норм висоти димової труби або розрахунок, тягодутьєва система) відповідно до індивідуального завдання;
- компоновка обладнання котельні (план, поперечний і поздовжній розрізи);
- список літератури.

Національний університет водного господарства та природокористування

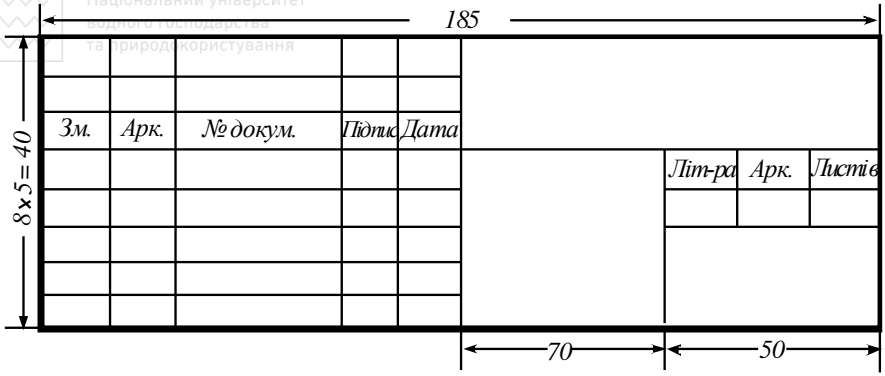
8.3. Оформлення розрахунково-пояснювальної записки і графічної частини

Записку слід писати акуратно від руки на одній стороні аркуша паперу формату А-4 у відповідності з вимогами ЕСКД. Всі розділи РПЗ викладаються стисло, аргументовано з поясненнями, з формулами, з підстановкою чисельних значень, без проміжних обчислень, з кінцевим результатом і розмірністю.

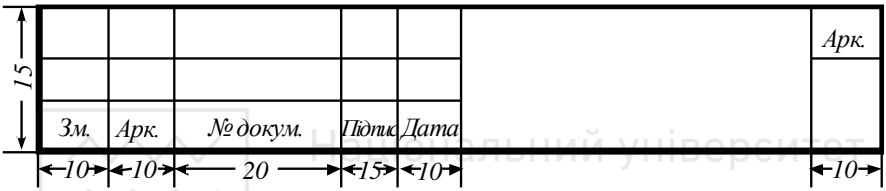
Розрахунки повинні бути з ілюстрацією схем, ескізами.

Перший аркуш повинен мати основний напис за зразком:

Національний університет водного господарства та природокористування



Всі наступні за зразком:



Титульний лист:

Міністерство освіти та науки України
Національний університет водного господарства та природокористування
Кафедра теплоенергетики та машинознавства

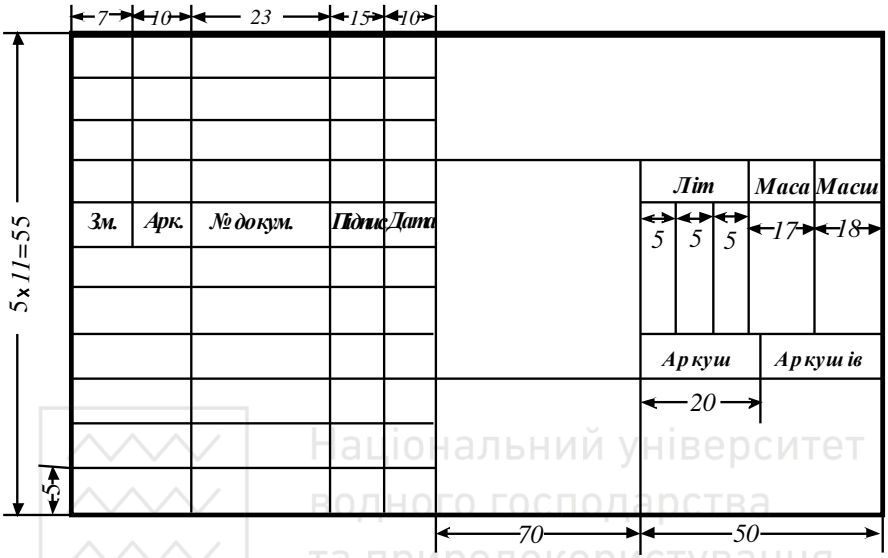
РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до курсового проекту з курсу
“Проектування та спорудження об’єктів теплоенергетики”
на тему
“Проектування промислово-опалювальної котельні”

Виконав студент групи ТЕ-51
_____
П.І.Б.
Керівник_____

Рівне – 2010

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Складається з двох аркушів формату А-1 зі штампом:



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Література

Довідники

1. Нормы технологического проектирования ТЭС. – М.: Минэнерго, 1981. – 121 с.
2. Теплотехнический справочник. Под ред. В.Н. Юренева. Т.1, Т.2. – М.: Энергия, 1975. – 1793 с.
3. Справочник по пыле и золоулавливанию. Под ред. А.А. Русанова. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
4. Шлахин П.Н. Краткий справочник по паротурбинным установкам. – М.: ГЭУ, 1970. – 190 с.
5. Методика определения экономической эффективности природоохранных мероприятий. – М.: Экономика, 1986. – 120 с.
6. Тепловой расчет КА (нормативный метод). Под. ред. Н.В. Кузнецова. – М.: Энергия, 1973. – 296 с.

Національний університет водного господарства та природокористування

7. Симоненко А.Н. Обоснование решения по составу оборудования ТЭЦ. – Красноярск, 1986. – 120 с.
8. Рывкин С.А. Теплофизические свойства воды и водяного пара. – М.: Энергия, 1984. – 210 с.
9. Либерман Н.Б. Справочник по проектированию КУ. – М.: Энергия, 1985. – 296 с.
10. Нормы аэродинамического расчёта КА. – М.: Энергия, 1964. – 210 с.
11. Справочник строителя ТЭС. – М.: Стройиздат, 1969. – 300 с.
12. Роддатис К.Ф. Справочник по КУ. – М.: Энергия, 1989. – 488 с.
13. Петерсон Д.Ф. Нормы расчёта циркуляции КА. – М., 1970. – 310 с.
14. Правила установки и безопасной эксплуатации КА. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 190 с.
15. Правила безпеки систем газопостачання України. – К., 1989. – 200 с.
16. Рекомендации по проектированию тепловых пунктов. – М.: Стройиздат, 1983. – 72 с.

Національний університет водного господарства та природокористування

Основна література

17. Купцов Н.П. Проектирование и строительство ТЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 408 с.
18. Соловьёв Ю.П. Проектирование КУ для промпредприятий. – М.: Энергия, 1968. – 250 с.
19. Соловьёв Ю.П. Вспомогательное оборудование ТЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 198 с.
20. Антонянц Г.Р. Топливно-транспортное хозяйство ТЭС. – М.: Энергия, 1977. – 231 с.
21. Соколов Е.Я. Промышленные ТЭС. – М.: Энергия, 1979. – 295 с.
22. Шишков И.А. Дымовые трубы ТЭС. – М.: Энергия, 1979. – 176 с.
23. Цыганок А.П. Проектирование ТЭС. – Красноярск, 1998. – 210 с.
24. Пискарёв А.А. Проектирование ТЭС. – Минск, 1978. – 310 с.
25. Алабовський А.Н. Проектування котелень. – К.: Вища школа, 1993. – 280 с.
26. Будников Е.Ф. Водогрейные котлы. – М.: Энергия, 1980. –

Національний університет водного господарства та природокористування

190 с.
27. Девочкин М.А. Технико-экономические основы проектирования ТЭС. – М.: МЭН. 1989. – 190 с.
28. Сидельский Л.Н. Парогенераторные установки промпредприятий. – М.: Энергия, 1977. – 310 с.
29. Горшков А.С. Технико-экономичсекие показатели ТЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 290 с.
30. Шубан Е.П. и др. Проектирование теплоподготовительных установок ТЭЦ, котельных. – М.: Энергия, 1989. – 510 с.
31. Цыганков А.С. Расчёт ТА. – М.: Энергия, 1990. – 190 с.
32. Иванов В.И. Расчёт на прочность элементов ТА. – М.: Энергия, 1996. – 243 с.

Додаткова література

33. Лебедев П.Д. Теплоэнергетические установки промпредприятий. – М.: Энергия, 1976. – 380 с.
34. Мелентьев Л.А. Основные вопросы промтеплоэнергетики. – М.: Госэнергоиздат, 1989. – 210 с.
35. Семёненко Н.А. КУ промпредприятий. – М.: Энергия, 1985. – 190 с.
36. Никольский Н.В. Монтаж КУ. – М.: Энергоиздат, 1991. – 284 с.
37. Будников Е.Ф. Производственные и отопительные котельные. – М.: Энергоиздат, 1989. – 248 с.
38. Козлов Б.К. Методика определения области применения централизованного и децентрализованного теплоснабжения. – М.: Энергоиздат, 1985. – 120 с.
39. Ицкович А.М. Котельные установки малой мощности. – М.: Энергоиздат, 1985. – 190 с.
40. Несенчук А.П. Курсовое проектирование КУ. – Минск, 1978. – 180 с.
41. Александров В.Г. Вопросы проектирований котлов. – М.: Госэнергоиздат, 1975. – 190 с.
42. Гусев Ю.А. Основы проектирования КУ. – М.: Стройиздат, 1973. – 248 с.
43. Яновский Е.А. КУ малой и средней мощности. – М.: Высшая школа, 1978. – 144 с.
44. Рихтер Л.А. Вспомогательное оборудование ТЭС. – М.: Энергоиздат, 1987. – 450 с.