

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ
САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

СУМИ – 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

*для здобувачів 1м курсу освітньо-професійної програми
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
денної та заочної форм здобуття вищої освіти
ступеня «Магістр»*

УДК 625.311:502.5
Е 61

Укладачі: **Сіренко Ю.В.,** PhD, доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем
Козін В.М., к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем
Сіренко В.Ф., к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем
Тимошенко Г.А., завідувач лабораторіями кафедри енергетики та електротехнічних систем

Е 61 ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ. Методичні вказівки щодо виконання самостійної роботи для здобувачів Ім курсу освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної та заочної форм здобуття вищої освіти ступеня «Магістр» / укл.: Ю.В. Сіренко, В.М. Козін, В.Ф. Сіренко, Г.А.Тимошенко - Суми, 2026. - 148 с.

Методичні вказівки щодо виконання самостійної роботи оформлюють 15 тем, починаючи від першої теми «Основні властивості палива і його використання в енергетиці» до заключної «Теплові насоси. Принцип роботи».

Рецензенти:

Чепіжний А.В. – к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ;

Саржанов Б.О. – PhD, доцент кафедри агроінжинірингу СНАУ.

Відповідальний за випуск:

Юрченко О.Ю. - PhD, доцент, зав. кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ.

Рекомендовано до видання Радою із забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти інженерно-технологічного факультету СНАУ. Протокол № 5 від „12” березня 2026 року.

ЗМІСТ

Вступ	6
Навчально-тематичний план	8
1. Тема 1. Основні властивості палива і його використання в енергетиці.	9
2. Тема 2. Енергетичні ресурси, запаси та видобуток.	16
3. Тема 3. Класифікація, склад та основні властивості енергоресурсів.	20
4. Тема 4. Технології та виробництво штучних енергоносіїв.	24
5. Тема 5. Технологічне обладнання та системи енергопостачання.	37
6. Тема 6. Котельні установки.	44
7. Тема 7. Характеристика твердопаливних котлів.	52
8. Тема 8. Газогенератори.	55
9. Тема 9. Енергетичні і теплоенергетичні установки в системах енергопостачання.	73
10. Тема 10. Конденсаційні котли.	77
11. Тема 11. Когенерація.	86
12. Тема 12. Теплоенергетичне постачання об'єктів сільськогосподарського виробництва	97
13. Тема 13. Теплоенергетичне постачання об'єктів та приміщень закритого ґрунту.	100
14. Тема 14. Використання енергоресурсів для промислових та побутових потреб.	112
15. Тема 15. Теплові насоси. Принцип роботи.	126
Список джерел.	144

ВСТУП

Дисципліна «Енергетичні установки» є однією з ключових у професійній підготовці магістрів, оскільки формує системне розуміння процесів перетворення енергії, принципів роботи теплоенергетичного обладнання, сучасних технологій виробництва та раціонального використання енергетичних ресурсів. В умовах трансформації енергетичної галузі, підвищення вимог до енергоефективності та екологічності виробництва енергії особливого значення набуває здатність майбутніх фахівців аналізувати роботу енергетичних установок і обґрунтовувати вибір оптимальних технічних рішень.

Дана методичка розробка допоможе здобувачу СВО «Магістр» під час самостійного опрацювання питань з дисципліни «Енергетичні установи», яка охоплює всі теми лекційного матеріалу.

НАВЧАЛЬНО-ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН

Тема 1. Основні властивості палива і його використання в енергетиці 4. Аспекти функціонування, взаємодії палива з довкіллям.
Тема 2. Енергетичні ресурси, запаси та видобуток. 4. Альтернативна та нетрадиційна енергетика, джерела поновлювальної енергії. Вторинні енергетичні ресурси.
Тема 3. Класифікація, склад та основні властивості енергоресурсів. 4. Енергетичний потенціал енергоносіїв.
Тема 4. Технології та виробництво штучних енергоносіїв. 1. Технології виробництва штучних енергоносіїв. Скраплений газ. Колошниковий газ. 2. Конденсаторні гази. Ефект барботації. Газифікація вугілля. 3. Системи пасивного сонячного енергозабезпечення. 4. Технології отримання вітрових та геотермальних енергоносіїв.
Тема 5. Технологічне обладнання та системи енергопостачання. 4. Техніка безпеки. Нормативні документи.
Тема 6. Котельні установки. 3. Котельні установки – основне базове джерело малої енергетики.
Тема 7. Характеристика твердопаливних котлів. 4. Економічні аспекти використання твердопаливних котлів в Україні, на прикладі котла на деревині у школі.
Тема 8. Газогенератори. 1. Класифікація газогенераторів і їх конструкції. 2. Технологічні схеми газогенераторних установок. 3. Високоєфективні способи газифікації твердого палива.
Тема 9. Енергетичні і теплоенергетичні установки в системах енергопостачання. 4. Техніко-економічні показники теплової. Електростанції.
Тема 10. Конденсаційні котли. 1. Історична довідка. 2. Проблеми при використанні конденсаційних котлів. 3. Переваги і недоліки конденсаційних котлів. 4. Застосування котлів.
Тема 11. Когенерація. 1. Сфери застосування когенераційних установок. 2. Основи когенерації. 3. Переваги технології. 4. Економічна ефективність. 5. Обладнання когенерації, утилізація тепла.
Тема 12. Теплоенергетичне постачання об'єктів сільськогосподарського виробництва. 5. Експлуатація систем енергопостачання. 6. Організація технічної експлуатації інженерних енергетичних систем.

Тема 13. Теплоенергетичне постачання об'єктів та приміщень закритого ґрунту.

1. Напрями реформування та розвитку енергопостачання тепличних комплексів.
2. Специфіка теплоенергетичного технологічного обладнання приміщень закритого ґрунту.
3. Теплоізоляційні матеріали огорожувальних конструкцій.
4. Системи регулювання параметрів мікроклімату в теплицях. Центральне та індивідуальне регулювання.
5. Вторинне використання енергії вихідних газів. Техніка безпеки.

Тема 14. Використання енергоресурсів для промислових та побутових потреб.

1. Державна політика з енергозбереження в промисловості. Теплове обладнання. Системи спалювання різних видів палива.
2. Теплоізоляційні характеристики огорожувальних конструкцій.
3. Трансформатори теплоти. Термодинамічні основи процесів трансформації теплоти.
4. Розрахунок витрат енергоресурсів для промислових та побутових потреб.
5. Експлуатація систем енергопостачання. Технічний нагляд та експлуатація енергосистем.

Тема 15. Теплові насоси. Принцип роботи

1. Класи теплових насосів.
2. Технологічна схема теплового насоса
3. Парокомпресійний цикл теплового насоса. Розрахунок коефіцієнта перетворення (COP).
4. Реальний парокомпресійний цикл теплового насоса.

ТЕМА 1. ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ПАЛИВА І ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ.

1.4. Аспекти функціонування, взаємодії палива з довкіллям.

1.4. Аспекти функціонування, взаємодії палива з довкіллям.

Закономірності утворення екологічно шкідливих речовин під час горіння палива.

Склад продуктів згорання і кількісні співвідношення в них окремих компонентів залежать від властивостей і складу палива, а також від ступеня завершеності реакції горіння. У цьому можна переконатися на прикладі спалювання природного газу, що, як відомо, переважно складається із суми вуглеводнів C_nH_m . Крім вуглеводнів C_nH_m , у природному газі, що надходить зі скважини, міститься деяка кількість води H_2O і сірководню H_2S . Природний газ перед подачею споживачеві очищують, видаляючи з нього вологу і сірководень.

У результаті згорання вуглеводнів C_nH_m на одну молекулу паливної компоненти утворюється n молекул вуглекислоти CO_2 і $n/2$ молекул водяної пари H_2O . Названі компоненти належать до так званих парникових газів, збільшення концентрації яких визначає зміну умови теплової рівноваги на поверхні Землі. Крім того, у місцях великої концентрації валових викидів водяної пари можуть бути негативні наслідки, пов'язані з локальною зміною мікроклімату.

Крім продуктів повного згорання CO_2 і H_2O , азоту N_2 і надлишкової кількості кисню O_2 у димових газах можуть міститися продукти неповного згорання у вигляді оксиду вуглецю CO , що в побуті називають чадним газом, водню H_2 і незгорілих вуглеводнів. Одним із токсичних продуктів неповного згорання є формальдегід CH_2O . Останній характеризується токсичністю, що у сотні разів більша за токсичність CO .

Серед безлічі реакцій, що відбуваються в зоні горіння, є так звані проміжні реакції, у результаті яких можуть утворюватися сажа C і

ароматичні дуже токсичні вуглеводні, основним представником яких є бенз(а)пірен $C_{20}H_{12}$.

Сажисті частинки потрапляють у простір у вигляді аерозолів і зі збільшенням їх концентрації негативно діють на дихальні органи людини.

Ще більшою екологічною небезпекою для навколишнього середовища є одночасний викид сажі та бенз(а)пірену. Це зумовлено тим, що, маючи високі адсорбційні властивості, частинки сажі концентрують на своїй поверхні бенз(а)пірен, сильнодіючий канцерогенний ефект якого спричиняє ракові захворювання в населення.

За наявності відповідних можливостей ефективним засобом є використання екологічно чистого палива (наприклад, краще природний газ, ніж мазут і тверде паливо). Такий метод належить до групи активних методів охорони навколишнього середовища.

До пасивних методів можна віднести встановлення обмежень на граничнодопустимі концентрації, визначення мінімально допустимої висоти димової труби, що забезпечує дотримання норм приземних граничнодопустимих концентрацій відповідних викидів у населеній місцевості (табл. 1.1).

Ступінь екологічної небезпеки тієї чи тієї токсичної речовини для людини визначається відношенням дійсної концентрації цієї речовини до [ГДК]_i у повітрі на рівні дихання людини. Це відношення $k = C_i/[ГДК]_i$ називають токсичною кратністю цієї i -ї речовини. Воно має бути менше одиниці. За наявності у повітрі одночасно декількох токсичних речовин у концентраціях, близьких до біологічного впливу на живий організм, отруйний вплив посилюється, тому наявність таких речовин навіть у концентраціях, близьких до [ГДК], недопустима. У зв'язку з цим треба підсумовувати токсичні кратності таких речовин.

Паливно-енергетичний комплекс, енергетика, транспорт і промисловість - (переважно через процеси, пов'язані з горінням) є основними

джерелами антропогенного забруднення навколишнього середовища. За масштабом дії забруднення може бути локальне, регіональне і глобальне.

Таблиця 1.1.

Гранично допустимі концентрації і показники відносної небезпечності речовин

Речовина	Максимальна разова концентрація, мг/м ³	Середньодобова концентрація, мг/м ³	Відносна небезпечність
Оксид вуглецю	5	3	1
Вуглеводні (неканцерогенні)	5	1,5	2
Нетоксичний пил	0,5	0,15	20
Оксид азоту	0,4	0,06	50
Діоксид сірки	0,5	0,05	60
Сажа (кіпоть)	0,15	0,05	60
Діоксид азоту	0,085	0,04	75
Формальдегід	0,035	0,003	1000
Свинець	-	0,0003	10000
Бенз(а)пірен	-	0,000001	3000000

Розглянемо основні шкідливі газові викиди з погляду їх впливу на навколишнє середовище.

Вуглекислий газ CO₂ утворюється в результаті спалювання викопних видів палива, таких як вугілля, нафта, природний газ, штучне та синтетичне паливо і біомаса (деревина). Це основа компонента (з триатомних газів), який спричиняє утворення «парникового ефекту». У результаті неповного згорання виділяється також монооксид вуглецю CO - токсичний газ, що шкідливо впливає на серцево-судинну систему людини.

Щорічно в процесі спалювання органічного палива витрачається близько 10 млрд т кисню, що перетворюється на еквівалентну кількість CO₂. За останні 20 років XX ст. концентрація CO₂ в атмосфері зросла на 15 %.

Молекули CO₂ добре пропускають короткохвильове ультрафіолетове сонячне випромінювання, але поглинають випромінювання в довгохвильовому інфрачервоному спектрі частот, що є причиною підвищення температури атмосфери.

Зниження концентрації CO₂ призводить до зниження середньорічної температури планети: якби в атмосфері зовсім не було CO₂, уся поверхня

Землі покрилася б кригою, а середньорічна температура не перевищувала б рівня 6...10 °С.

Протягом мільйонів років існувала природна рівновага вмісту CO₂ в атмосфері, що сьогодні порушується істотно перш за все техногенною діяльністю людства. Окиснювально-відновні реакції горіння органічного палива до середини наступного сторіччя залишаться основою швидко прогресуючої енергетики світу. За цей час уміст CO₂ в атмосфері може зрости ще в декілька разів. Як наслідок, у найближчому майбутньому слід очікувати потепління клімату Землі.

Однак є й інший погляд. З початку XX ст. до 40-х рр. (відповідно до даних гідрометеорологічних спостережень) середньорічна температура Землі підвищилася приблизно на 0,7 °С, а площа арктичних льодів зменшилася на 10 %. Пояснювали це збільшенням концентрації CO₂ в атмосфері, зростанням виробництва і споживання енергії, однак за останні 30 років XX ст., незважаючи на збільшення CO₂ вдвічі, збільшення виробництва і споживання енергії, температура землі не підвищилася, а знизилася. Вважають, що в міркуваннях про «парниковий ефект» не взято до уваги вплив аерозолів - дрібних твердих частинок і крапель рідини, що знаходяться у зваженому стані в приземному шарі, тропосфері і стратосфері.

Аерозолі і тверді частинки можуть потрапити в атмосферу вже сформованими (пил, зола, сажа). Значна ж їх частина утвориться безпосередньо в атмосфері в результаті хімічних реакцій між газоподібними, рідкими і твердими речовинами, включаючи водяну пару.

Аерозолі утворюються в результаті природних процесів, хоча чимала їх частка має антропогенне походження. З 1-3 млрд т/рік частинок різного хімічного складу розміром менше 1 мкм, що утворюються над поверхнею Землі, приблизно 20 % - результат практичної діяльності людини (пил, насичені речовини, токсичні метали: свинець, ртуть, кадмій).

Аерозолі техногенного походження, на противагу триатомним газам, здатні впливати на клімат Землі, але в протилежному напрямку. Тверді

частинки розсіюють сонячне світло, тому значна його частина не досягає поверхні Землі. У результаті змінюється тепловий баланс в напрямку зниження температури.

Певну роль у матеріальних балансах процесів горіння твердого і рідкого палива відіграють тверді продукти згорання, зокрема зола. Зольність палива залежить від його природи і якості переробки. Розрізняють первинну золу - залишки мінеральних домішок, що входили до складу палива під час його обробки, вторинну золу - сторонні мінеральні речовини, рівномірно розподілені в горючій масі палива, і породу - мінеральні речовини, що потрапили в паливо під час його видобутку. Уміст первинної золи в сухій масі палива практично не перевищує 1-1,5 %, породи - 2-2,5 %. Основними характеристиками золи з погляду її впливу на навколишнє середовище є дисперсність, змішуваність, сипучість, щільність, абразивність і електропровідність.

Викиди можна класифікувати залежно від розмірів частинок:

- пи́л - тверді частинки розміром 1-150 мкм;
- туман - тверді або рідкі частинки 0,2-1 мкм;
- дим - частинки 0,001- 0,1 мкм;
- аерозолі - переважно скупчення газоподібних молекул розмірами від сотих часток до десятків мікрометрів.

Діоксид сірки, або сірчистий ангідрид SO_2 - один із найтоксичніших газоподібних викидів енергоустановок, становить приблизно 90 % викидів сірчистих сполук із димовими газами котлоагрегатів (решта - SO_3). Найбільшу кількість сірки містять вугілля і важкі види нафтопродуктів; легкі нафтопродукти містять меншу кількість сірки, і, нарешті, бензин і природний газ практично не мають її у своєму складі.

Оксиди азоту утворюються під час спалювання будь-якого з викопних видів палива, що містять азотні сполуки. Азот утворює із киснем ряд сполук (N_2O , NO , N_2O_3 , NO_2 , N_2O_4 і N_2O_5), властивості яких, активність і тривалість

існування різні і слабо залежать від виду і складу палива. Концентрація оксидів азоту визначається режимом і організацією процесів горіння палива.

Оксиди азоту шкідливо впливають на здоров'я людини, зумовлюють утворення «парникового ефекту» і руйнацію озонового шару. Крім того, оксиди азоту спричиняють «вимирання лісів», «кислотні дощі» тощо.

Озон O_3 утворюється на великих висотах (приблизно 30 км) від взаємодії кисню O_2 і ультрафіолетового випромінювання сонця, а також на низьких висотах - у результаті фотохімічних реакцій (зокрема, взаємодії оксидів азоту і гідрокарбонатів). Озон спричиняє «парниковий ефект», «вимирання лісів», негативно впливає на здоров'я людини, культивування рослин.

Метан CH_4 утворюється в результаті розкладання органічних речовин, наприклад, у сільському господарстві, у процесі вуглевидобутку, нафто- і газовидобутку, газорозподілу і спалювання біомаси. Метан також є причиною виникнення «парникового ефекту».

Для електроенергетичної галузі, що витрачає понад 20 % котельно-пічного палива від загального рівня його споживання, характерним є збільшення викидів. У тепловій енергетиці України конкуруючими видами палива є вугілля і природний газ, кожний із яких має свої переваги і недоліки.

З технологічного погляду перевага тут на боці природного газу як висококалорійного екологічно чистого палива. Газ легко транспортується, зручний для застосування в сучасних енергетичних технологіях, таких, наприклад, як парогазові установки з електричним ККД на рівні 52-60 %. Нагадаємо, однак, що об'єм видобутку газу в Україні (близько 28 млрд м³/рік) задовольняє потребу в ньому лише на 22 %. Тому з погляду енергетичної безпеки стратегічною сировиною (паливом) для України залишається вугілля, промислові запаси якого становлять ~ 26 млрд т. Це може задовольнити потребу в ньому для України протягом кількох сторіч. Незважаючи на те, що останнім часом річний видобуток вугілля знизився до

80 млн т, потенціал вугільної галузі оцінюють приблизно в 100 млн т/рік. Якість донецького вугілля досить висока: $Q_r = 22,2 \dots 26,6$ МДж/кг, середня зольність - 22,6 %, хоча в процесі видобутку зольність підвищується до 27-35 %, а теплота згорання зменшується до $Q_r = 13,8 \dots 20,8$ МДж/кг.

Токсичні і шкідливі викиди по-різному впливають на навколишнє середовище і мають різні масштаби розсіювання і трансформації в атмосфері.

Залежно від інтегральних особливостей впливу на навколишнє середовище всі шкідливі речовини розділяють на 4 класи небезпеки:

- 1 - надзвичайно небезпечні (бензапірен $C_{20}H_{12}$);
- 2 - високонебезпечні (формальдегід CH_2OH , діоксид азоту NO_2);
- 3 - помірно небезпечні (сажа C , діоксид сірки SO_2 , оксид азоту NO);
- 4 - малонебезпечні (аміак NH_3 , оксид вуглецю CO).

Концентрацію шкідливих речовин в атмосфері відповідно нормують. Для цього вводять ГДК, характерні для кожної речовини, і визначення, що змінюються залежно від умов, концентрації. Розрізняють такі рівні ГДК:

- граничнодопустима максимальна разова концентрація (ГДК_{м. р}) шкідливих речовин у повітрі місцевості, що не викликає протягом 30 хв рефлекторних (спонтанних) реакцій в організмі людини;

- граничнодопустима середньодобова концентрація (ГДК_{сд}) речовини в повітрі місцевості, що шкідливо не впливає на людину протягом невизначеного тривалого періоду (роки).

Вплив кожної з токсичних речовин визначається рівнем її концентрації в повітрі. Так, якщо концентрація NO_2 у повітрі на рівні 150 частинок на мільйон (ррт) або 300 мг/м^3 , то можливі серйозні захворювання дихальних шляхів людини аж до її загибелі; на рівні 50-100 ррт - небезпечні захворювання на бронхіт або запалення легенів; на рівні 5 ррт (10 мг/м^3) - шкідливо для здоров'я людини.

Як уже відзначено, крім нормування ГДК на рівні дихання людини, існує нормування рівня допустимих концентрацій на виході з димових труб ТЕС. Наприклад, для димових газів ТЕС та інших енергетичних і

промислових об'єктів ГДК шкідливих речовин установлює відповідність стану повітряного середовища населених місцевостей гігієнічним нормам у найнесприятливіших метеорологічних умовах.

Для котлоагрегатів норми ГДК оксидів азоту NO^* у країнах СНД установлюють, виходячи з концентрації кисню в димових газах на рівні 6 %, вони залежать від категорії котлоагрегатів і типу палива .

Для ГТУ сучасні норми ГДК NO^* у країнах СНД становлять 150 мг/м^3 у димових газах (вміст у них кисню на рівні 15 %).

ТЕМА 2. ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ, ЗАПАСИ ТА ВИДОБУТОК.

2.4. Альтернативна та нетрадиційна енергетика, джерела поновлювальної енергії. Вторинні енергетичні ресурси.

2.4. Альтернативна та нетрадиційна енергетика, джерела поновлювальної енергії. Вторинні енергетичні ресурси.

Розвиток сучасної енергетики відбувається в умовах зростання енергоспоживання, обмеженості традиційних паливних ресурсів та загострення екологічних проблем. Використання викопних видів палива супроводжується значними викидами парникових газів, забрудненням атмосфери та деградацією навколишнього середовища. У зв'язку з цим важливого значення набуває розвиток альтернативної та нетрадиційної енергетики, що базується на використанні відновлюваних джерел енергії та вторинних енергетичних ресурсів.

Сучасний розвиток енергетики характеризується зростанням ролі альтернативних та нетрадиційних джерел енергії, що зумовлено обмеженістю традиційних паливних ресурсів, необхідністю підвищення енергетичної безпеки та зменшенням негативного впливу на навколишнє середовище. Альтернативна енергетика охоплює використання відновлюваних джерел енергії та вторинних енергетичних ресурсів, які здатні частково або повністю замінити традиційні енергоносії.

Відновлювані (поновлювальні) джерела енергії - це джерела, що природно відновлюються у відносно короткі проміжки часу та практично не вичерпуються в процесі їх використання. До них належать сонячна, вітрова, гідроенергія, геотермальна енергія, енергія морських хвиль і припливів, а також енергія біомаси та біогазу.

Сонячна енергія використовується шляхом фотоелектричного перетворення у сонячних батареях або для отримання тепла в сонячних колекторах. Вітрова енергетика базується на перетворенні кінетичної енергії повітряних мас у механічну, а згодом - в електричну енергію за допомогою вітроенергетичних установок. Гідроенергія використовує потенційну та кінетичну енергію водних потоків у гідроелектростанціях. Геотермальна енергетика ґрунтується на використанні тепла надр Землі для виробництва теплової та електричної енергії. Біоенергетика передбачає використання органічних відходів рослинного і тваринного походження для отримання тепла, електроенергії або моторних палив.

Важливим напрямом альтернативної енергетики є використання *вторинних енергетичних ресурсів*. До них належить енергія, що міститься у відходах та побічних продуктах промислових і технологічних процесів та може бути використана повторно. Це, зокрема, скидне тепло промислових установок, гарячі гази та пари, доменний і коксівний гази, метан дегазації вугільних родовищ, а також теплота відпрацьованих технологічних середовищ. Рациональне використання вторинних енергетичних ресурсів дозволяє суттєво підвищити загальний коефіцієнт корисної дії енергетичних установок і знизити витрати первинних паливно-енергетичних ресурсів.

Розвиток альтернативної та нетрадиційної енергетики має значні переваги, серед яких зменшення шкідливих викидів, підвищення енергоефективності, диверсифікація енергопостачання та зменшення залежності від імпорتنих енергоносіїв. Разом із тим, ці напрями потребують подальшого науково-технічного вдосконалення, розвитку систем

накопичення енергії та інтеграції відновлюваних джерел у загальну енергетичну систему.

Сонячна енергія є одним із найпотужніших та найпоширеніших відновлюваних джерел. Вона використовується шляхом фотоелектричного перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію або для нагрівання теплоносія в сонячних теплових колекторах.

Переваги: невичерпність і загальна доступність ресурсу; відсутність шкідливих викидів під час експлуатації; можливість децентралізованого енергопостачання; простота обслуговування установок.

Недоліки: залежність від погодних умов і часу доби; порівняно низька щільність енергетичного потоку; потреба в значних площах для розміщення установок; необхідність використання систем накопичення енергії.

Вітрова енергетика ґрунтується на використанні кінетичної енергії повітряних мас, яка за допомогою вітрових турбін перетворюється в електричну енергію.

Переваги: відсутність витрат палива; мінімальний вплив на навколишнє середовище; можливість швидкого введення потужностей в експлуатацію; ефективність у регіонах з високим вітровим потенціалом.

Недоліки: нестабільність вироблення електроенергії; шумовий та візуальний вплив; потреба у значних земельних ділянках; залежність від кліматичних умов.

Гідроенергетика базується на використанні потенційної та кінетичної енергії водних потоків. До цього виду також відносять енергію морських хвиль і припливів.

Переваги: високий коефіцієнт корисної дії установок; стабільність вироблення електроенергії; можливість акумулювання енергії; тривалий термін експлуатації обладнання.

Недоліки: значний вплив на екосистеми; потреба у великих капіталовкладеннях; обмеженість придатних природних умов; можливе затоплення значних територій.

Геотермальна енергетика використовує тепло земних надр для виробництва теплової та електричної енергії, а також для систем опалення і гарячого водопостачання.

Переваги: незалежність від погодних умов; стабільність енергопостачання; низький рівень викидів шкідливих речовин; можливість цілорічної експлуатації.

Недоліки: географічна обмеженість; високі початкові витрати на буріння; ризик мінералізації та корозії обладнання; можливий локальний вплив на геологічні процеси.

Біоенергетика передбачає використання біомаси та біогазу, що утворюються з органічних відходів сільського господарства, лісового комплексу та побутових відходів.

Переваги: утилізація відходів; відновлюваність ресурсів; можливість комбінованого виробництва тепла й електроенергії; зменшення викидів метану.

Недоліки: потреба в значних обсягах сировини; можливі викиди забруднюючих речовин; конкуренція з продовольчим виробництвом; складність логістики біопалива.

Вторинні енергетичні ресурси - це енергетичний потенціал відходів та побічних продуктів виробничих процесів, який може бути використаний повторно. До них належать скидне тепло промислових агрегатів, гарячі гази та пари, побічні гази металургійного виробництва, а також енергія відпрацьованих теплоносіїв.

Переваги використання: підвищення енергоефективності виробництва; зменшення споживання первинних енергоресурсів; зниження теплових втрат; скорочення викидів в атмосферу.

Недоліки: обмеженість застосування конкретними технологічними процесами; потреба у спеціальному теплообмінному обладнанні; складність інтеграції у діючі енергосистеми.

Значення альтернативної енергетики.

Альтернативна та нетрадиційна енергетика є важливою складовою сталого розвитку енергетичних систем. Її впровадження сприяє зниженню екологічного навантаження, підвищенню енергетичної безпеки та раціональному використанню природних і техногенних ресурсів. Комплексне поєднання відновлюваних джерел та вторинних енергетичних ресурсів дозволяє створювати ефективні та екологічно безпечні енергетичні системи майбутнього.

ТЕМА 3. КЛАСИФІКАЦІЯ, СКЛАД ТА ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ

3.4. Енергетичний потенціал енергоносіїв.

3.4. Енергетичний потенціал енергоносіїв.

Природні ресурси - це запаси сировини та енергії, які видобувають з біосфери, наприклад будівельні матеріали, метали, вода, викопне паливо, геотермальна енергія тощо. Природні ресурси - вихідна основа людської цивілізації як форма контрольованого існування на всіх фазах його розвитку. Розвиток технології змінює напрям, масштаби і форми їх використання, визначає появу нових ресурсів.

Природні ресурси підрозділяються на дві категорії: відновлювані, які зобов'язані своїм походженням сонячній енергії (дощова вода, енергія вітру, продукти харчування, бавовна та вовна, деревина та ін.), та невідновні, або мінеральні ресурси. Це органічне паливо (вугілля, нафта, торф), мідь, залізо, уран, золото та інші, формування яких відбувалося протягом тривалого часу (мільйонів років). Вони чітко фіксовані і практично не відновлюються. Саме мінеральні ресурси визначають шляхи розвитку цивілізації. Мінеральні ресурси розміщені нерівномірно, більшість енергетичних ресурсів (нафта, газ, уран та ін.) обмежені, тому неможливо зберегти стабільні темпи їх розробки та використання.

Мінеральні ресурси поділяють на дві категорії: до першої належать ресурси, що видобувають у поточний період часу та називають видобувними

запасами, до другої - потенційні ресурси, що за відповідних умов у майбутньому можуть бути використані.

Д. І. Менделєєв визначив паливо як «горючу речовину, яку навмисно спалюють для одержання теплоти». Паливом у широкому розумінні називають горючу речовину, яку економічно доцільно спалювати для одержання великих кількостей теплоти. Протягом ХХ ст. основним джерелом теплоти було органічне паливо. Із другої половини ХХ ст. людство все в більших масштабах використовувало ядерне паливо.

Величезний енергетичний ресурс, який становлять усі види органічного палива, підрозділяють на три основні категорії:

- потенційні запаси викопного палива, що на сучасному етапі розвитку науки і техніки неможливо або економічно недоцільно добувати;
- доступні, які можливо, але економічно не завжди доцільно добувати;
- економічні, видобуток яких економічно виправданий і доцільний на сучасному рівні розвитку науки і техніки.

Найбільший інтерес викликають нафта і газ, запаси яких обмежені. Водночас саме їх видобуток і переробка найбільш економічно вигідні та доцільні з погляду використання робочої сили й охорони навколишнього середовища.

Залежно від характеру використання паливо підрозділяють на енергетичне, технологічне і побутове; за агрегатним станом - на тверде, рідке і газоподібне; а за способом одержання - на природне і штучне.

Основними видами органічного палива, яке використовують в енергетиці, є: тверде (вугілля і торф); рідке (мазут); газоподібне (природний газ). Торф і вугілля - продукти розкладу органічної маси рослин, які відрізняються одне від одного хімічним віком (торф - наймолодший).

Геологи вважають, що більшу частину основних вугільних родовищ уже відкрито. Світові запаси всіх видів вугілля оцінено в понад 5 трильйонів тонн розвіданих покладів, а додаткові потенційні ресурси значно перевищують розвідані, досягаючи близько 6650 млрд тонн. До видобувних

запасів вугілля відносять запаси, що знаходяться у шарах завтовшки не менше 0,3 м і залягають на глибині не більше 2000 м. Запаси вугілля, що не відповідають цим вимогам, належать до потенційних ресурсів.

Вугільні ресурси розвідані в 75 країнах світу, зокрема й Україні. Понад 96 % їхніх запасів зосереджені в 10 країнах: США (445 млрд т), Китаї (272), Росії (200), Південній Африці (130), Німеччині (100), Австралії (90), Великобританії (50), Канаді (50), Індії (29) та Польщі (25). Приблизно 43 % вугілля світу залягають у країнах СНД (колишнього СРСР), 28 % - у Північній Америці, 54 % - у країнах Азії, переважно в Китаї, 9 % - у Європі. На решту світу припадає 8 % запасів вугілля. На вироблення електроенергії витрачається близько 65 % видобутого вугілля. Використання вугілля в енергетичній сфері обмежене через те, що під час його спалювання утворюється значна кількість вуглекислого газу, який зумовлює появу парникового ефекту в атмосфері.

Хоча вугілля в усьому світі не є основним видом палива, але труднощі із забезпеченням нафтою і газом ведуть до того, що в найближчі десятиліття вугілля стане панівним паливом на планеті. При цьому протягом тривалого часу підземний видобуток буде, очевидно, залишатися переважною формою розробки вугільних родовищ.

Значна роль у забезпеченні ПЕК паливом належить нафті і природному газу. Енергетичний еквівалент оцінених потенційних ресурсів (за даними Всесвітньої енергетичної конференції) становить: нафти - $(1,5 \cdot 10^{22})$ Дж, газу - $(1,1 \cdot 10^{22})$ Дж.

Людство цікавлять дві проблеми, які безпосередньо пов'язані з теплоенергетикою: на який термін вистачить ПЕР і де дозволена грань забруднення атмосфери? Нині світове використання енергоресурсів протягом року еквівалентно 30 млрд т у. п., енергоемність яких еквівалентна ~ 600 ЕДж. Якщо виходити з цієї цифри і світових запасів енергоресурсів (рис. 3.2., табл. 3.1), то тільки органічного палива людству вистачить на 500 років.

Перспективним є використання альтернативних (відновних і невичерпних) джерел ПЕР. Однак сучасна енерготехнологія не дозволяє їх масове застосування. Людство далеко ще і від вирішення проблем використання термоядерної енергії, загальні запаси якої просто фантастичні - $3,6 \cdot 10^9$ ЕДж (із нинішнім рівнем енерговитрат їх вистачить на 10 млн років!).

Таблиця 3.1.

Споживання первинної енергії в світі за видом палива.

	Світ, ЕДж	США %	ЕС %	Японія %	Росія %	Китай %	Індія %
Усі види палива	595,15	15,6	13,8	3,0	5,3	26,5	6,0
Нафта	184,21	19,2	15,0	3,6	3,6	16,6	5,1
Вугілля	160,1	6,6	6,3	3,0	2,1	53,8	12,5
Природний газ	145,35	20,5	14,1	2,6	11,8	9,4	1,5
Атомна енергія	25,31	29,2	31,5	2,2	7,9	14,5	1,6
Гідроелектроенергія	40,26	6,0	15,2	1,8	5,0	30,4	3,8
Інші ВДЕ	39,91	18,7	25,4	3,3	0,2	28,4	4,5

Джерело: British Petroleum, Statistical Review of World Energy, 2021.

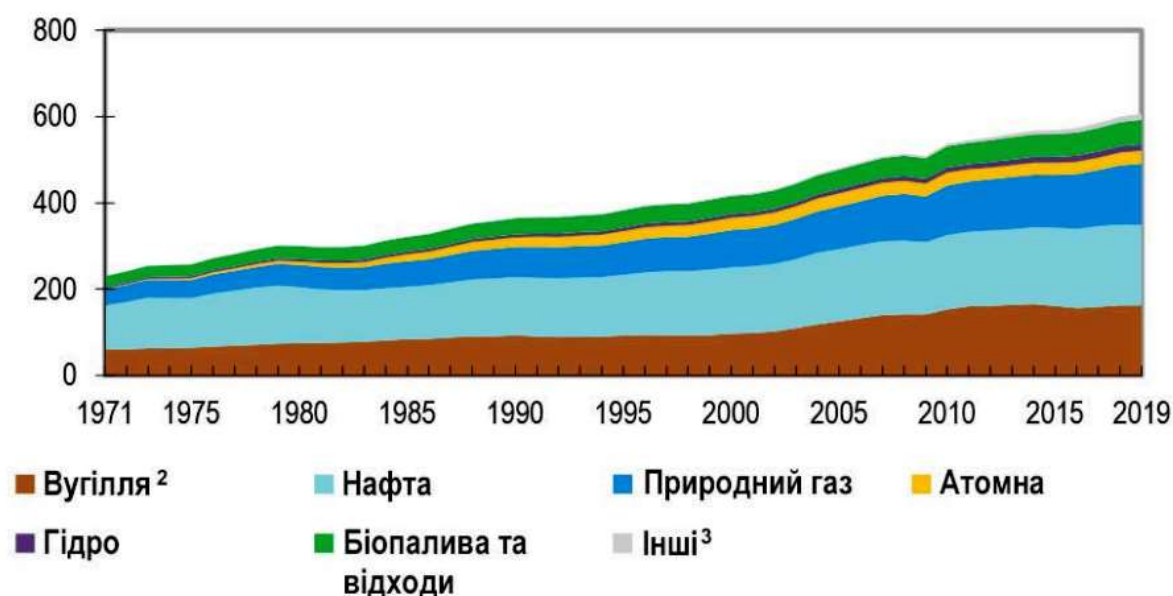


Рисунок 3.2. Загальне постачання енергії в світі за джерелами (ЕДж).

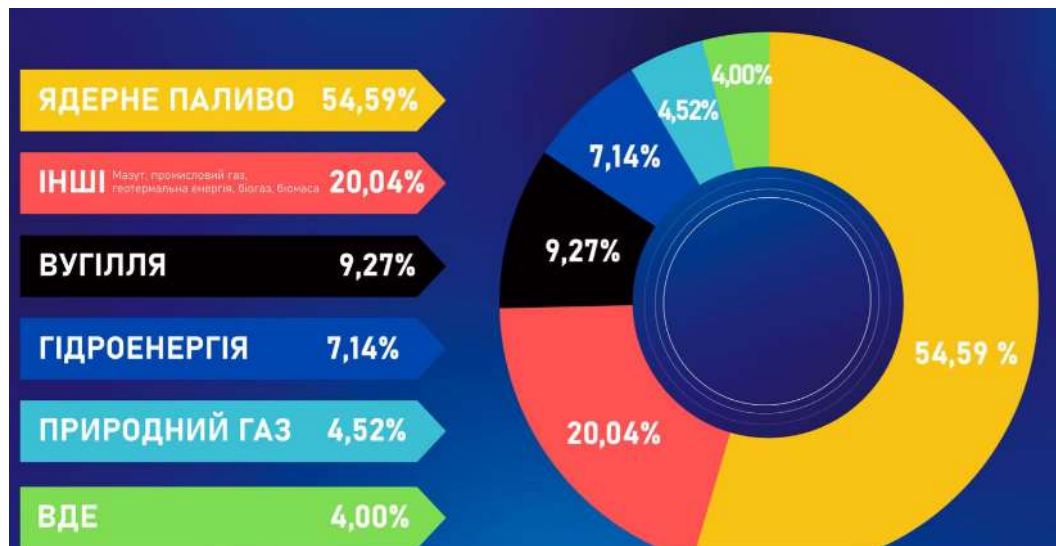


Рисунок 3.3. Енергоресурси України: середньорічний видобуток і потреба.

За даними аналітичного центру «Ember», у 2024 році в Європейському Союзі сонячна та вітрова енергетика покрили 29% потреб в електроенергії, на атомні електростанції припало 23,7% від загального обсягу виробництва. Частка газу склала 15,7%, гідроенергетика забезпечила 13,2%, а вугілля – 9,8%.

Упродовж року ми розвивали співпрацю з виробниками електричної енергії, зокрема компанією у 2024 році було придбано 550 МВт електричної енергії, згенерованої установками «активних споживачів».

Щодо України, то видобуток ПЕР сьогодні знаходиться у важкому стані, незважаючи на те, що тільки розвідані запаси вугілля становлять ~47 млрд т. Однак технологія видобутку вугілля не відповідає геологічним особливостям родовищ. Майже 80 % устаткування ПЕК фізично і морально застаріло, рівень витрат енергоресурсів вищий за рівень їх виробництва. Спостерігається значний дефіцит усіх видів ПЕР.

ТЕМА 4. ТЕХНОЛОГІЇ ТА ВИРОБНИЦТВО ШТУЧНИХ ЕНЕРГОНОСІЇВ

4.1. Технології виробництва штучних енергоносіїв. Скраплений газ. Колошниковий газ.

4.2. Газифікація вугілля.

4.3. Системи пасивного сонячного енергозабезпечення.

4.4. Технології отримання вітрових та геотермальних енергоносіїв.

4.1. Технології виробництва штучних енергоносіїв. Скраплений газ.

Колошниковий газ

Зріджений_природний_газ, також Скраплений природний газ (рос. сжиженный природный газ; англ. LNG (liquefied natural gas); нім. verflüssigtes Erdgas) - природний вуглеводневий газ, який за нормальних температури й тиску навколишнього середовища перебуває в газоподібному стані, але за дуже низької температури переходить у рідинний стан, що полегшує його зберігання і перевезення.

Загальна характеристика

Основною сировиною для одержання зріджених вуглеводних газів є штучні і природні нафтові гази:

- а) попутний нафтовий газ на газобензинових заводах;
- б) газ термічної і термokatалітичної переробки нафти і нафтопродуктів на установках термічного каталітичного крекінгу, піролізу і коксування, алкілювання й інших процесів;
- в) штучні гази на заводах синтетичного моторного палива (заводи деструктивно-гідрогенізаційної переробки вугілля і важких нафтопродуктів, синтезу моторного палива з оксиду вуглецю і водню й ін.);
- г) природні гази, які містять крім метану, деяку кількість більш важких вуглеводнів. Так як в природних газах вміст більш важких вуглеводнів (пропану і бутану) невеликий, зріджений газ одержують з них дуже рідко;
- д) газоконденсатні родовища промислового значення.

Найбільшу цінність для одержання рідких вуглеводневих газів мають попутні нафтові гази. Нафта на виході сепараторів, в залежності від режиму сепарації, також містить значну кількість розчинених у ній важких вуглеводневих газів. Гази, які виділяються з нафти, після сепараторів містять близько 30% пропану, 30-35% бутану і близько 30% газового бензину. Ці

отримані в результаті стабілізації нафти газу є цінними для виробництва зріджених газів, які, як правило, і вилучаються на газобензинових заводах.

Штучні, заводські нафтові газу, тобто газу, отримані при деструктивній, термічній і термокаталітичній переробці нафти, різко відрізняються за своїм складом від природних газів, як від попутних, так і від природних у скупченнях (газових родовищах). Це розходження полягає в тому, що штучні нафтові газу містять значну кількість ненасичених олефінових вуглеводнів, що є дуже цінною сировиною для ряду реакцій органічного синтезу.

Середній вихід вуглеводневих газів, одержуваних при деструктивній переробці нафтопродуктів, складає: при термічному крекінгу 8-14%, при каталітичному крекінгу 16-28%, при піролізі 40-47%.

Отже, основними джерелами для одержання паливних рідких вуглеводневих газів (пропан, бутан) повинні служити попутні газу, газу газоконденсатних родовищ, штучні нафтові газу і газу деструктивної гідрогенізації твердого і рідкого палива. Однак варто вказати, що газу термічної і термокаталітичної переробки нафти і нафтопродуктів, які містять значну кількість реакційно-здатних неграничних вуглеводнів, насамперед повинні піддаватися відповідній переробці для їхнього фракціонування з наступним використанням у різних синтезах.

Одним з найважливіших процесів переробки попутних і аналогічних газів є процес вилучення з них компонентів газового бензину і компонентів рідких горючих газів. Цей процес називається відбензинуванням нафтових газів. Він складається з двох послідовних операцій: одержання сирого нестабільного бензину і вилучення із сирого бензину стабільного, звільненого від легких компонентів газового бензину.

Для безперебійної і надійної роботи установок відбензинування нафтових газів потрібно, щоб газ-сировина не містив механічних домішок і води. Тому одержання рідких газів починається з очищення вихідного продукту від механічних домішок і води.

Перспективи зрідження газів. За оцінками експертів виробництво зрідженого газу (ЗГ) - один із секторів ринку енергоресурсів, що найшвидше зростає. До 2010 року його поставки збільшаться майже вдвічі і складуть близько 40% світової торгівлі природним газом. Станом на 2007 рік обсяг продажів зрідженого газу становив близько 27% від світових експортних продаж. Перспективним є споживання зрідженого газу і в Україні, що може полегшити розв'язання питання диверсифікації джерел постачання природного газу в Україну без прив'язки до існуючої мережі магістральних газопроводів.

Одним з ключових факторів у ланцюгу виробництва і використання зрідженого природного газу є його транспортування, тому розвиток технологій транспортування ЗГ суттєвим чином визначить перспективи всього напрямку зрідження паливних газів в недалекому майбутньому.

Доменний або колошниковий газ - відхідний газ, що утворюється під час виплавлення чавуну в доменних печах. Є головно продуктом неповного згоряння вуглецю. Хімічний склад доменного газу за умов, що чавун виплавляють на кам'яно-вугільному коксі: 12-20% CO₂; 20-30% CO; до 0,5% CH₄; 1-4% H₂; 55-58% N₂. Теплота згорання доменного газу приблизно 3,6-4,6 Мдж/м³ (850-1100 ккал/м³). При збагаченні дуття киснем вміст азоту в газі знижується і відповідно цьому зростає кількість інших газів (у тому числі окисли вуглецю і водню), а також теплота згорання.

Газ дуже отруйний через наявність у його складі CO.

При спалюванні 1 т коксу в печі утворюється приблизно 5000 м³ газу.

Після виходу з доменної печі доменний газ очищується від пиловатих домішок у пиловловлювачі, скрубєрі, трубі Вентурі, дросельній групі.

Сьогодні він використовується на металургійних заводах як паливо у повітрянагрівниках, коксових і мартенівських печах (у суміші з коксовим газом), газових двигунах тощо.

4.2. Газифікація вугілля.

Виробництво висококалорійного, енергетичного і технологічного газів можна здійснити методами газифікації вугілля. Виробництво синтетичного рідкого палива пов'язане з споживанням технічного водню і синтез-газу, які також можуть бути отримані газифікацією палива. Газифікація палива частково вирішує задачу боротьби із забрудненням атмосфери при використанні сірчистих палив на електростанціях.

Газифікація твердого палива була широко розвинена в СРСР до 1960 року, коли у зв'язку з бурхливим зростанням видобутку природного газу, роль газифікації твердих палив по технічних і економічних міркуваннях була зведена до мінімуму. У 1958 р. в СРСР працювало понад 350 газогенераторних станцій на яких в 2500 генераторах вироблялося біля 35 млрд. м³ в рік енергетичних і технологічних газів.

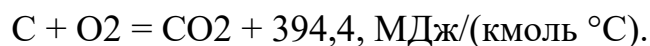
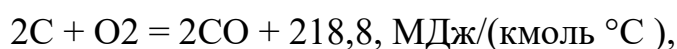
Газифікація - високотемпературний процес взаємодії вуглецю палива з окислювачами, що проводиться з метою отримання суміші горючих газів (H₂, CO, CH₄). Як окиснювачі або газифікуючі агенти застосовують кисень, водяну пару, двоокис вуглецю або суміш цих речовин. У залежності від складу, співвідношення початкових речовин, температури, тривалості взаємодії можна отримати газові суміші різного складу.

Сьогодні виявлені наступні ефективні області застосування газифікації твердого палива. Газифікація високосірчистого і високозольного вугілля з подальшим очищенням газу від сірчистих сполук і спалення на теплових електростанціях. У вугіллі, що добувається щорічно в Україні міститься біля 10 млн. т сірки, велика частина якої при спаленні викидається з атмосфери у вигляді токсичних оксидів. При газифікації вугілля утворюється сірководень, який легко вилучать і переробляють в товарну сірку або сірчану кислоту.

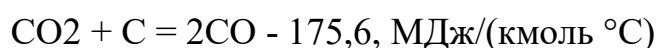
Другий напрям газифікації твердих палив - для великомасштабного виробництва замінників природного газу в районах, віддалених від магістральних газопроводів, і третій - для отримання синтез-газу, газів відновників і водню для потреб хімічної і металургійної промисловості.

Загальні принципи роботи газогенераторів можна розглянути на прикладі найпростішого шарового газогенератора, який являє собою вертикальну шахту, у верхній частині якої є завантажувальний люк із затвором. У нижній частині газогенератора встановлено колосникові ґрати, через які в шахту подають газифікуючий агент. Зверху поступає тверде паливо.

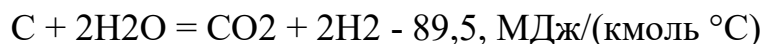
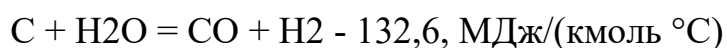
При подачі в газогенератор кисню в зоні, розташованій безпосередньо біля колосникових ґрат (зона горіння або окиснювальна зона) відбувається горіння твердого палива:



Діоксид вуглецю, що утворюється, відновлюється у відновній зоні новими порціями вуглецю:

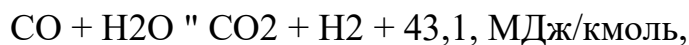


Якщо разом з киснем в генератор подають водяну пару, то у відновній зоні протікають реакції:

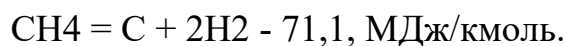


У цьому випадку газ, що утворюється містить два горючих компоненти: оксид вуглецю і водень, які утворилися за рахунок гетерогенних реакцій.

Крім того, в газовій фазі можуть протікати гомогенні реакції між газоподібними продуктами:



Метан в умовах процесу схильний до термічного розпаду:



Поєднання цих і деяких інших реакцій визначає склад газів, що утворюються по висоті газогенератора. З відновної зони газ виходить з температурою 800-900⁰С. Проходячи через вугілля, що розташоване вище,

вони нагрівають його, внаслідок чого протікає процес піролізу. Ця зона називається зоною піролізу або зоною напівкоксування. Гази, що виходять з неї, підігрівають і сушать вугілля у верхній зоні - зоні сушки. Дві нижні зони (окиснювальна і відновна) складають зону газифікації, а дві верхні - зону підготовки палива.

Процес газифікації інтенсифікують шляхом підвищення температури, збільшення тиску газифікації, що дозволяє значно збільшити парціальні тиску реагуючих речовин, а також досягти збільшення швидкості дуття, концентрації кисню в дуття і збільшення реакційної поверхні.

Пневмозрідений шар - це сукупність твердих рухливих частинок, які під дією газового потоку здійснюють зворотно-поступальний рух в межах шару. Тонко подрібнене вугілля з частинками 0,5-3 мм звичайно газифікують в такому шарі, оскільки в цьому випадку можлива безперервна подача палива в газогенератор, а хороше перемішування забезпечує високу теплопередачу, що приводить до рівномірного розподілу температури по всьому шару. Завдяки хорошій теплопередачі можна швидко і легко регулювати температуру. Цей процес придатний в основному для бурого вугілля і молодого кам'яного вугілля з підвищеною реакційною здатністю.

Одним зі способів газифікації палива є підземна газифікація вугілля (ПГВ) досліди з якої були розпочаті в 1933 році. Розроблена в СРСР технологія підземної газифікації вугілля базується на безшахтній підготовці підземних газогенераторів і здійсненні газифікації в каналах, в яких вугілля взаємодіє з потоками дуття і газу.

Безшахтна підготовка полягає в бурінні з поверхні вертикальних, похилих і похило-горизонтальних свердловин, що розкривають вугільний пласт, а також у створенні по вугільному пласту газифікаційних каналів між свердловинами. Для створення у вугільному пласті реакційних каналів застосовується фільтраційна збійка або прожиг каналу, оснований на газопроникності вугільного пласта, гідравлічній збійці (гідравлічний розрив пласта) і похило-горизонтальному бурінні. Отримання горючого газу

здійснюється в каналах різної довжини в залежності від умов залягання вугільного пласта, шляхом нагнітання дуття в одні свердловини і відведення газу в інші.

Практичні роботи з ПГВ були проведені на бурому і кам'яному вугіллі, що залягає в різних гірничо-геологічних умовах. У різні періоди часу працювало до шести дослідно-промислових і промислових станцій ПГВ. Сьогодні діє дві з них - Ангренська в Середній Азії і Абінська в Кузбасі.

4.3. Системи пасивного сонячного енергозабезпечення.

У результаті термоядерних реакцій Сонце виділяє енергію. Потік її становить $3,8 \cdot 10^{26}$ Вт, з яких близько $1,7 \cdot 10^{17}$ Вт досягає Землі. Приблизно 7 % загальної сонячної радіації припадає на ультрафіолетове випромінювання, 47,3 знаходиться у спектрі видимого світла і 45,7 припадає на спектр інфрачервоного і теплового випромінювання.

Позаатмосферне сонячне випромінювання складає 1353 Вт/м^2 . Це абсолютне значення сонячної сталої протягом року змінюється на $\pm 3,4 \%$ У зв'язку із зміною відстані від Землі до Сонця.

У шарах атмосфери відбувається поглинання і розсіювання сонячного випромінювання. На середніх широтах за ясної погоди густина потоку випромінювання, одержуваного поверхнею, розміщеною перпендикулярно сонячним променям, у межах ± 4 год від полудня, становить у середньому 70 % сонячної сталої ($0,9 \dots 1,0 \text{ кВт/м}^2$).

Сонячне випромінювання, що досягає земної поверхні, складається з прямої та розсіяної (дифузійної) радіації. Сума прямої та розсіяної радіації, тобто повне сонячне випромінювання, одержане горизонтальною поверхнею, називають інсоляцією.

Пасивні системи сонячного опалення. Пасивна система сонячного опалення визначається простотою передусім з точки зору конструктивного вирішення і досить високою ефективністю, що здатна забезпечити в умовах України до 60 % навантаження опалювальної споруди.

Будівлю із пасивним використанням теплоти сонячної радіації можна визначити як побудовану згідно із кліматичними процесами даної місцевості, опалювальну природним шляхом безпосередньо через будівельні елементи, в яких максимально використовується енергія сонячного випромінювання для створення мікроклімату у приміщенні, що задовольняє вимоги норм проектування.

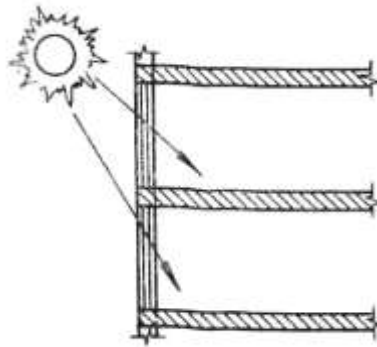


Рисунок 4.1. Схема будинку з відкритою сонячною системою опалення.

Пасивні геліосистеми умовно поділяють на *відкриті та закриті*.

У відкритих системах сонячне проміння проникає в опалюване приміщення через віконні прорізи (звичайно збільшених розмірів) і нагріває будівельні конструкції приміщення. Останні при цьому стають приймачами і акумуляторами теплоти. Такі системи дуже прості, проте мають недоліки, а саме: нестійкість теплового режиму; за сильної інсоляції створюється некомфортний стан у приміщенні; необхідність використання додаткової нагрівної системи.

У закритих системах потік сонячної радіації безпосередньо у приміщення не проникає, а поглинається приймачами сонячної радіації, що з'єднані із зовнішніми огорожуючими конструкціями. Така система виконує як функції основного конструктивного призначення (елементи споруди), так і функції сприйняття, акумулювання і транспортування теплоти.

Теплосприймальна конструкція, як правило, є й акумулятором теплоти.

Схема споруди з відкритою системою опалення зображена на рис. 4.1. У приміщенні такої будівлі висока нерівномірність добових температур. При

відсутності інсоляції має місце різке охолодження внутрішнього об'єму приміщення.

Схема закритої пасивної системи без циркуляції теплоносія наведена на рис. 4.2. У денний час потік сонячної радіації нагріває масивну стіну споруди, яка уночі віддає свою теплоту у внутрішній об'єм. Через відсутність циркуляції повітря у приміщенні (або недостатню циркуляцію) внутрішнє повітря у приміщенні прогрівається нерівномірно: біля стіни теплоприймача повітря має найбільшу температуру; при віддаленні від стіни його температура істотно падає.

Прикладом пасивної закритої системи з циркуляцією теплоносія через теплосприймальну стіну може бути система, котра наведена на рис. 4.3. Роль поглинача і акумулятора теплоти сонячної радіації відіграє обернена на південь масивна бетонна стіна будівлі, що пофарбована у темний колір і відокремлена від зовнішнього повітря одинарним, подвійним або потрійним застосуванням. У верхній та нижній частинах стіни є канали для циркуляції теплоносія (повітря приміщення).

Під дією сонячного випромінювання повітря, що знаходиться у прошарку між стіною і світлопроникним огородженням, нагрівається і надходить через верхні канали у приміщення. Це повітря заміщує прохолодне, що потрапляє із приміщення через нижні канали. Тим самим забезпечується природна циркуляція повітря, що забезпечує більш рівномірну температуру у приміщенні. Вночі акумульована і гінкою теплота передається приміщенню.

У жаркий період стіна Тромба - Мішеля є джерелом додаткової теплоти, що створює некомфортний стан для тих, хто перебуває у приміщенні. Тому доцільно на зовнішній поверхні стіни розміщувати теплову ізоляцію, а у міжскляному просторі - теплосприймальний екран з матеріалу із високою теплопровідністю, через який теплота буде вільно передаватися у простір між екраном і стіною. Теплосприймальний екран нагрівається до температури 100... 120 °C і внаслідок цього природна конвекція повітря стає

інтенсивною. Теплові втрати при цьому зводяться до мінімуму. У жаркий період теплова ізоляція на зовнішній поверхні стіни запобігає додатковому нагріванню приміщень.

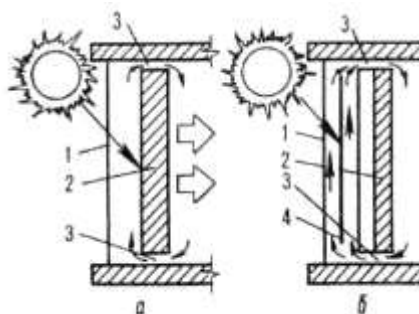


Рисунок 4.2. Схема будинку із закритою системою сонячного опалення без циркуляції теплоносія:

а - без екрана; б - із теплоприймальним екраном; 1 - скління; 2 - стіна будинку; 3 - циркуляційний канал; 4 - теплоприймальний канал

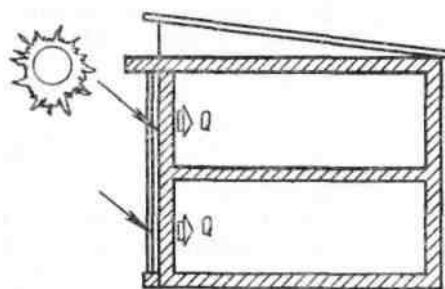


Рисунок 4.3. Схема будинку із закритою геліосистемою Тромба-Мішеля.

Заслуговує на увагу пропозиція Д. Шахурди. Простір між світлопроникним огороженням і стіною рекомендується виконати досить великим, щоб використати його для вирощування рослин. Стекла вкриті тонкою мембраною, у якої коефіцієнт пропускання сонячного проміння змінюється залежно від температури. За низької температури мембрана пропускає близько 95 % сонячної радіації, якщо остання падає на неї під прямим кутом. У теплому стані вона малопрозора. У результаті досягається великий процент пропускання сонячної теплоти у теплицю в сонячну, але холодну погоду, і значне зниження надходження сонячної теплоти у літню спеку.

Досвід експлуатації споруд із системою опалення Тромба-Мішеля засвідчив, що приплив теплоти від сонячної радіації на південну і східну

стіни у ясний день може покрити добові теплові втрати споруди. Пасивні геліонагрівники в основному компенсують теплові втрати споруди. Проте для цього необхідна достатня кількість ясних днів в опалювальний період. Практично пасивна система опалювання стає рентабельною за умови, що кількість ясних днів становить не менше 60...70 % загальної кількості днів опалювального періоду. У напів'ясні дні ефективність пасивної системи знижується на 50...60 % відносно номінальної, тобто в ясні дні, і внаслідок цього внесок системи у баланс енергозбереження незначний. У цьому випадку підтримання потрібного мікроклімату забезпечується або за допомогою традиційного джерела опалення (наприклад, електрочайника), або акумулятора теплоти.

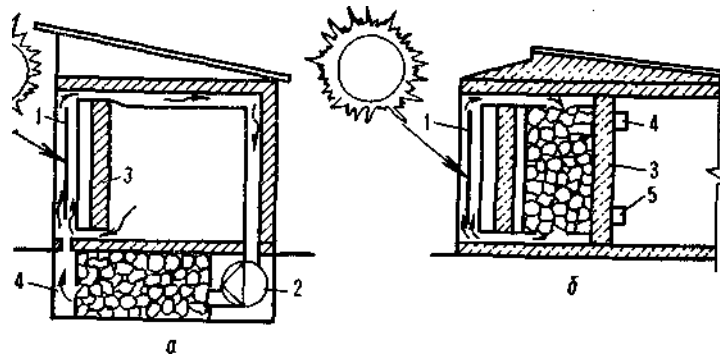


Рисунок 4.4. Розміщення акумуляторів у закритій сонячній системі опалення: а - акумулятор у ґрунті; б - акумулятор в об'ємі будівлі; 1 - теплоприймальний екран; 2 - вентилятор; 3 - стіна; 4, 5 - вхідний і вихідний канали.

Акумуляування теплоти значно підвищує ефективність і надійність пасивної системи. Акумулятори розміщують або у ґрунті (рис. 4.4, а), або в об'ємі споруди (4.4, б). У першому випадку потрібна наявність вентилятора для транспортування повітря. Розміщення акумулятора в об'ємі споруди дає більший ефект, оскільки у даному випадку теплота не втрачається у навколишнє середовище. Проте такий акумулятор погано вписується у споруду.

4.4. Технології отримання вітрових та геотермальних енергоносіїв.

Енергія вітру є однією з провідних серед відновлюваних джерел енергії. Вона невичерпна доки існує сонячна радіація та атмосфера. Важливою її перевагою є те, що її відносять до чистих з екологічної точки зору джерел енергії.

У деяких країнах світу (США, Швеція, Нідерланди та інших) вітроенергетика сьогодні дає не менше 10% всієї електроенергії. В Україні, особливо в південних і західних регіонах, є значні можливості використання енергії вітру.

Технічне рішення під час реалізації вітроелектричної станції (ВЕС) у спрощеному варіанті складається з вітроколеса, пов'язаного з валом ротора генератора, закріпленого на опорній башті. Однак, оскільки швидкість вітру непостійна, а приймальна напруга електричної мережі стабільна за частотою, структурна схема ускладнюється (рис. 4.5).



Рисунок 4.5. Структурна схема вітроелектричної станції

Вітроколесо обертається з відносно невеликою швидкістю, з'єднується з ротором генератора через редуктор, а генератор з'єднується з мережею через перетворювач частоти. Узгодження довільної швидкості обертання вітроколеса зі стабільною частотою струму електричної мережі здійснюється за допомогою ЕОМ, що включає інформаційну систему і систему автоматичного регулювання, які контролюють швидкість обертання вітроколеса, що забезпечує узгоджену роботу збудника, генератора і перетворювача частоти з параметрами електричної мережі. Вітчизняний та світовий досвід показує, що найбільш ефективно вітроенергетичні установки використовуються для водопостачання, теплопостачання та електропостачання автономних об'єктів, віддалених від централізованих систем водопостачання та електропостачання. Однак деякі незначні негативні екологічні наслідки може мати і застосування ВЕУ. До них відносять значний рівень шуму під час роботи ВЕУ, загибель птахів у разі потрапляння їх у площину працюючого вітроколеса й порушення ландшафту,

особливо в місцевостях, які мають культурно-історичне й рекреаційне значення.

ТЕМА 5. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ТА СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ.

5.4. Техніка безпеки. Нормативні документи.

5.4. Техніка безпеки. Нормативні документи.

НПАОП 0.00-1.69-13. Правила охорони праці під час експлуатації тепломеханічного обладнання електростанцій, теплових мереж і тепловикористовувальних установок

I. Сфера застосування

1.1. Ці Правила поширюються на суб'єктів господарювання, які здійснюють монтаж, налагодження, ремонт, реконструкцію та експлуатацію теплосилового, механічного, паливного і водопідготовчого обладнання, неелектричних пристроїв теплової автоматики і теплотехнічних вимірювань паливно-транспортних, котло-турбінних і хімічних цехів електростанцій, теплових мереж, теплових пунктів, тепловикористовувальних установок та опалювальних котелень.

1.2. Під час виконання зазначених робіт необхідно керуватись іншими норма-тивно-правовими актами, стандартами, нормами та інструкціями заводів - вироб-ників обладнання.

1.3. Ці Правила є обов'язковими для роботодавців і працівників під час експлуатації обладнання електростанцій, теплових мереж, теплових пунктів, теплови-користовувальних установок та опалювальних котелень.

II. Визначення термінів та скорочень

У цих Правилах терміни та скорочення вживаються у таких значеннях:

Безпечна відстань - найменша допустима відстань між працівником і джере-лом небезпеки, що необхідна для безпечного виконання робіт.

Бригада - двоє і більше працівників, включно з виконавцем робіт або праців-ником, який наглядає за безпечним виконанням робіт (наглядачем).

Виробничі працівники - працівники, робота яких безпосередньо пов'язана з виробничими процесами (експлуатація, ремонт, монтаж, налагоджування обладнання, транспортних засобів, споруд, будівель тощо) та їх забезпеченням.

Виробничі приміщення - замкнений простір у спеціально призначених будівлях і спорудах, де систематично (за змінами) або періодично (протягом робочого дня) здійснюється трудова діяльність працівників, пов'язана з участю в різних видах виробництва.

ГДК - граничнодопустима концентрація.

ГТУ - газотурбінна установка.

«Дозволяється», «Допускається», «Може» - означають, що ця вимога Правил застосовується винятково як вимушена.

Допуск - комплекс організаційно-технічних заходів, що здійснюються допуском, після виконання яких бригада має право стати до роботи на робочому місці, куди вона допускається за нарядом-допуском або розпорядженням.

Допускач - працівник, який допускає до роботи за нарядом-допуском.

Допуск первинний - допуск до роботи за нарядом-допуском або розпорядженням, що здійснюється вперше.

Допуск повторний - допуск на робоче місце, де раніше вже проводилась робота цією самою бригадою за цим нарядом.

КВП - контрольно-вимірювальні прилади.

Керівники, спеціалісти - керівники підприємств, установ і організацій (далі - підприємства), їх заступники, начальники цехів, відділів, служб, районів, дільниць, лабораторій та їх заступники, майстри, інженери, інші посадові особи, які організують роботу на тепломеханічному обладнанні електростанцій і теплових мереж та тепловикористовувальних установок.

Клапан вибуховий запобіжний - пристрій, що запобігає руйнуванню елементів котла, системи пилотування від тиску вище допустимого значення під час вибуху.

Механізми обертів - насоси, вентилятори, димососи, млини, живильники, дробарки тощо з електричним або іншим приводом.

Місця газонебезпечні - приміщення (споруди, ділянки тощо), у повітрі робо-чої зони яких можливе виділення шкідливих речовин понад граничнодопустиму концентрацію або утворення вибухонебезпечних сумішей, а також підземні споруди, що розташовані ближче 15 м від підземних газопроводів.

Наряд-допуск - складене на спеціальному бланку завдання на безпечне проведення роботи, що визначає її зміст, місце, час початку і закінчення, необхідні заходи безпеки, склад бригади і осіб, що відповідають за безпечне виконання робіт.

Небезпечна зона - простір, у якому є можливість впливу на працівника небезпечних та (або) шкідливих виробничих факторів.

Небезпечний вантаж - речовини, матеріали, вироби, відходи виробничої та іншої діяльності, які внаслідок їх властивостей за наявності певних факторів можуть під час перевезення спричинити вибух, пожежу, пошкодження технічних засобів, пристроїв, споруд та інших об'єктів, заподіяти матеріальні збитки та шкоду довкіллю, а також призвести до загибелі, травмування, отруєння людей, тварин, і які за міжнародними договорами, згода на обов'язковість яких надана Верховною Радою України, або за результатами випробувань в установленому порядку залежно від ступеня їх впливу на довкілля або людину віднесено до одного з класів небезпечних речовин.

НЗС - начальник зміни станції.

Оперативні (чергові) працівники - працівники, які перебувають на чергуванні в зміні і допущені до оперативного управління та (або) оперативних перемікань.

Оперативно-виробничі працівники - працівники, спеціально навчені і підготовлені для оперативного обслуговування в затвердженому обсязі закріпленого за ними обладнання.

Підготовка робочого місця - виконання технічних заходів щодо створення безпечних умов проведення робіт на робочому місці.

Підземні споруди - теплові камери, прохідні та напівпрохідні канали, колектори, тунелі і колодязі.

Постійне робоче місце - місце, на якому працівник перебуває більшу частину робочого часу (більше 50 % або більше двох годин безперервно). Якщо при цьому робота проводиться в різних пунктах робочої зони, постійним робочим місцем вважається вся робоча зона.

ППР - проект проведення робіт.

Робоча зона - простір висотою до 2 м над рівнем підлоги або площадки, на яких знаходяться місця постійного або тимчасового перебування працівників.

Робоче місце - місце постійного або тимчасового перебування працівника у процесі трудової діяльності, який виконує роботу на тепломеханічному обладнанні електростанцій і теплових мереж та тепловикористовувальних установок.

Розпорядження - письмове або усне завдання на безпечне виконання роботи, що визначає її зміст, місце і час, заходи безпеки (якщо вони потрібні), а також перелік працівників, яким доручено її виконувати.

ТАВ - тепла автоматика та вимірювання.

Теплова мережа - трубопроводи, призначені для транспортування пари або гарячої води до споживачів тепла і повернення конденсату пари та відпрацьованої гарячої води в системи теплопостачання.

Теплова установка - узагальнене поняття обладнання (пристроїв), призначеного для виробництва, перетворення та споживання теплової енергії.

Тепловий вузол - комплекс пристроїв, призначених для приєднання систем теплоспоживання до теплової мережі з метою керування ними та забезпечення від-повідного режиму теплоспоживання.

Тепловий пункт - спеціально обладнане приміщення, з якого здійснюється керування місцевими системами теплоспоживання (опаленням, гарячим водопо-стачанням, вентиляцією, технологічним навантаженням). У ньому відбувається трансформація параметрів теплоносія за видами споживання тепла, облік тепла тощо.

Тепловикористовувальна установка - комплекс обладнання (пристроїв), яке використовує теплову енергію гарячої (мережної) води чи пари для опалення, вен-тиляції, гарячого водопостачання, технологічних чи комунально-побутових потреб.

Тепломеханічне обладнання (ТМО) - теплосилове механічне та водопідгото-вче обладнання, а також пристрої теплової автоматики і теплотехнічних вимірю-вань, що встановлені на цьому обладнанні.

ТЕЦ - теплоелектроцентрально.

III. Загальні вимоги охорони праці

1. Роботодавець зобов'язаний створити службу охорони праці відповідно до вимог Типового положення про службу охорони праці, затвердженого наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 15 листопада 2004 року № 255, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 01 грудня 2004 року за № 1526/10125 (НПАОП 0.00-4.21-04).

2. Роботодавець зобов'язаний забезпечити безпечні умови праці в робочих зо-нах, де існує потенційна можливість виникнення вибухонебезпечного середовища під час виконання робіт, відповідно до Вимог до роботодавців стосовно забезпе-чення безпечного виконання робіт у потенційно вибухонебезпечних середовищах, затверджених наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 05 червня 2013 року № 317, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 26 червня 2013 року за № 1071/23603 (НПАОП 0.00-7.12-13).

3. Посадові особи та працівники повинні проходити навчання і перевірку знань з питань охорони праці відповідно до вимог Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань

охорони праці, затвердженого наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26 січня 2005 року № 15, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 15 лютого 2005 року за № 231/10511 (НПАОП 0.00-4.12-05).

4. Роботодавець з урахуванням специфіки виробництва зобов'язаний розробити та затвердити перелік робіт з підвищеною небезпекою відповідно до Переліку робіт з підвищеною небезпекою, затвердженого наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26 січня 2005 року № 15, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 15 лютого 2005 року за № 232/10512 (НПАОП 0.00-8.24-05).

5. Роботодавець зобов'язаний за власні кошти організувати проведення меди-чних оглядів працівників певних категорій під час прийняття на роботу (поперед-ній медичний огляд) та протягом трудової діяльності (періодичні медичні огляди) відповідно до вимог Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій, затвердженого наказом Міністерства охорони здоров'я України від 21 тра-вня 2007 року № 246, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 23 липня 2007 року за № 846/14113.

6. Роботодавець зобов'язаний розробити та затвердити перелік робіт, виконання яких потребує професійного добору, відповідно до Переліку робіт, де є пот-реба у професійному доборі, затвердженого наказом Міністерства охорони здо-ров'я України, Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 23 вересня 2004 року № 263/121, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 25 січня 2005 року за № 18/554.

7. Роботодавець зобов'язаний організувати розроблення і перегляд інструкцій з охорони праці, що діють на підприємстві, відповідно до Положення про розробку інструкцій з охорони праці, затвердженого наказом Комітету по нагляду за охоро-ною праці Міністерства праці та соціальної політики України від 29 січня 2008 року № 9, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 07 квітня 2008 року за № 226/2666 (НПАОП 0.00-4.15-08).

8. Роботодавець зобов'язаний забезпечити організацію проведення навчання і перевірки знань пожежної безпеки відповідно до чинного законодавства.

9. Роботодавець зобов'язаний організувати розслідування та вести облік не-щасних випадків, професійних захворювань і аварій відповідно до Порядку проведення розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 30 листопада 2011 року № 1232.

10. Роботодавець зобов'язаний забезпечити стан пожежної безпеки відповідно до вимог чинного законодавства.

11. Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря виробничих приміщень повинні відповідати вимогам чинного законодавства.

12. Роботодавець зобов'язаний забезпечити за свій рахунок придбання, комплектування, видачу та утримання засобів індивідуального захисту відповідно до нормативно-правових актів з охорони праці та колективного договору.

Порядок забезпечення засобами індивідуального захисту працівників здійснюється відповідно до вимог Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту, затвердженого наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 24 березня 2008 року № 53, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 21 травня 2008 року за № 446/15137 (НПАОП 0.00-4.01-08).

13. Для запобігання захопленню рухомими (обертovими) частинами механізмів працівники повинні працювати в спецодязі, застебнутому на всі гудзики. Засувувати рукава спецодягу і закачувати халяви чобіт заборонено.

Під час проведення робіт з отруйними і агресивними речовинами, під час очищення від золових наносів, розшлакування поверхонь нагрівання котлів, спускання золи з бункерів, а також під час проведення електрогазозварювальних, обмуровувальних, ізоляційних робіт, під час

розвантажування і навантажування сипких і курних матеріалів брюки надягати поверх чобіт (навипуск).

Перебуваючи у приміщеннях з діючим енергетичним обладнанням, у колодязях, камерах, каналах, тунелях, на будівельному майданчику і в ремонтній зоні, усі працівники повинні надягати захисні каски. Волосся необхідно підбирати під каску.

14. Під час виконання робіт на висоті, у тому числі верхолазних робіт, необхідно дотримуватись вимог Правил охорони праці під час виконання робіт на висоті, затверджених наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 27 березня 2007 року № 62, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 04 червня 2007 року за № 573/13840 (НПАОП 0.00-1.15-07).

21. Роботодавець зобов'язаний призначити відповідальним за безпечну експлуатацію та справний стан устаткування теплових установок і мереж підприємства технічного керівника (технічного директора, головного інженера, головного енергетика, технолога, механіка) або особу зі складу інженерно-технічних працівників (теплотехнічного, теплоенергетичного профілю), яка пройшла перевірку знань цих Правил та затверджена відповідним наказом (розпорядженням) по підприємству.

ТЕМА 6. КОТЕЛЬНІ УСТАНОВКИ

6.3. Котельні установки – основне базове джерело малої енергетики.

6.3. Котельні установки – основне базове джерело малої енергетики.

Для централізованого теплопостачання промисловості і житлово-комунального господарства, а також для покриття пікових теплових навантажень у теплофікаційних системах призначені районні котельні. Їх спорудження вимагає менших капіталовкладень і може бути проведено в більш короткий термін, чим спорудження ТЕЦ тієї ж теплової потужності.

Тому в багатьох випадках теплофікацію районів починають з будівництва районних котелень. До введення в роботу ТЕЦ ці котельні є основним джерелом теплопостачання району. Після введення ТЕЦ вони використовуються в якості пікових. Котельні споруджують на площадках ТЕЦ чи в районах теплоспоживання. В них встановлюють водогрійні котли або парові низького тиску (1,2-2,4 МПа).

При роботі на газі - кращі водогрійні котли, при роботі на мазуті чи на твердому паливі - парові котли низького тиску. У випадку відпустку теплоти у виді пари на технологічні нестатки і гаряче теплопостачання варто порівнювати варіанти установки в котельні як парових, так і водогрійних котлів. При невеликій відпустці теплоти у виді пари виробництву і на власні нестатки котельні можлива установка комбінованих пароводогрійних котлів для покриття переважно теплофікаційного навантаження. Тип котлів у котельні вибирається на основі техніко-економічних розрахунків з урахуванням факторів надійності їхньої роботи, складності експлуатації, величини капіталовкладень і витрат виробництва.

Разом з тим, споживання теплової енергії в Україні характеризується такими особливостями.

По-перше, існуючий житловий фонд України і нове будівництво характеризуються великою неоднорідністю, що позначається на умовах забезпечення приватних та комунальних об'єктів тепловою й електричною енергією. Питання ощадливого й ефективного використання цих видів енергії особливо актуальні для України, що споживає імпортоване паливо.

По-друге, промислові підприємства різнопланові щодо випуску продукції, особливостей виробництва і розміщення сировини. У багатьох випадках це не дозволяє використовувати на них електроенергію і теплоту, отриману централізованим шляхом на ТЕЦ. Крім того, якщо підприємство значно віддалено від ТЕЦ, то стає економічно не вигідним транспортування до нього гарячого теплоносія.

По-третє, багато ТЕЦ України відпрацювали свій ресурс, підлягають глибокому відбудовному ремонту і є основним джерелом забруднення атмосфери. Крім того, більшість розподільних теплових мереж знаходяться в поганому технічному стані і призводить до значних втрат теплоти. Тому питання реалізації децентралізованого енергозабезпечення як житлового фонду, так і промислових об'єктів є актуальним.

Децентралізоване виробництво електроенергії і теплоти підвищує загальну ефективність виробництва за рахунок таких чинників: усунення втрат під час транспортування теплоносія; регулювання теплового навантаження за часом доби або порою року залежно від реальної потреби; застосування високоефективних котельних установок, що з'явилися на ринку в останні декілька років; утилізації низькопотенційного тепла в когенераційних установках. Іноді установки децентралізованого виробництва енергоресурсів можуть замінити вугільні і мазутні котельні, помітно знижуючи при цьому викиди оксидів азоту й інших забруднювачів.

Розрізняють такі системи децентралізованого опалення: *індивідуальні* з установкою настінних або підлогових котлів невеликої потужності (8...30 кВт) у кожній окремій квартирі, що являють собою граничний ступінь децентралізації опалення; *домові* з установкою котлів середньої потужності (150...1000 кВт) на горищних або в прибудованих до будинків приміщеннях; *блокові* районні котельні, системи опалення промислових споруд інфрачервоними випромінювачами, а також когенераційні установки.

Підходи до проектування енергетичних систем різні для кожного конкретного об'єкта і залежать від багатьох чинників: типу об'єкта, наявності в регіоні центральних систем енергопостачання, об'ємів споживання електричної і теплової енергії та їх співвідношення, можливості постачання визначеного виду палива, цін на устаткування й енергоносії. З порівняння капітальних витрат на створення систем централізованого опалення і будівництво блокових районних котельних з системою індивідуального

поквартирного опалення найбільш капіталоємними виявляються блокові районні котельні. Якщо вважати їх вартість за 100 %, то вартість централізованого опалення становитиме 86 %, а систем індивідуального опалення – 47 %.

Слід також урахувати наявність витрат на утримання обслуговуючого персоналу систем центрального і блочного опалення, наявність складної системи контролю, обліку і розподілу витрат порівняно з безвитратною експлуатацією систем індивідуального опалення. При цьому відпадає проблема обліку теплової енергії, враховують тільки витрату газу. Залежно від місцевих тарифів економія коштів при квартирному опаленні може досягати 40 %.

Індивідуальне опалення. Системи індивідуального поквартирного опалення широко застосовують в Україні для опалення приватних будинків у сільській місцевості й у передмісті.

Котли можуть бути як підлогові, так і настінні, невеликих розмірів. Вони складаються з трьох блоків: власне котла з безшумним циркуляційним насосом, розширювального бачка і контуру гарячого водопостачання. Безпеку роботи забезпечують декілька систем контролю, які дублюють одна одну.

Установлену потужність індивідуального котла вибирають з розрахунку приблизно 1 кВт на 10 м² опалювальної площі, що відповідає витраті природного газу 0,1 м³/г. В Україні настінні котли не випускають.

Близько 100 підприємств в Україні виробляють підлогові котли потужністю від 8 до 100 кВт. Як паливо в них найчастіше використовують природний газ або рідке чи тверде паливо. Безпека роботи котлів підтримується автоматично. Деякі конструкції котлів оснащено складною системою регулювання співвідношення *газ – повітря*. Котли можуть мати вбудований або окремо розміщений бойлер для гарячого водопостачання.

Котли імпортного виробництва відрізняються поліпшеним дизайном, а деякі з них мають сучасні системи регулювання, зокрема програмне

забезпечення. Так, системи *Bosch Thermotechnic* дозволяють управляти котлами залежно від погодних умов і програмувати температуру в помешканні на декілька місяців уперед, що дозволяє заощаджувати до 20 % газу за опалювальний сезон.

Будинкові котельні. Ще один варіант децентралізації – опалення окремих будинків або під'їздів багатоквартирних будинків. Для цієї мети використовують котли середньої потужності (150...1000 кВт) або блоки котлів меншої потужності.

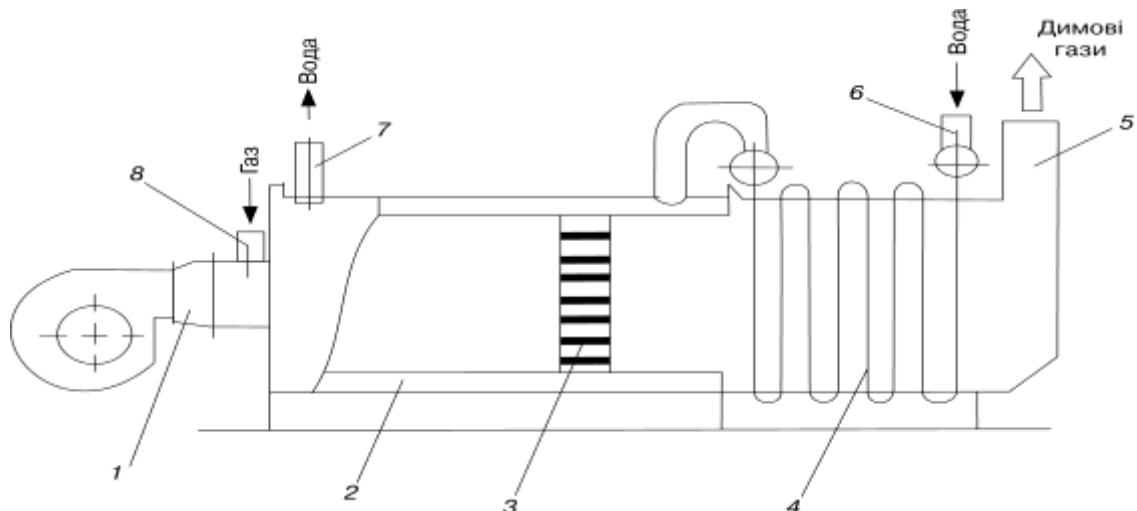


Рисунок 6.3 - Агрегат опалювальний серії АОМ (розробка Інституту газу Національної академії наук України): 1 – блочний газовий пальник; 2 – водоохолоджувальна топкова камера; 3 – проміжний випромінювач; 4 – водотрубний конвективний пучок; 5 – вихлопний патрубок; 6 – патрубок для входу води; 7 – патрубок для виходу нагрітої води; 8 – газовий патрубок

Характерною властивістю котлів цієї серії (рис. 6.3) є інтенсифікація теплообміну в радіаційній зоні за рахунок установки вторинних випромінювачів з жаростійких керамічних елементів і застосування в конвективній зоні багатоходових пучків з біметалічних оребрених труб. Це істотно знижує масогабаритні характеристики котлів. Котли мають вертикальне і горизонтальне виконання, що дає проектантам свободу вибору розміщення котлів на дахах або в прибудованих до будинків спорудах.

Ефективність котлів підвищується із застосуванням комбінованих поверхнево-контактних водогрійних котлів серії КАОМ (рис. 6. 4).

Такі агрегати поєднують нагрів води через трубчасті поверхні топкової камери з прямим контактом зворотної води і гарячими продуктами згорання. За принципом дії вони аналогічні конденсаційним котлам. Відмінністю є те, що конденсація пари з продуктів згорання відбувається в контактній насадці.

Під час спалювання 1 кг природного газу в котлі утворюється більше 2 кг води за рахунок окиснювання водню метану. Точка роси для продуктів згорання природного газу з теоретичного співвідношення *газ – повітря* становить 53 °С. При температурі зворотної сітьової води близько 50 °С відбувається конденсація водяної пари з продуктів згорання і тим самим реалізація вищої теплоти згорання палива.

Різниця між нижчою і вищою теплотою згорання становить приблизно 11 %. Це потенціал підвищення ефективності котлів, наданий самою природою. ККД конденсаційних (контактних) установок за вищою теплотою згорання дорівнює 94–96 %.

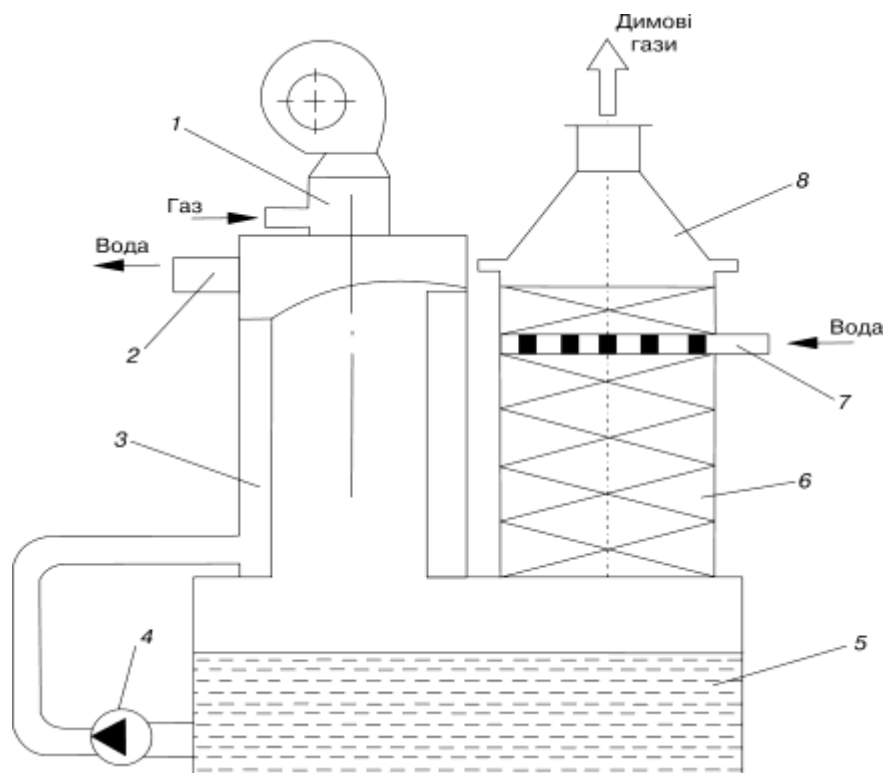
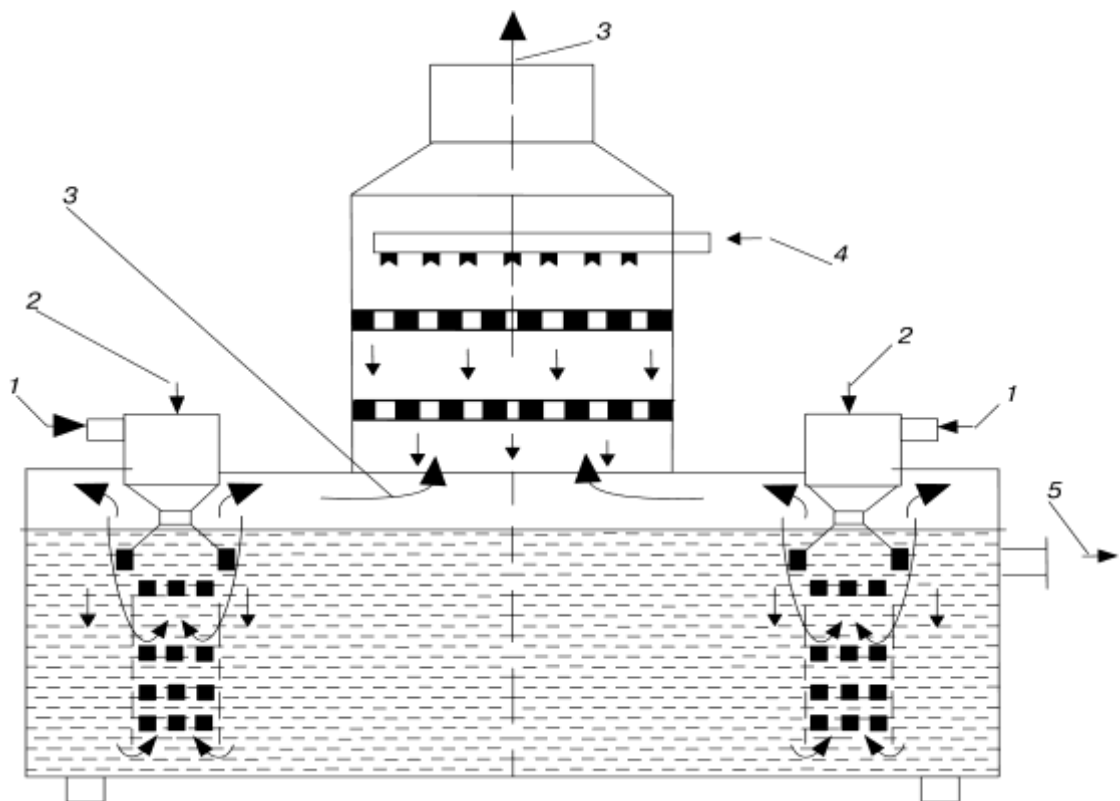


Рисунок 6.4 - Контактний водогрійний агрегат КАОМ (розробка Інституту газу Національної академії наук України):

- 1 – блочний газовий пальник; 2 – патрубок нагрітої води;
3 – водоохолоджувальна топкова камера; 4 – насос циркуляційний;
5 – бак водяний; 6 – контактна камера; 7 – патрубок подачі води;
8 – вихлопний патрубок**

Водонагрівники КАОМ можна також використовувати для групового опалення в системах, обладнаних бойлерними, тоді, коли в систему треба подавати воду під тиском при температурі понад 100 °С.

Для опалення комплексів житлових і виробничих приміщень можна використовувати установки прямого контактного нагріву і контактно-поверхневі установки. У них також використовують вищу теплоту згорання. Їх перевагою є те, що в них вода нагрівається під атмосферним тиском, тому ці установки не підлягають реєстрації у котлонагляді. Принципові схеми контактних і контактно-поверхневих нагрівників наведено на рис. 6.5, 6.6.



**Рисунок 6.5 - Принципова схема контактного нагрівника зануреного типу (розробка Інституту газу Національної академії наук України):
1 – повітря; 2 – паливний газ; 3 – продукти згорання; 4 – зворотна вода;
5 – гаряча вода**

У контактному нагрівнику газ спалюється безпосередньо під шаром води; водяна пара з продуктів згорання конденсується послідовно у шарі води і в контактному теплообміннику, установленому над водною поверхнею. У контактно-поверхневому нагрівнику спалювання газу відбувається в камері згорання, зануреній у шар води. Основний теплообмін відбувається

контактним способом у насадці, де вода нагрівається приблизно до 85 °С, а додатковий нагрів відбувається через стінки камери згорання. Такі нагрівники забезпечують підігрів води до 90...95 °С. ККД таких нагрівників, розрахований за вищою теплотою згорання, знаходиться в межах 92–96 %. Вони досить компактні; модуль потужністю 1 МВт потребує площі $2,2 \times 2,2 \text{ м}^2$, висота його 3 м.

У районних котельнях застосовують котли більшої потужності, які поділяють на водо- і жаротрубні. Найчастіше використовують водотрубні котли. Котли цього типу переважно застосовують для одержання пари або гарячої води високого тиску і великої встановленої потужності. Жаротрубні котли використовують для тисків, менших від 2 МПа, і потужностей до 1...7 МВт.

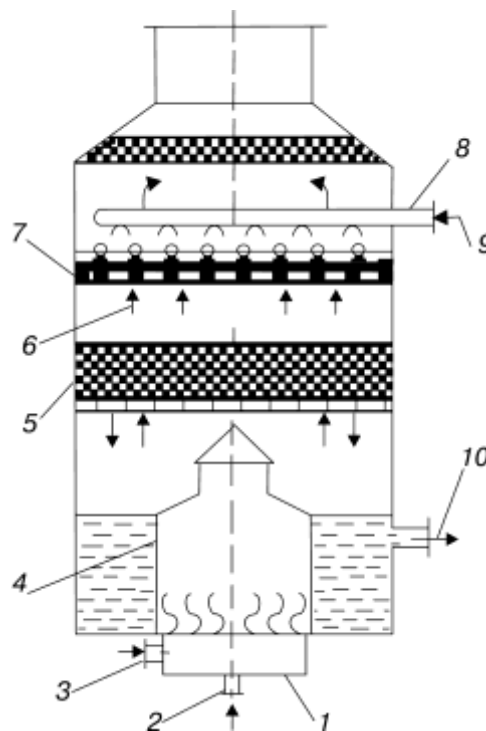


Рисунок 6.7 - Принципова схема контактнo-поверхневого нагрівача:
1 – пальник; 2 – паливний газ; 3 – повітря; 4 – камера згорання; 5 –
контактна насадка; 6 – продукти згорання; 7 – пінна пластина;
8 – розбризкувач; 9 – зворотна вода; 10 – гаряча вода

В умовах країн Центральної і Східної Європи економічна границя відстані подачі гарячої води в районних теплових мережах становить 7 км.

Когенерація є одним з ефективних методів енергопостачання будинків і споруд за рахунок спільного виробництва електричної і теплової енергії.

Вона полягає у використанні газових двигунів внутрішнього згорання або газових турбін для приводу електрогенераторів з одночасним використанням теплоти відпрацьованих газів, води й охолоджувачів масла для комунальних і промислових споживачів. При цьому максимально використовують хімічну енергію палива, знижується рівень забруднення навколишнього середовища, зменшуються втрати під час передачі енергії і підвищується рівень надійності енергозабезпечення споживачів завдяки близькому розміщенню джерел енергоресурсів.

Когенерація все більше поширюється в європейських країнах. Модульні когенераційні установки на природному газі споруджують найчастіше для об'єктів суспільного користування (великих офісних будинків, шкіл, лікарень тощо) і для районних котелень.

Теплофікаційний ККД когенераційного модуля знаходиться в межах 85-90 %. Відношення виробленої електричної енергії до теплової становить 0,6...0,7 і залежить від типу модуля. Недоліком когенераційних модулів є вузькі межі регулювання (приблизно 70-100 % від номінальної потужності), що обмежує їх застосування.

Когенераційні установки вигідно застосовувати на об'єктах, де потреба в електроенергії і теплоті постійна і знаходиться в співвідношенні 3:1.

ТЕМА 7. ХАРАКТЕРИСТИКА ТВЕРДОПАЛИВНИХ КОТЛІВ.

7.4. Економічні аспекти використання твердопаливних котлів в Україні, на прикладі котла на деревині у школі

7.4. Економічні аспекти використання твердопаливних котлів в Україні, на прикладі котла на деревині у школі.

Питання економічних аспектів використання котлів на твердому паливі є важливим на території України. Щоб це показати розглянемо котельню сільської школи із середньостатистичними даними. Сільська школа – є типовим об'єктом бюджетного сектору України. Вона потребує заміни котлів не тільки з економічних причин, але і для забезпечення необхідного

температурного режиму у приміщенні та надійності теплопостачання. Потреби у тепловій енергії школи наведено в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Потреби школи у теплової енергії

Параметр	Одиниця вимірювання	Значення
Об'єм приміщень будівлі	м ³	12 500
Рік будівництва	—	1988
Число учнів та викладачів	—	139
Максимальна теплове навантаження (опалення)	кВт	288
Річна потреба теплової енергії	Гкал/МВтгод	438,7 / 510
Максимальна теплове навантаження (гаряче водопостачання)	кВт	1,414
Річна потреба у гарячій воді	Гкал/МВтгод	4,9 / 5,7

Технічний стан існуючих котлів у школах є незадовільним, тому вони потребують заміни. Можливим є два варіанти:

- а) встановлення нового котла, подібного до існуючого, який буде працювати на торфі та дровах;
- б) встановлення нового автоматизованого біомасового котла, який буде працювати на тирсі.

Низька ціна за тирсу (як паливо) дозволяє встановити більш дорогий біомасовий котел. Паливні характеристики тирси наведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Паливні характеристики тирси

Характеристики палива	Одиниця вимірювання	Значення
Щільність	кг/ м ³	900
Насипна щільність	кг/ м ³	275
Вологовміст	%	45
Нижча теплотворна здатність	МДж/кг	9,352
Енергетична щільність, волога тирса	МВтгод/ м ³	2,338
Енергетична щільність, волога тирса	МВтгод/т	2,598
Енергетична щільність, волога тирса, насипний м ³	МВтгод/м ³	0,714

Неподалік сіл зазвичай знаходяться деревообробні підприємства, які мають відходи виробництва у виді тирси у великій кількості. Таким чином, вважається доцільним розробити проект по заміні існуючих котлів. Проект дозволить вирішити одночасно три проблеми:

а) підвищення надійності системи опалення школи та зменшення вірогідності аварійних ситуацій, наслідками яких є відсутність опалення впродовж опалювального сезону;

б) забезпечення температурного режиму у будівлі, який відповідає діючим стандартам та нормам;

в) використання деревинних відходів замість торфу, що зменшує витрати на паливо.

Беручи до уваги потреби у теплової енергії школи, потужність котла повинна бути 300 кВт. Для варіанту біомасового котла основні роботи та обладнання виглядатимуть наступним чином:

а) автоматизований котел потужністю 300кВт, який працює на тирсі;

б) система підготовки води;

в) допоміжне обладнання;

г) реконструкція системи опалення;

д) відновлення котельні.

Загальна сума інвестицій у біомасову котельню та твердопаливний котел становлять відповідно 36000 євро та 25000 євро. Використання біомасового котла, який є більш дорогим на 11000 євро дає переваги у вигляді заощаджень, які представлені у таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Заощадження за 8 років від використання біомасового котла.

Рік	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Загальні заощадження, євро	2238	2392	2553	2718	2891	3071	3259	3456

Школи в Україні знаходяться у підпорядкуванні та на утриманні Відділів освіти Районних державних адміністрацій (РДА) та фінансуються з

відповідних обласних бюджетів. Нажаль, успішне здійснення протягом одного року заходів з енергозбереження або переходу на інші місцеві види палива зазвичай призводить до зменшення відповідних сум бюджетного фінансування вже наступного року. В той же час, інвестиції за подібними проектами могли б відшкодовуватися разовими цільовими платежами за умови передбачення їх в рамках субвенцій державного бюджету місцевим бюджетам. В такому разі школа могла б з власних обігових коштів інвестувати виконання таких проектів та їх пуск в експлуатацію принаймні на один рік раніше, ніж відповідний замовник міг би це зробити за кошти державного бюджету.

ТЕМА 8. ГАЗОГЕНЕРАТОРИ.

8.1. Класифікація газогенераторів і їх конструкції.

8.2. Технологічні схеми газогенераторних установок.

8.3. Високоефективні способи газифікації твердого палива.

8.1. Класифікація газогенераторів і їх конструкції

Газогенератори класифікуються: за родом процесу - газогенератори для отримання повітряного газу, водяного газу, змішаного газу; за характером шару - газогенератори з щільним шаром, зі зваженим шаром, «киплячим» шаром; по тиску, при якому протікає газогенераторний процес, - атмосферні газогенератори, газогенератори високого тиску; за ступенем механізації процесу - немеханізовані газогенератори, напівмеханізовані і механізовані.

Зважений шар палива організується в газогенераторах, призначених для газифікації дрібнозернистого палива. Такий шар розташовується в конічній частині газогенератора, причому великі частинки повинні витати у вузькій частині конуса, а дрібні - у широкій. Таким чином, частки сепаруються в шарі. В насправді спостерігається поступально-зворотний рух частинок, тобто відбувається деяке перемішування шару.

«Киплячий» шар спостерігається при швидкостях потоку, що виходять за межі стійкості щільного шару. «Кипіння» пов'язане з розсуненням частинок палива, що збільшує обсяг шару в 1,5-3,0 рази. Рух частинок палива (зазвичай дрібних - від 2 до 12 мм) нагадує рух киплячої рідини, чому такий шар і отримав назву «киплячого».

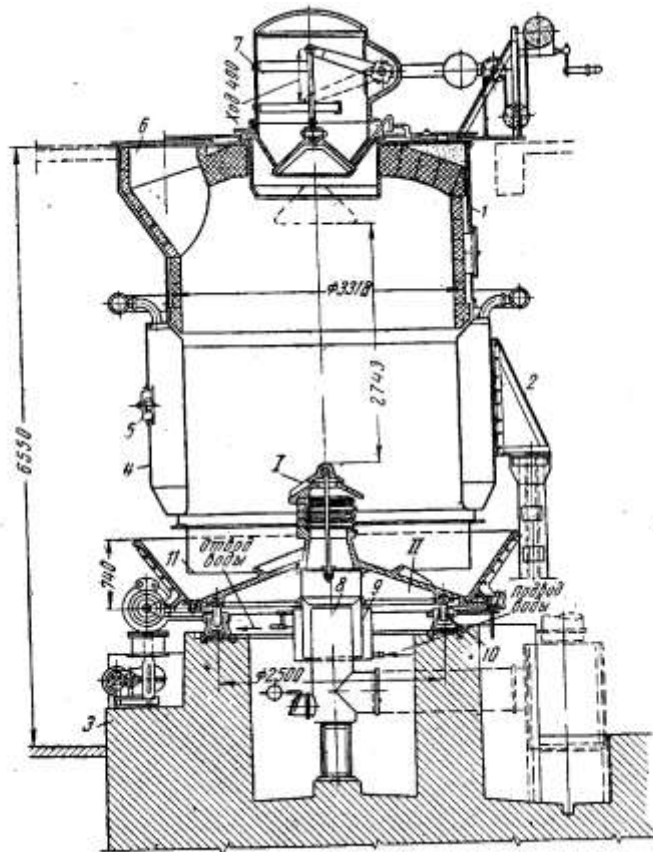


Рисунок 8.1. Напівмеханізований газогенератор.

У напівмеханізованих газогенераторах обертаються колосникові решітки здійснюють рівномірне і безперервне видалення шлаків без порушення процесу газоутворення. Зважаючи на це, питома продуктивність і загальна теплова потужність газогенераторів з механізованим видаленням шлаків практично в 1,5-2,5 рази більше газогенераторів з ручним обслуговуванням (при інших рівних умовах). Якість газу і к. к. д. таких газогенераторів також значно вище.

Газогенератор з механізованим золовидаленням характеризується наявністю чавунної колосникових ґрат, укріплених на чавунній чаші (піддоні), яка приводиться в обертання черв'ячним механізмом. Прикладом

такої конструкції може служити газогенератор Діпромеца (рис. 8.2). Піддон II обертається на опорних роликах 10 (в інших газогенераторах обертання піддону іноді здійснюється на сталевих кулях). Повільне обертання колосникових грат I (0,2-2 об/год) забезпечує автоматичну ломку шлаку і його видалення з чаші через гідравлічний затвор, для чого служить шлакосбрасувач. Газогенератор забезпечений пароводяною сорочкою 4, що виключає налипання шлаків до внутрішньої поверхні шахти.

Пароводяна сорочка з'єднана трубопроводами з парозбірником. Вода кипить в сорочці, і утворюються пухирці пари, що піднімаються вгору і сепаруються в парозбірнику. Таким чином, пароводяна сорочка, зв'язана з парозбірником, по суті являє собою паровий котел з природною циркуляцією, вбудований в газогенератор.

Пар тиском 1,2-1,6 атм., виробляється в сорочці, використовується для зволоження дуттєвого повітря газогенератора.

Пароводяна сорочка живиться зм'якшеною водою від загальнозаводської хімічної водоочистки, призначеної для підготовки живильної води парових котлів. Пароводяна сорочка забезпечена контрольними лючками 5. Завантаження палива, його шуровка і пиківка виконуються вручну, внаслідок чого, незважаючи на механізоване шлаковидалення, генератор називається напівмеханізованим.

Шахта газогенератора, виготовлена за допомогою зварювання з сталевих аркушів 1, спирається на лапи 2, встановлені на фундаменті 3. Верхня частина шихти і кришка футеровані вогнетривкою цеглою. Відвід газу здійснюється через патрубок 6 в кришці. Завантаження палива здійснюється за допомогою завантажувальної коробки 7, забезпеченою подвійним затвором. Пароповітряна суміш подається під колосникові грати за допомогою центральної труби 8 з гідравлічним затвором 9.

Механізовані генератори. У конструкції Діпромеца механізовано тільки шлакоудалення. Однак при обслуговуванні газогенераторів необхідно виробляти та інші трудомісткі роботи - шуровку, розпушування і

вирівнювання верхнього шару палива. Є газогенератори, в яких ці операції механізовані. На рис. 8.2 зображений такий газогенератор.

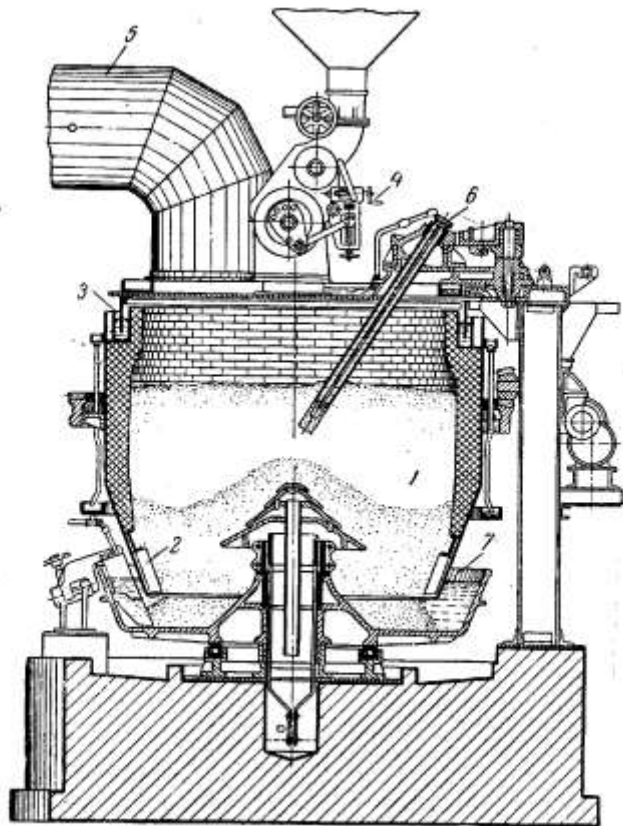


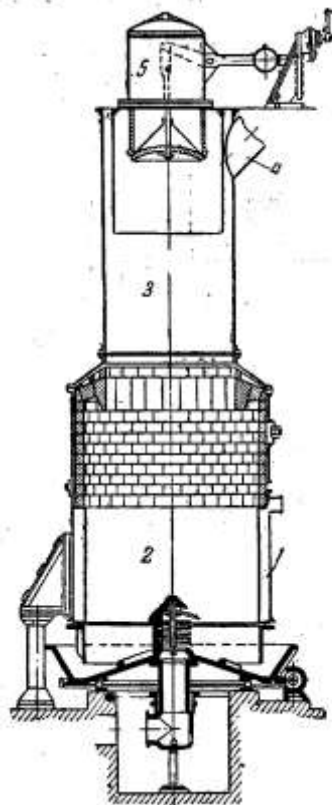
Рисунок 8.2. Механізований газогенератор. 1- шахта; 2-сталеві лопатки; 3- гідравлічний затвор; 4-завантажувальний пристрій; 5- газопровід; 6 - шуровочний пристрій; 7-чаша

Паливо в нього завантажується безперервно механічним живильником 4. Для розрівнювання і розпушування верхнього шару палива є хитний механічний лом 6, підкорює своїм кінцем поверхню шару. Так як при цьому відбувається також і обертання шахти, то кінець лому, хитаючись, розпушує всю поверхню шару. Внизу газогенератора є обертовий піддон 7 з колосниковими ґратами. Він може обертатися разом із шахтою, однак можна обертати шахту і загальмувати піддон. Крім описаного газогенератора, є механізовані газогенератори з механічними граблями для шуровки і розрівнювання шару палива та ін.

Газогенератори для палив з високою вологістю. Деревину і торф з вологістю, більшою ніж 30 - 35%, газифікувати в описаних раніше газогенераторах не можна. Внаслідок недостатньої висоти шахти дуже вологе

паливо не встигає достатньо добре підготуватися ,у верхній частині газогенератора і опускається в зону газифікації, маючи велику кількість летких речовин і навіть вологи. Від цього температура в зоні відновлення знижується, що порушує правильний режим роботи газогенератора. Якість газу виявляється низьким також і за рахунок того, що леткі речовини, потрапляючи в зону газифікації, розкладаються. Смола з легкої перетворюється на важку, в'язку, забруднену сажею.

Для збільшення тривалості перебування вологого палива в зонах підсушування і сухої перегонки влаштовують-газогенератори з високою шахтою (рис. 8.3). Верхня, більш вузька частина шахти називається швель-шахтою. Загальна висота шару палива становить близько 7 м. У таких газогенераторах можна газифікувати паливо з вологістю до 45-50%. Газ при цьому виходить хорошої якості, первинна смола не розкладається, і з неї можна отримувати ряд цінних речовин (мастило, легке пальне, феноли та ін).



**Рисунок 8.3. Газогенератор для палива з високою вологістю.
1-пароводяна сорочка; 2- шахта; 3- швель-шахта; 4-газопровід;
5-завантажувальний пристрій**

8.2. Технологічні схеми газогенераторних установок

Схема отримання гарячого газу. Найпростіша технологічна схема отримання гарячого генераторного газу представлена на рис. 8.4; в ній здійснюється сухе очищення газу лише від виносу і пилу в пылеуловителях, що обумовлює невелику початкову вартість будівництва і меншу витрату матеріалів для виготовлення обладнання

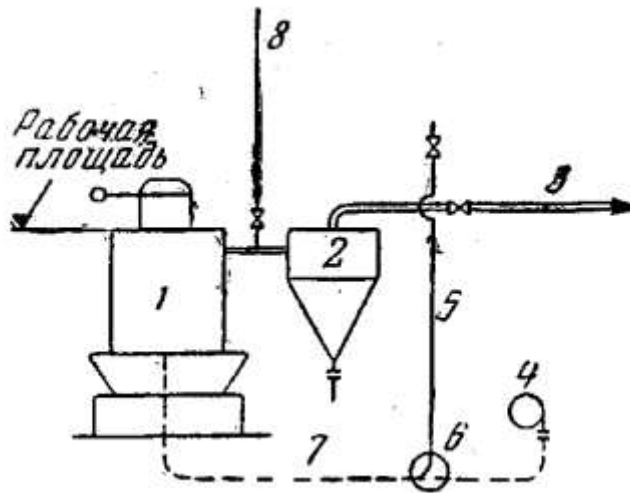


Рисунок 8.4. Промислова схема отримання горючого газу.
1-газогенератор; 2-циклон; 3-газопровід; 4-повітрядувка;
5- паропровід; 6-змішувач; 7-пароводяна суміш;
8-свічка в атмосферу.

В тепловому відношенні гарячий газ вигідніше холодного, так як при його споживанні є можливість використовувати фізичне тепло газу. Крім того, гарячий газ несе з собою велику кількість конденсуючихся горючих речовин (смоли, скипидару, фенолів тощо), які збільшують теплову цінність газу.

Недоліком схеми гарячого газу є обмеженість радіусу подачі газу споживачеві, так як при великій довжині газопроводів можливість використання фізичного тепла газу практично відсутня.

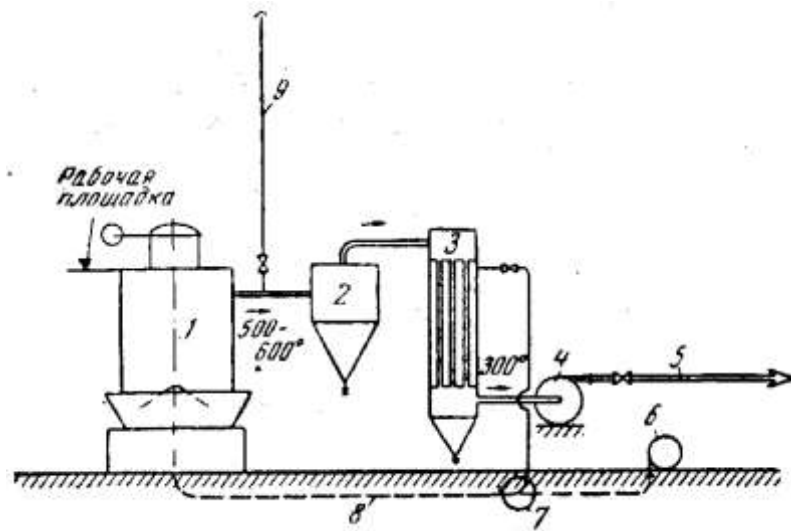
Крім того, гарячий газ подається в мережу при невеликому тиску (20 - 50 мм вод. ст.), а отже, і з невеликими швидкостями (4-8 м/с); тому газопроводи виходять громіздкими, і для їх виготовлення потрібно велику кількість металу.

Газопроводи забруднюються смолою і пилом через конденсації різних складових газу при його охолодженні. Газогенераторні станції гарячого газу працюють раціонально при розташуванні їх у безпосередній близькості «споживачеві».

На рис. 5 показана принципова схема установки газогенераторної станції гарячого газу з газодувкою, що служить для підвищення тиску газу в газопроводі. В цілях забезпечення надійності роботи газодувки температуру газу перед нею слід знижувати до 300° С (шляхом установки трубчастого котла-утилізатора, пар якого може бути використаний для газифікації або на боці). Цю схему можливо здійснити лише при паливах, що не виділяють смолу, до яких відносяться донецькі антрацити і деякі сорти пісного вугілля, так як при смолистих вологих паливі (дрова, торф, буре вугілля) газопроводи і поверхня котла-утилізатора будуть забруднюватися смолою.

Схема отримання холодного газу з безсмольних палив. Як сказано вище, практично безсмольний газ може бути отриманий при газифікації антрациту і коксика або палив, дають смолу при газифікації їх у звернених або двухзонних газогенераторах. Якщо в газі міститься дуже мало смоли, то завдання обробки газу найчастіше зводиться до очищення його від пилу, охолодження в цілях звільнення від вологи і компресії до необхідного тиску. Найбільш раціональною є схема: газогенератор - пыловідокремлювач - котел-утилізатор - скруббер - газодувки - каплеуловлювач. Ця схема виходить шляхом додавання в схему, зображену на рис. 8.5, скруббера між котлом-утилізатором і газодувкою і краплевловлювача після газодувки. Вода, необхідна для охолодження, подається в стояки-охолоджувачі і скрубери насосами. Брудна вода освітлюється і відводиться у водойми або в каналізацію. У тих випадках, коли витрата води велика, а подача свіжої води обмежена, влаштовується оборотний (замкнутий) цикл води, як це показано на рис.8.5. Відпрацьована брудна вода збирається у відстійниках, де освітлюється і частково охолоджується. Освітлена вода забирається насосами і подається для охолодження в градирню або в басейн з разбрызгивающими

соплами, після чого за допомогою насоса вона знову подається в стояки і скрубери. Внаслідок втрат води з циклу з-за її випаровування в атмосферу і витоку необхідна добавка в систему свіжої води. Шлам, що утворюється у відстійниках і інших збірниках брудної води, періодично видаляється. Якщо газ повинен бути очищений від сірководню, споруджується спеціальна установка для сіркоочистки.



**Рисунок 8.5. Схема отримання гарячого газу з газодувкою
1-газогенератор; 2-циклон; 3-котел-утилізатор; 4-газодувка;
5-газопровід; 6-повітрядувка; 7-змішувач; 8-пароводяна суміш;
9-свічка в атмосфері.**

Схема без використання фізичного тепла газу показана на рис. 8.6. Газ з газогенератора надходить до стояка-охолоджувача (грубого очисника), в якому промиванням водою з газу видаляється віднесення і пил. Далі газ надходить в скрубери, де остаточно охолоджується і звільняється від вологи. Зазвичай газ охолоджують до температури 25-45° С. З скрубера газ проходить через каплеуловлювач, вловлює зважені крапельки води, засмоктується газодувкою і нагнітається в газопровід, що йде до споживача. При необхідності тонкого очищення газу від пилу після газодувки встановлюється електрофільтр.

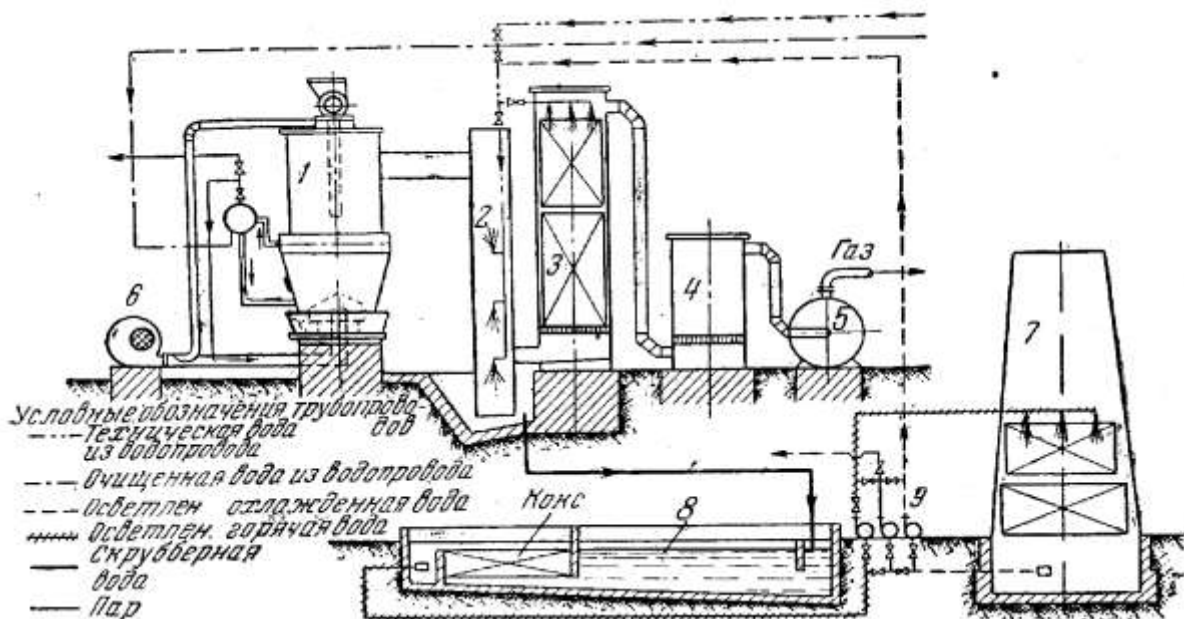


Рисунок 8.6. Схема отримання холодного газу із безсмольних палив
1-газогенератор; 2-стояк-охолоджувач; 3-скруббер;
4-краплевловлювач; 5-газодувка; 6-вентилятор; 7-градирня;
8-фільтр-відстійник; 9-насоси для води

Схема отримання холодного газу при смолистих паливах. Рис. 8.7

Якщо газ по виході з газогенераторів містить значну кількість смоли, то попередня технологічна схема нераціональна, оскільки провести в ній досить повне уловлювання великої кількості смоли і відокремити її від води досить важко.

Тому при газифікації палив, дають смолу, застосовується схема, зображена на рис. 6-10. Відмінною особливістю її є наявність спеціальної апаратури очищення газу від смоли, а саме електрофільтрів або дезінтеграторів.

Для найбільш ефективної роботи, смолоочистителей температура газу перед ними повинна бути на 10-15° С вище точки роси для газу, щоб запобігти конденсації на них вологи і все ж забезпечити достатню конденсації смоли і малий обсяг газу.

Газ з газогенераторів направляється в стояки-охолоджувачі, у яких при промиванні водою температура його знижується до 80-90°С.

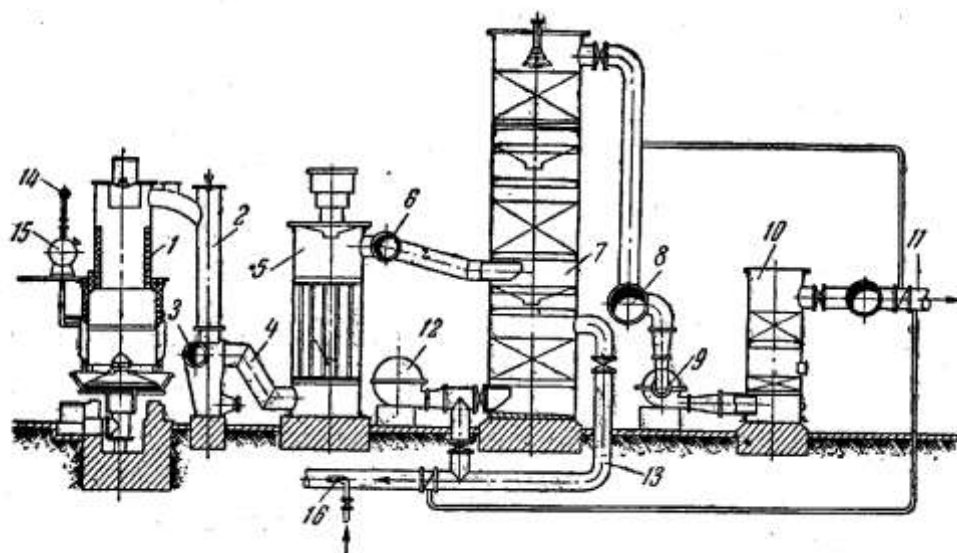


Рисунок 8.7. Схема отримання холодного газу при смолистих паливах.
1-газогенератор; 2-стояк-охолоджувач; 3-колектор вологого газу;
4- газопровід до електричних фільтрів; 5-електрофільтр;
6-газопровід до скрубберів; 7- трьохступінчастий скруббер;
8-колектор очищеного газу; газодувка; 9-газодувка;
10-краплевловлювач; 11-газопровід до споживачів; 12-повітряний
вентилятор; 13-повітряпровід до газогенераторів; 14- парова магістраль
низького тиску; 15 - парозбірник; 16 - змішувач пари та повітря

Одночасно в стояках відбувається осадження частини смоли і пилу. Потім газ надходить в смоловідокремлювач і далі в скруббер (найчастіше триступеневий), де остаточно охолоджується і звільняється від вологи та легких фракцій смоли; після цього він всмоктується газодувкою, яка стискає його до потрібного тиску і нагнітає в мережу. Для уловлювання крапель води після газодувки встановлюються краплевловлювачі. У нижній частині трьохступеневого скрубера проводиться насичення дуттєвого повітря водяними парами шляхом зрошення повітря гарячою водою, що надходить з верхньої (газової) частини скрубера.

Описана схема раціональна при застосуванні газогенераторів з швель-шахтами для торфу або деревної тріски, в яких смола не виходить розкладеної, маловязкої, а винесення пилу відносно мале. У разі газифікації кам'яного вугілля в газогенераторах без швель-шахти з-за порівняно високих температур в зоні сухої перегонки (500-700° С) має місце значна ступінь розкладання смоли. Віднесення і пил, змішуючись в смоловідокремлювачі з

в'язкою смолою, сильно ускладнюють роботу останніх. Тому найбільш раціональним є установка відразу ж після газогенераторів циклонів для уловлювання пилу і винесення.

8.3. Високоєфективні способи газифікації твердого палива

Недоліки газогенераторів з щільним шаром. Присутність дрібняку в бурому і кам'яному вугіллі і антрациті сильно ускладнює процес газифікації: продуктивність газогенераторів зменшується, збільшується винесення, погіршуються якість газу та інші показники роботи.

В силу цього до розміру шматків палива пред'являються жорсткі вимоги, і перед подачею в газогенератори воно піддається просівання (грохочення), при якому іноді значна частина палива відсіюється та надсилається для використання, наприклад, в топках парових котлів.

Іншим недоліком газогенераторів з щільним шаром при газифікації палива при атмосферному тиску є їх мала продуктивність, і на великих підприємствах для задоволення потреби в газі необхідно встановлювати десятки газогенераторів.

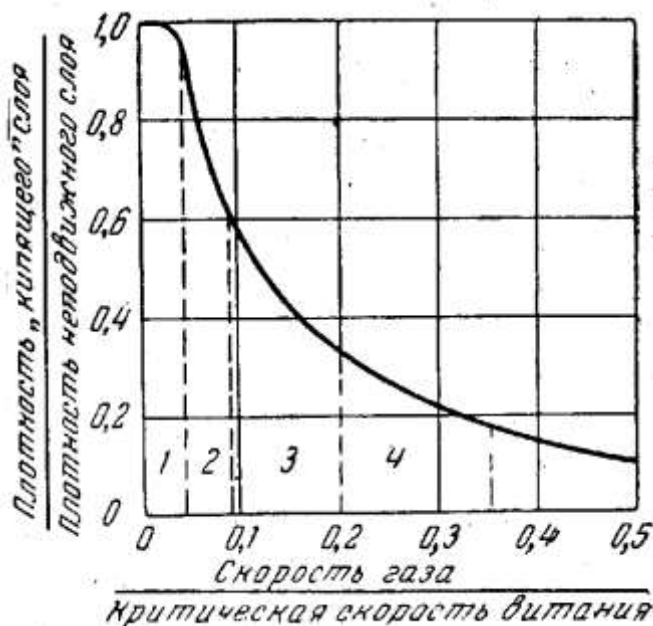
Важливим завданням є також підвищення теплоти згоряння генераторного газу, яка в залежності від сорту палива та інших факторів при звичайній газифікації, як було зазначено вище, дорівнює 1000 - 1 600 ккал/м. куб. У ряді випадків така теплота згоряння є недостатньою з точки зору вимог, що пред'являються до газоподібному пальному. Крім того, транспорт низькокалорійного газу з-за великого вмісту баласту дуже дорогий, далеке газопостачання стає неекономічним.

Нижче викладаються методи газифікації, здатні в тій чи іншій мірі усунути зазначені недоліки.

Газифікація бурого вугілля у «киплячому» шарі являє собою метод отримання великих кількостей технологічного або енергетичного генераторного газу з дрібнозернистих бурого вугілля. В СРСР спосіб газифікації в киплячому шарі був ґрунтовно досліджено у низці наукових

інститутів: в ДІАП ((Державний інститут азотної промисловості), ОТІ та ін. Киплячий шар має місце при швидкостях потоку повітря і газів, що виходять за межі стійкості щільного шару. Обертально-пульсуюче рух частинок палива при цьому нагадує рух киплячої рідини, чому такий шар називається киплячим. При цьому газоповітряний потік не циркулює в шарі, а прямоточно продуває його.

Основною характеристикою киплячого шару є збільшення об'єму шару при продувці його повітрям, або, інакше, збільшення висоти шару порівняно з щільним шаром. На рис.8.8 показана залежність відносної щільності шару від відносної швидкості потоку, що представляє собою відношення швидкості потоку, середньої по всьому перерізу шахти, до критичної швидкості витання окремої частинки, характерної для даної фракції. З графіка видно, що при нормальному «кипінні» шар збільшується в 1,5-3 рази порівняно з щільним шаром



**Рисунок 8.8. Оцінка стану шару за його відотною густиною
1-нерухомий шар; 2-нестійкий шар; 3-киплячий шар;
4-інтенсивний киплячий шар**

Особливість киплячого шару полягає в рухливості частинок в ньому і в інтенсивному перемішуванні часток по всьому шару, чим і відрізняється киплячий шар від зваженого, де має місце деяка сепарація частинок за їх

крупності і питомою вагою. Виняток становлять газогенератори з рідким шлакоудалением, про що сказано нижче.

Процес газоутворення в киплячому шарі аналогічний газоутворенню у щільному шарі. Тут також є киснева і відновна зона. Але ці зони мають в даному випадку великі по висоті розміри. Енергійне перемішування частинок вирівнює температуру шару, а так як ця температура значна за величиною, то відбувається глибоке розкладання продуктів сухої перегонки і в газі міститься мало смол, кислот і фенолів, що, з одного боку, спрощує їх очищення, але, з іншого боку, знижує теплоту згоряння газу.

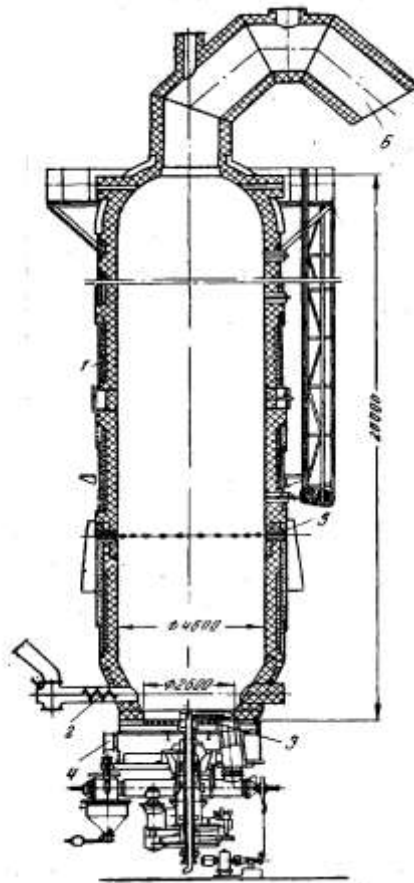
Висока питома продуктивність газогенераторів пояснюється тим, що частинки дрібнозернистого палива в киплячому шарі знаходяться в розсунутому стані і здійснюють обертально-пульсуючий рух у потоці повітря і газу. Велика питома поверхня палива, енергійне обтікання частинок повітрям і газом, обертально-пульсуюче рух частинок і їх зіткнення забезпечують постійне оновлення поверхні палива (завдяки видаленню з неї утворилася золи) і інтенсивне протягом реакцій газоутворення.

На рис. 9 показана конструкція промислового газогенератора з киплячим шаром, призначеного для газифікації низькосортного палива (буре вугілля, відходи вугілля і коксу різних марок).

Паливо, що надходить в газогенератор, піддається попередньої підготовки, що полягає в подсушке до вологості $W_p = 7-12\%$ і в подрібненні. Розмір частинок палива допускається 0,5-12 мм. Підготовлене паливо подається в приймальний бункер газогенератора. З бункера паливо шнеками безперервно подається на колосникові ґрати газогенератора.

Дуття подають через колосникові ґрати під таким тиском, що шар палива приходить в рух, що нагадує кипіння рідини. Омивані газовим середовищем дрібні частинки вугілля бурхливо виділяють гази і можуть легко перемішуватися. В площині колосникових ґрат є спіральна лопать, яка виконує роль золоудалителя. Частина золи з генератора надходить в коробку і звідти шнеком подається у збірник золи, звідки безперервно видаляється.

Інша частина золи виноситься потоком газу і вловлюється в циклонних пылеуловителях. Газогенератор працює на парокислородному дутті. Близько 80% дуття надходить через колосникові ґрати і приблизно 20% -через фурми, розташовані вище шару палива. Робиться це для того, щоб можна було в якійсь мірі прогазифікувати дрібні вугільні частинки, що рясно виносяться потоком газу з шару.



**Рисунок 8.9. Промисловий газогенератор з киплячим шаром
1-шахта газогенератора;2- шнек подачі палива;3- косникова
решітка; 4-камера дуття; 6- фурма повторного дуття; 7-вихід газу**

Для цієї ж мети газогенератор має велику висоту. Тиск дуття під колосниковой ґратами 3000 мм вод. ст. Тиск в самому генераторі підтримується близько 2500 мм вод. ст. Температура парокислородной суміші 85-100° С.

Пар у великій кількості додається до кисню чи повітря, так як температура шару не повинна бути вище 800--900° С. При підвищених температурах зола розм'якшується, частинки палива починають злипатися і

шар зашлаковується. При невисоких температурах шару ступінь розкладання пари дуже невелика ($\sim 0,2-0,3$). При бурому вугіллі напруга по нижній частині шахти газогенератора становить $1\ 750\ \text{кг/м}^2 \cdot \text{год}$ і більше.

Після газогенератора газ проходить через пиловловлювач і направляється до котла-утилізатора, що робить пар з тиском $20\ \text{кгс/см}^2$. Одержуваний пар не тільки покриває всі потреби газифікації, але і використовується для інших цілей.

Після котла газ проходить очищення в батарейних циклонах і в дезінтеграторах і транспортується в мережу.

Парокислородное дуття застосовується при виробленні без азотного технологічного газу. При виробленні енергетичного газу (наприклад, для газопостачання газових турбін або промислових печей) газогенератори можуть працювати і на паровоздушном дуття, але якість газу при цьому знижується. За дослідними теплота згоряння газу при паровоздушном дуття отримана рівною $1000-1100\ \text{ккал/м}^3$ замість $2100-2200\ \text{ккал/м}^3$ на парокислородном дуття, к.п.д. газифікації при цьому становить $50-54\%$, а термічний к.п.д. - $74-84\%$. До достоїнств газогенератора з киплячим шаром відносяться висока продуктивність (один газогенератор може дати до $70000\ \text{м}^3$ газу в годину) і стійкий режим роботи. Недоліками є: необхідність попередньої сушки вугілля з великою вологістю, громіздкість споруд з-за низького знімання газу з одиниці об'єму газогенератора, великий вміст пилу в газі, що ускладнює очищення газу, низька ступінь розкладання пари і велика питома витрата кисню.

Газифікація палива під високим тиском. При високих тисках в шахті газогенератора, крім звичайних реакцій, продуктами яких є водень і окис вуглецю, протікають ще зі значною швидкістю вторинні реакції утворення метану при взаємодії водню з вуглецем палива і окисом вуглецю:

Реакція утворення метану протікає з різким скороченням обсягу газів, тому підвищення тиску і сприяє їх протіканню. Збільшення вмісту метану в газі сильно підвищує його теплоту згоряння. Після видалення з сирого газу

значної частини двоокису вуглецю (що легко досягається промиванням його під тиском) теплота згоряння газу при газифікації під тиском 20 кгс/см² досягає 4000 ккал/м³ і вище, і він може бути використаний в якості побутового газу.

Особливістю процесу газифікації під тиском є можливість отримання великої кількості, рідких продуктів високої якості.

При газифікації палива під тиском 20 кгс/см² загальний вихід смоли приблизно такий же, як при полукоксуванні даного палива, а вихід бензинової фракції значно більше, ніж при полукоксуванні. Збільшення виходу бензину є наслідком крекінг-смоли під тиском у присутності водню.

Газогенератор високого тиску схематично показаний на рис. 6-13. Такі газогенератори мають внутрішній діаметр шахти до 2,5 м. Для газифікації можуть бути використані також і дрібнозернистий вугілля і відходи вугілля. Паливо подається в газогенератор з бункера через шлюзовий завантажувальний апарат з двома затворами. Для видалення шлаку з газогенератора застосовується зольна шлюзова камера.

В процесі газифікації паливо під тиском проходить ті ж самі зони, що й при звичайному газифікації. Підсушування вугілля лімітується відсутністю азоту як теплоносія, і тому буре вугілля повинен піддаватися попередньої сушки, а вміст вологи в ньому має бути не вище 20-25%.

Напруга шахти газогенератора при бурих вугіллях становить приблизно 800-1000 кг/м²-год. Висока продуктивність газогенераторів забезпечується різким підвищенням об'ємних концентрацій газів. Інтенсивне протягом реакцій газоутворення при високому тиску дозволяє знизити температуру шару до 900-1000°C і, таким чином, уникнути шлакування. Висока зольність палива (навіть 30-40%) не є перешкодою для цього способу газифікації, якщо зола не шлакується.

Можливість одночасного отримання газу і цінних рідких продуктів при мінімальній витраті кисню і використанні дрібнозернистого палива (3-10 мм) становить перевага газифікації під тиском. Недоліком цього способу є велика

складність обладнання. Складність виготовлення обладнання і його висока початкова вартість ускладнюють впровадження установок в промисловості, і такий спосіб газифікації не застосовується.

Газогенератори з рідким шлаковидаленням. Газогенератори з рідким шлаковидаленням можуть служити для одержання повітряного генераторного газу з пісного вугілля, придатного для газопостачання газових турбін чи двигунів внутрішнього згорання. Подібні газогенератори досліджено в лабораторних умовах де досягнуті навантаження при газифікації рядового антрациту до $1000 \text{ кг/м}^2\text{-год.}$, а при газифікації під невеликим тиском - до $1500 \text{ кг/м}^2\text{-год.}$ з уловлюванням рідкого шлаку в кількості до 95%. В цьому випадку доцільно повітря, що йде на газифікацію, підігрівати за рахунок тепла газу, що виходить з газогенератора. В горні газогенератора при продувці шару палива гарячим повітрям розвиваються дуже високі температури (близько 1800°C і більше) , чим забезпечується протікання газогенераторного процесу з перетворенням золи палива у рідкий стан.

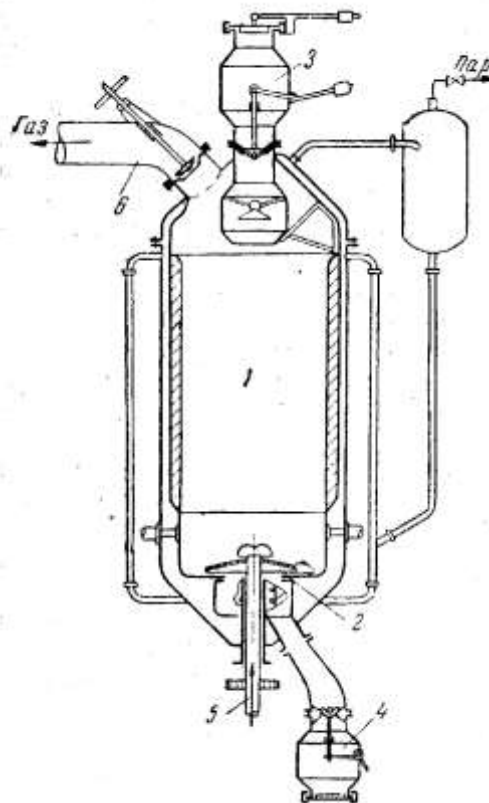


Рисунок 8.10. Промисловий генератор високого тиску.

1-газогенератор; 2- колосникова решітка; 3- завантажувальний пристрій; 4- зольна камера; підвод дугтя; 6 вихід газу

Газифікація пиловидного палива. Отримала певне поширення газифікація палива в пилоподібному стані (вугілля та торфу). У цьому випадку в газогенератор надходить суміш дуже тонкого вугільного пилу з киснем; туди ж подається пара, що знижує температуру стінок газогенератора, завдяки чому збільшується стійкість футеровки. Велика частина золи виноситься з газом в твердому стані і вловлюється, в газоочистке.

Підземна газифікація вугілля. Через шахту, прорубаємую до підшови пласта, виробляють підземну виробку. Як видно з рис. 10, ця вироблення полягає в пристрої каналу, дном якого є підшов пласта, а дахом - сам вугільний пласт. На різних відстанях зверху пробурені шурфи і свердловини. В самому каналі на деяких ділянках укладаються штабелі дров і в них запали, які можуть спалахувати електричним шляхом через дріт, виведений наверх. По закінченні вироблення підземний канал відокремлюють від шахти перемичкою. Після цього через один шурф або свердловину подають повітря з тиском у кілька атмосфер, а через інший шурф або свердловину відводять газ. Після розпалу потік повітря спрямовується по каналу відбувається газифікація вугільного пласта.

Особливе значення має підземна газифікація вугілля з великим вмістом баласту (золи і вологи), наприклад в Підмосковному басейні, і вугілля, що залягає в малопотужних пластах (тонше 0,7 м), які зазвичай не розробляються.

Теплота згоряння газу підземної газифікації поки складає 800-900 /ккал/м³. В даний час у зв'язку з швидким зростанням видобутку висококалорійного природного газу підземна газифікація не розвивається.

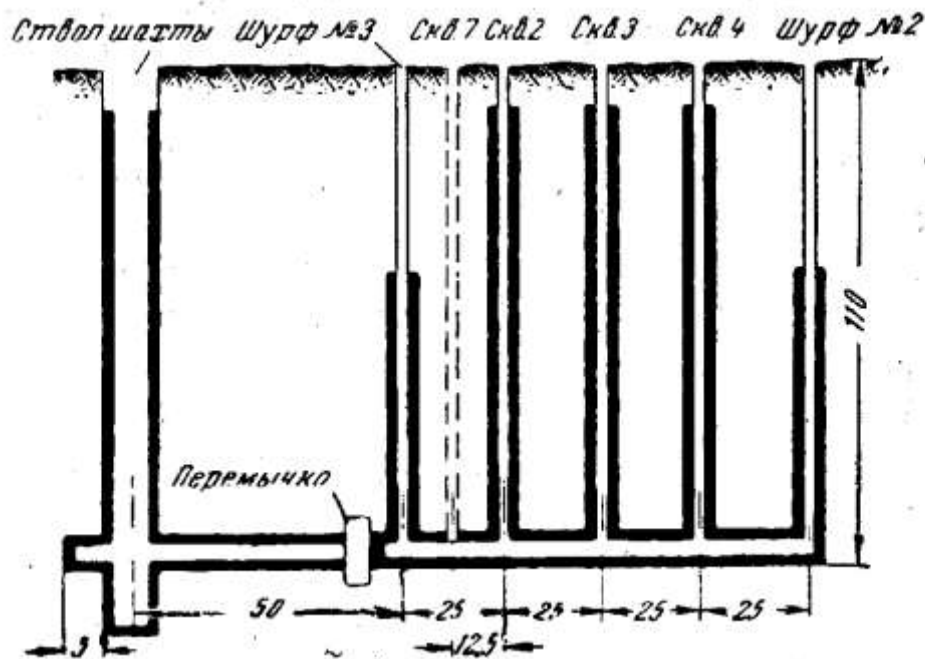


Рисунок 8.11. Підземна газифікація вугілля.

ТЕМА 9. ЕНЕРГЕТИЧНІ І ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ В СИСТЕМАХ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ

9.4. Техніко-економічні показники теплової електростанції.

9.4. Техніко-економічні показники теплової електростанції

Ефективність роботи ТЕС характеризується різними техніко - економічними показниками. Одні з них оцінюють досконалість теплових процесів, наприклад показники теплової економічності, до яких належать ККД агрегатів, цехів і всієї електростанції загалом, а також витрати теплоти і палива на одиницю виробленої енергії. Інші характеризують умови, у яких працює теплова електростанція, наприклад показники режиму, до яких належать: співвідношення конденсаційного і комбінованого виробництва електроенергії, коефіцієнт використання і кількість годин використання встановленої потужності, показники чисельності персоналу (витрати праці) і вартості спорудження електростанції (капітальні витрати). Найбільш важливими і повними показниками роботи ТЕС є *собівартість електроенергії і теплоти*.

Теплова економічність КЕС, яка виробляє тільки електроенергію, характеризується ККД станції, який являє собою співвідношення виробленої електроенергії до хімічної енергії (теплоти згорання) витраченого палива.

Різниця $E_{\text{вир}} - E_{\text{від}} = E_{\text{в.п}}$ являє собою витрату електроенергії на власні потреби станції. Поділивши витрату палива на вироблену $B_{\text{вир}}$ та відпущену $B_{\text{від}}$ електроенергію, на кількість виробленої енергії $E_{\text{вир}}$ і на кількість відпущеної енергії $E_{\text{від}}$ відповідно отримаємо значення питомих витрат умовного палива на 1 кВт-год виробленої та відпущеної електроенергії:

Теплову економічність різних КЕС між собою порівнюють за питомою витратою умовного палива на 1 кВтгод виробленої та відпущеної електроенергії.

На діючій станції показник теплової економічності визначають витратами палива, кількістю виробленої та відпущеної електроенергії.

Економія палива у процесі комбінованого виробництва на ТЕЦ теплової і електричної енергії порівняно з роздільним визначає *економічну ефективність ТЕЦ*, отриману за рахунок використання відпрацьованої теплоти паросилового циклу. Щоб обчислити ККД ТЕЦ в цілому, ураховують два питомі ККД, які визначають економічність виробництва електроенергії і теплоти окремо. Основним з них є ККД виробництва електроенергії, де враховується витрата палива на виробництво електроенергії.

Другий показник економічності ТЕЦ - ККД виробництва теплоти для зовнішнього теплового споживання, де враховують витрату палива на виробництво теплоти, яку відпускають споживачеві.

Основною умовою цього методу є тотожність ККД ТЕЦ і ККД (нетто) котельного агрегату (парогенератора) у процесі роздільного виробництва теплоти. При цьому всю економію від застосування комбінованого виробництва електроенергії і теплоти відносять до виробництва електроенергії. Таке припущення призводить до того, що ККД виробництва

електроенергії комбінованим способом досягає 75-80 % замість 35-40 % на сучасних КЕС.

Розрахунок економічності ТЕЦ за цим методом показує, що підвищення $\eta_{\text{ТЕЦ}}$ прямо пропорційне підвищенню частки комбінованого вироблення електроенергії. Тому ТЕЦ зацікавлена основну кількість теплоти відпускати споживачам з відборів турбіни при параметрах пари, прийнятних для споживача. Відпуск теплоти через РОУ або від водогрійних котлів бажано звести до мінімуму.

Отже, показник економічності ТЕЦ $\eta_{\text{ТЕЦ}}$ стимулює збільшення комбінованого виробництва електроенергії і теплоти.

За такою методикою порівняння теплової економічності ТЕЦ і роздільної установки (КЕС і котельної) зводиться до порівняння їх питомої витрати палива. Виміряну загальну витрату палива $B_{\text{ТЕЦ}}$ на ТЕЦ розподіляють на виробництво електроенергії B_e і теплоти B_t пропорційно кількості теплоти, витраченої на кожний вид енергії.

Витрати електроенергії і теплоти на власні потреби пов'язані з виробництвом кожного виду енергії. Теплові втрати також розподіляються пропорційно кількості теплоти, віднесеної на кожний вид енергії (електричної і теплової), і включаються в обумовлені витрати палива B_e і B_t відповідно.

Визначаючи витрати палива на відпущену теплову енергію на ТЕЦ, у розрахунок беруть сумарну величину $O_{\text{від}} + O_{\text{від}}^p$, де $O_{\text{від}}$ - відпущена споживачеві тепла енергія з урахуванням теплоти поверненого конденсату; $O_{\text{від}}^p$ - сума втрат теплової енергії на ТЕЦ, пов'язаних з втратами:

- у паропроводах відборів турбіни до точок заміру відпущеної теплової енергії у споживача;
- в основних і пікових підігрівниках мережевої води;
- у пароперетворювачах, РОУ та паропроводах, які з ними зв'язані;
- на підготовку і підігрів хімічно очищеної води для поповнення неповерненого конденсату та підживлення теплової мережі;

- у парогенераторах під час продувки системи.

Крім того, до B_t включено частку палива, витрачену на виробництво електроенергії, що виконується для роботи мережевих, підживлювальних та конденсатних насосів для відпуску теплової енергії споживачеві.

Використовуючи значення B_e , можна визначити питому витрату палива на 1 кВтгод відпущеної електроенергії і питомий ККД ТЕЦ на відпущену електроенергію. За відомим значенням B_t - (B_{TEC} - B_e) визначають питомий ККД ТЕЦ для виробництва теплоти η_{TEC} і питому витрату палива на відпущену теплову енергію:

Собівартість відпущеної з ТЕС електричної енергії є важливим техніко-економічним показником. Вона дорівнює відношенню річних витрат $Z_{рік}$ до річної кількості відпущеної електроенергії $E_{від}$:

Річні витрати $Z_{рік}$ складаються з витрат на паливо Z_p , на поточні й капітальні ремонти Z_k і витрат на зарплату персоналу $Z_{пер}$:

$$Z_{рік} = Z_p + Z_k + Z_{пер}.$$

Для техніко-економічного порівняння варіантів ТЕС використовують не собівартість, а питомі розрахункові витрати, що враховують ефективність капіталовкладень, із врахуванням E_n - нормативного коефіцієнту ефективності капіталовкладень, прийнятий для енергетики рівним 0,12.

Варіант з мінімальним значенням питомих розрахункових витрат є економічно найвигіднішим. Порівнювані варіанти треба доводити до однакового енергетичного ефекту (однакові потужності, рівні кількості відпущеної електроенергії і теплоти, однакові надійності електро- і теплопостачання).

Для розрахунку *собівартості теплової і електричної енергії на ТЕЦ* треба розділити річні витрати між цими двома видами продукції. Витрати на паливо поділяють пропорційно розподілу палива на електроенергію і теплоту.

Витрати машинного залу та електроцеху (45 % амортизаційних витрат і 35 % витрат на персонал) цілком відносять на виробництво електроенергії.

Загальностанційні питомі витрати (5 % амортизаційних відрахувань, 30 % витрат на зарплату) розподіляють між тепло- і електроенергією пропорційно витратам цехів.

ТЕМА 10. КОНДЕНСАЦІЙНІ КОТЛИ

10.1. Проблеми при використанні конденсаційних котлів.

10.2. Переваги і недоліки конденсаційних котлів.

10.3. Застосування котлів.

10.1. Проблеми при використанні конденсаційних котлів.

На сьогодні, конденсація водяних парів, що утворюються при згорянні вуглеводнів, є однією з найбільш перспективних та інноваційних технологій у виробництві тепла. Котли, які працюють за таким принципом, називають "конденсаційними котлами". З кожним роком на українському ринку опалювального обладнання конденсаційна техніка займає все більш міцні позиції. Конденсаційні котли мають безліч переваг, відрізняються високим коефіцієнтом корисної дії і низькими викидами шкідливих речовин в атмосферу.

Основні принципи горіння і конденсації. Реакція горіння вуглеводневого палива супроводжується виділенням тепла. Наприклад, при згорянні суміші природного газу (метан - CH_4) і повітря (у якому, в основному, міститься кисень O_2 і азот N) основними продуктами згорання будуть вуглекислий газ (CO_2), води (H_2O), а також невелика кількість оксидів азоту (NO_x) і чадного газу (CO). Інший обсяг димових газів становитиме прореагував, кисень і азот. Вода, що отримується при згоранні палива, при високих температурах в зоні горіння негайно перетворюється в пар. Для випаровування води витрачається тепло, яке відбирає частину тепла, отриманого при горінні. Залишився тепло називається нижчою теплотою згорання (Q_{di}).

Тепло, витрачений на випаровування води, можна одержати назад при зворотному переході з газоподібної фази в рідку, тобто при конденсації. Це

тепло, зване прихованою теплотою конденсації, є постійною відомою величиною при певних температурі і тиску. Вільна теплота, одержувана за конденсаційної технології, дорівнює сумі нижчої теплоти згоряння (Q_{di}) і прихованої теплоти конденсації, і називається вищою теплотою згоряння (K_t).

Наприклад, значення вищої і нижчої теплоти згоряння для природного газу (метану): $K_t = 37,7$ МДж/м³; $Q_{di} = 34$ МДж/м³. Це показує, наскільки істотна різниця між (K_t) і (Q_{di}). Максимальна теоретична економія енергії при використанні теплоти конденсації для природного газу становить - 11%, для зрідженого газу (пропан-бутан) - 9%, а для дизельного палива - 6%.

Як говорилося раніше, при охолодженні пар перетворюється у воду, конденсуючись на більш холодній поверхні. При цьому звільняється частина теплової енергії, яку можна було б використовувати для підвищення продуктивності котла. Так от, коли створили теплообмінник для роботи в конденсаційному режимі, це стало можливим. При цьому витрата палива не збільшується, що приводить до істотної економії.

При використанні конденсаційних котлів необхідно охолодити димові гази до точки роси. *Точкою роси* при даному тиску називається температура, до якої повинні охолонути димові гази. Величина точки роси сильно залежить від виду палива (газ, зріджений газ, бензин і т. д.) і надлишкового вмісту повітря (рис. 10.2), яке в свою чергу пов'язано з концентрацією CO₂ в димових газах (рис. 10.1) через вираз:

RO_{2max} / RO_2 , де RO_2 - зміст трехатомных газів у продуктах згоряння

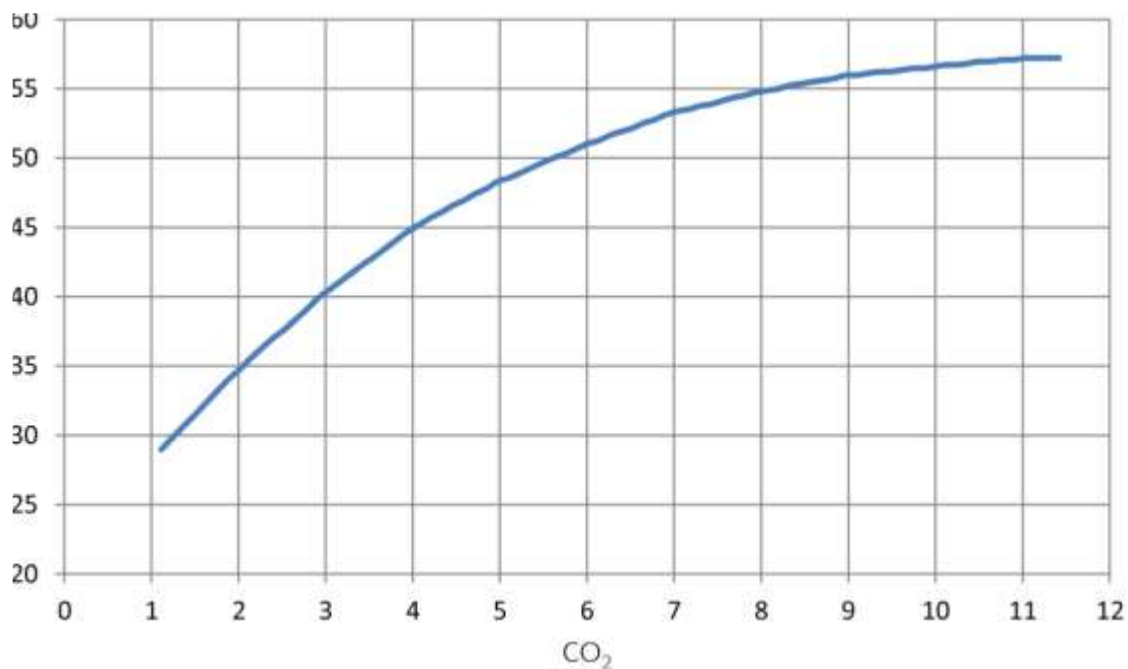


Рисунок 10.1. Залежність концентрації CO₂ в димових газах від температури точки роси.

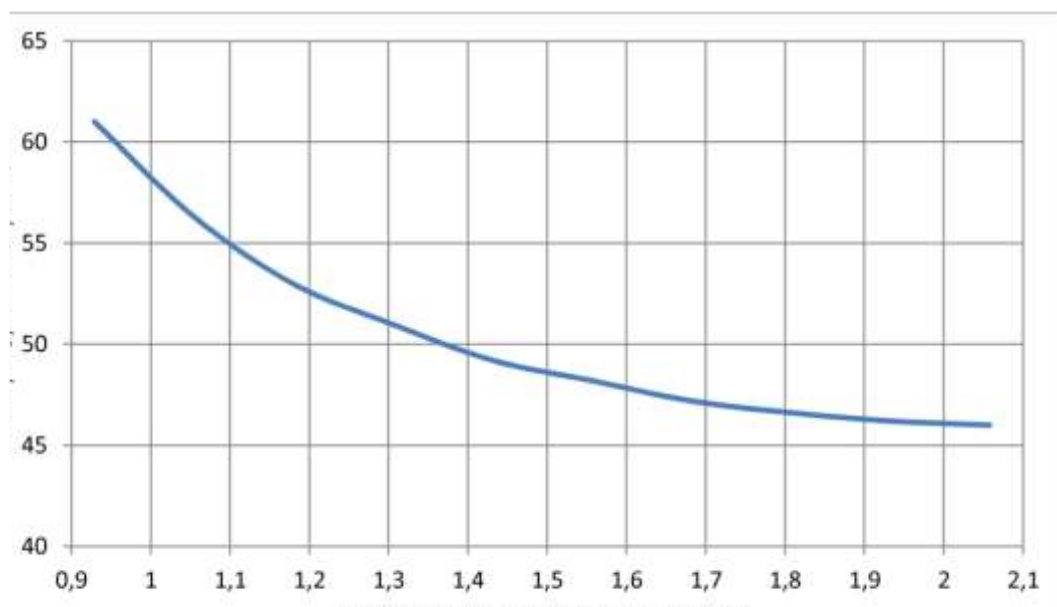


Рисунок 10.2. Залежність концентрації CO₂ в димових газах від надлишкового вмісту повітря.

10.2. Проблеми при використанні конденсаційних котлів.

Використання прихованої теплоти водяної пари з продуктів згорання підвищує ефективність використання палива, знижує як абсолютна (за рахунок спалювання меншої кількості палива) кількість викидів шкідливих

речовин, так і питомий (за рахунок більш якісного згоряння при меншій температурі і висоті полум'я), що зменшує шкідливий вплив на навколишнє середовище.

Крім того використання прихованої теплоти водяної пари з продуктів згорання є не самою простою технічною задачею (це призводить до використання дорогих конструкційних матеріалів, збільшення площі опалювальних приладів при зниженні температури теплоносія тощо), з цим пов'язані ще деякі негативні моменти:

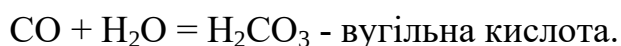
- низька температура відхідних газів після конденсаційного котла робить можливим їх гарантований відведення в атмосферу тільки примусовим чином під тиском за допомогою вентилятора.

При цьому виникає завдання забезпечення повної герметичності димоходів, що проходять всередині будівлі (з метою запобігання попадання знаходяться під надлишковим тиском продуктів згорання в повітря приміщення), і захисту від обмерзання димоходів, що знаходяться зовні.

Відходять продукти згорання після конденсаційного котла все ж мають залишкову вологість і дуже низьку температуру. При великій протяжності неутеплених ділянок димоходу це може призвести до утворення льоду і заростання димоходу.

- корозійна активність конденсату.

Сам по собі конденсат водяної пари представляє не що інше, як чистісіньку дистильовану воду. Однак з'єднання його з містяться в продуктах згорання оксидами вуглецю, азоту NO_x і особливо сірки SO_3 , приводить до утворення кислот:



Слабоактивна кислота, швидко розпадається на воду H_2O і діоксид вуглецю CO_2 .



Відноситься до розряду сильних кислот.



В результаті цих сполук випадає на поверхнях теплообмінника в його хвостових частинах конденсат має кислу реакцію. Значення рН для різних речовин, у тому числі і діапазон значень рН для конденсату, наведено на рис. 10.3.



Рисунок 10.3 - рН різних речовин.

Через корозійної активності конденсату всі дотичні з конденсатом частини конденсаційного котла, включаючи димохід, повинні бути виготовлені зі стійких до корозії матеріалів (легована високоякісна нержавіюча сталь, легований алюміній, різного роду пластмаси, кераміка), які зазвичай не дешеві. Проблеми мають місце і при відведенні конденсату в систему міської каналізації. Відводиться в каналізацію конденсат здатний привести до корозії сталевих і цементних каналізаційних труб, а також до загибелі використовуються на станціях аерації для очищення стічних вод бактерій. Рятуює, однак, те, що в цілому, з-за масового використання миючих засобів, стічні води мають слаболужну реакцію (див. рис. 10.3). При одночасному зливі побутових стічних вод і конденсату вони нейтралізують один одного.

Для забезпечення нейтралізації конденсату стічними водами в Європі, наприклад, існують суворі приписи щодо зливу конденсату в міську каналізацію.

Згідно з цим вимогам:

- допускається постійно зливати без нейтралізації в систему міської каналізації конденсат від газових конденсаційних котлів з номінальною потужністю до 50 кВт. При цьому матеріал каналізаційних труб повинен відповідати необхідним вимогам.

- допускається зливати без нейтралізації в систему міської каналізації конденсат від газових конденсаційних котлів з номінальною потужністю від 50 до 200 кВт при обладнанні їх спеціальними ємностями, які будуть накопичувати конденсат в нічний час і зливати його у систему каналізації в денний час, коли йде злив стічних вод. При цьому матеріал каналізаційних труб повинен відповідати необхідним вимогам.

- для установок номінальною потужністю понад 200 кВт конденсат дозволяється зливати у міську систему каналізації тільки після попередньої нейтралізації.

Основний матеріал

Кераміка

Керамічні труби спеціального виконання

Полівінілхлорид (PVC)

Поліетилен

Поліпропілен (ПП)

Акрилнитрил

Залізо Чавунні труби з емальованої внутрішньою поверхнею

Сталеві труби з покриття пластиком

Сталеві нержавіючі труби

Скло Труби з боросилікатного скла

Примітка Якщо конденсат має $pH > 6.5$, можливий відвід конденсату через труби, що мають цементні єднальні

10.3. Переваги і недоліки конденсаційних котлів.

Конденсаційний газовий котел можна назвати одним з найбільш економічних і високоефективних опалювальних приладів. Його ККД на 10-15% вище, ніж коефіцієнт корисної дії у традиційного котла. Крім того по економічності конденсаційні котли на 20% перевищують звичайне котельне обладнання.

У конструкціях конденсаційних котлів застосовуються високотехнологічні пальники, які готують паливно-повітряні суміші в оптимальних пропорціях, що мінімізує можливість неполного згоряння палива. Завдяки цьому знижується кількість викидів шкідливих речовин.

Відходять газу мають низьку температуру (нижче 40 ° C), що дає можливість застосовувати для конденсаційних котлів димоходи з пластмаси, тим самим зменшуючи витрати на монтаж опалювальної системи.

Перевагами конденсаційних котлів можна назвати:

- невеликі габарити і невелика вага котельного обладнання;
- економічність (економія газу становить 35% за сезон);
- глибоку модуляцію (економія газу при часткових навантаженнях);
- невисокий рівень вібрацій і низький рівень шуму;
- можливість каскадної установки;
- економія на димоході (можна встановлювати димоходи з меншим діаметром);
- зменшення викидів шкідливих речовин NO_x та CO₂ (нижче в 7 разів, ніж у звичайних котлів).

Завдяки невеликим габаритам і малій вазі котельного обладнання, для встановлення котла потрібно менше місця, в той же час знижуються витрати на його транспортування і монтаж. Існує таке оману, що конденсаційні котли ефективно працюють тільки з системою опалення тепла підлога. В іншому випадку ефективність їх не більше, ніж у традиційних котлів. Але це не так. У конструкції конденсаційного котла є модуляційний пальник, що дозволяє досягати глибокої модуляції потужності, зменшуючи при цьому витрати газу і повітря.

Процес конденсації в котлі йде і при роботі опалювального обладнання з радіаторної системою опалення. При знижених навантаженнях ККД конденсаційного котла цілком може досягати високих значень, на відміну від звичайних газових котлів, у яких ККД в такому режимі падає через надлишок повітря.

Для каскадної установки конденсаційних котлів виробники пропонують спеціальні регулятори (наприклад, фірма BAXI продає для своїх котлів регулятор RVA47), які перетворюють котли, встановлені окремо, в єдину систему.

Перевагами каскадної системи є легкість монтажу і компактні розміри котельні. Завдяки зниженим вібраціям і низькому рівню шуму при установці конденсаційних котлів, немає потреби робити виброизолирующие платформи та звукоізоляцію приміщення, призначеного для котельні. Що теж дозволяє заощадити кошти при установці опалювальної системи.

Економити на розмірах димоходу, дозволяє працює в конденсаційних котлах вентилятор. Він розвиває досить високий тиск, тому діаметр димоходу може бути в два рази менше, ніж при монтажі опалювальної системи з традиційними котлами.

Завдяки низьким викидам NO_x та CO_2 , конденсаційні котли відносяться до розряду екологічного устаткування, їх часто використовують для обладнання котелень у курортних і заповідних зонах. Відшукати недоліки в котлах конденсаційних дуже важко. Головним мінусом цього опалювального обладнання є висока ціна, яка в два рази вище ціни звичайних котлів.

10.4. Застосування котлів.

За зовнішнім виглядом конденсаційні котли мало чим відрізняються від традиційних. Виготовляють їх у настінному варіанті і підлоговому варіанті. Настінні газові конденсаційні котли володіють меншою потужністю, ніж підлогові і застосовуються в побуті для опалення приватних будинків і котеджів.

Підлогові конденсаційні котли з високою потужністю використовують для опалення промислових об'єктів і офісних приміщень.

Конденсаційні газові котли випускають одно-, і двоконтурні. Застосовуються двоконтурні котли і для опалення і для нагрівання води.

Потужність одно-і двоконтурних котлів становить - 20-100 кВт. Цього достатньо для побутового використання котлів. Для промислового застосування випускають моделі більшої потужності.

Основні відмінності конструкції конденсаційних котлів від звичайних. Конденсаційні котли відрізняються від традиційних матеріалом, використовуваним для теплообмінника. Їх теплообмінник виконується з кислотостійкого сплаву силуміну або нержавіючої сталі. Утворений в котлі водний конденсат має підвищену кислотність і викликає корозію таких матеріалів, як сталь і чавун, які використовуються у виробництві неконденсаційних котлів. Форма теплообмінника являє собою трубу складного перетину, що має додаткові спіралеподібні ребра. Така форма теплообмінника сприяє збільшенню площі теплообміну і підвищує ефективність роботи котла.

У конденсаційних котлах перед пальником встановлений вентилятор, який «висмоктує» газ з газопроводу і змішує його з повітрям, після чого направляє суміш газу з повітрям до пальника.

Димові гази видаляються через коаксіальні димоходи, що виготовляються з термостійкого пластику. Крім цього, в конденсаційних котлах є насос, керований електронікою, який оптимізує потужність опалення, економлячи електроенергію і знижуючи шум від теплоносія, що протікає в системі опалення.

Конструкція традиційних котлів не передбачає процесу конденсації і використання критої енергії, тому температуру продуктів згоряння підтримують на високому рівні. Частина тепла в таких котлах не використовується, а виводиться з продуктами згоряння через димохід.

Так як конденсат володіє хімічною агресивністю, щоб його використовувати необхідно елементи котла робити з хімічно стійких матеріалів, вартість яких досить висока. Виробникам набагато легше продавати дешевші товари, ніж вкладати свої кошти в прогресивні, але дорогі технології. Тому більшість котлів, представлених на ринку, створені

на основі застарілих технологій. Для користувачів ж вигідніше купити нехай дорогі, але ефективніші конденсаційні котли, які дозволяють економити на витраті палива.

Виробники пропонують для своїх конденсаційних котлів комплекту для підключення, нейтралізатори конденсату, розширювальні баки, запобіжні пристрої, комплекти трубної обв'язки котлів, системи для відводу димових газів. В Європейських країнах конденсаційні котли - наймасовіший вид опалювальних приладів. Є країни, в яких заборонено встановлення неконденсаційних котлів. Причина цьому - більш високий КПД і більш низький показник викиду шкідливих речовин в конденсаційних котлах.

ТЕМА 11. КОГЕНЕРАЦІЯ.

11.1. Сфери застосування когенераційних установок:

11.2. Основи когенерації.

11.3. Переваги технології.

11.4. Економічність ефективності

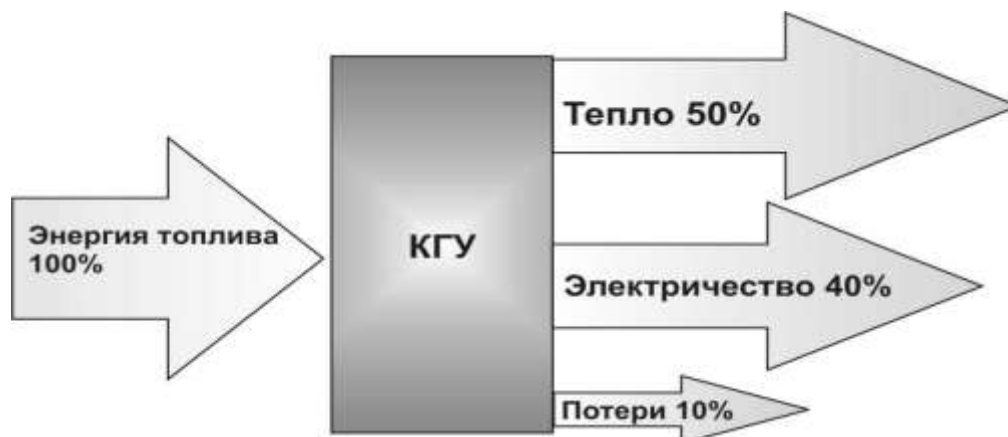
11.5. Обладнання когенерації, утилізація тепла.

11.1. Сфери застосування когенераційних установок:

Основним елементом комбінованого джерела електроенергії і тепла, в подальшому когенераторі (конгенераційної установки, міні-ТЕЦ), є первинний газовий двигун внутрішнього згоряння з електрогенератором на валу. При роботі двигун-генератора утилізується тепло газовихлопу, масляного холодильника і охолоджуючої рідини двигуна. При цьому в середньому на 100 кВт електричної потужності споживач отримує 150-160 кВт теплової потужності у вигляді гарячої води 90 °С для опалення та гарячого водопостачання.

Таким чином, когенерація задовольняє потреби об'єкта в електроенергії і низькопотенційного тепла. Головна її перевага перед звичайними системами полягає в тому, що перетворення енергії тут відбувається з

більшою ефективністю, чим досягається істотне скорочення витрат на виробництво одиниці енергії.



Основні умови для успішного застосування когенераційної технології:

1. При використанні когенераційної установки (міні-ТЕЦ) в якості основного джерела енергії, тобто при завантаженні 365 днів у році, виключаючи час на планове обслуговування.
2. При максимальному наближенні когенераційної установки (міні-ТЕЦ) до споживача тепла та електроенергії, у цьому випадку досягаються мінімальні втрати при транспортуванні енергії.
3. При використанні найбільш дешевого первинного палива - природного газу.

Найбільший ефект застосування когенераційної установки (міні-ТЕЦ) досягається при роботі останнього паралельно із зовнішньою мережею. При цьому можливий продаж надлишків електроенергії, наприклад, у нічний час, а також під час проходження годин ранкового та вечірнього максимумів електричного навантаження. За таким принципом працюють 90% когенераторів в країнах Заходу.

Максимальний ефект застосування когенераторів досягається на наступних міських об'єктах:

Власні потреби котелень (від 50 до 600 кВт). При реновації котелень, а також при новому будівництві джерел теплової енергії вкрай важливим є надійність електропостачання власних потреб теплоджерела. Застосування

газового когенераторі (газопоршневого агрегату) виправдане тут тим, що він є надійним незалежним джерелом електроенергії, а скидання теплової енергії когенераторі забезпечений в навантаження теплогерела.

Лікарняні комплекси (від 600 до 5000 кВт). Ці комплекси є споживачами електроенергії і тепла. Наявність у складі лікарняного комплексу когенераторі дає подвійний ефект: зниження витрат на енергозабезпечення та підвищення надійності електропостачання відповідальних споживачів лікарні - операційного блоку та блоку реанімації за рахунок введення незалежного джерела електроенергії.

Спортивні споруди (від 1000 до 9000 кВт). Це, перш за все, басейни та аквапарки, де затребувані і електроенергія, і тепло. У цьому випадку конгенераційная установка (міні-ТЕЦ) покриває потреби в електроенергії, а тепло скидає на підтримку температури води.

Електро та теплопостачання об'єктів будівництва в центрі міста (від 300 до 5000 кВт). З цією проблемою зустрічаються компанії, провідні реновацію старих міських кварталів. Вартість підключення реновіруємих об'єктів до інженерних мереж міста в ряді випадків порівнянна з обсягом інвестицій у власний когенераційний джерело, однак в останньому випадку власником джерела залишається компанія, що приносить їй додатковий прибуток при експлуатації житлового комплексу.

Когенераційні системи класифікуються за типами основного двигуна і генератора:

- парові турбіни, газові турбіни;
- поршневі двигуни;
- мікротурбіни.

Найбільшою перевагою користуються поршневі двигуни, що працюють на газі. Вони відрізняються високою продуктивністю, відносно низьким обсягом початкових інвестицій, широким вибором моделей за вихідний потужності, можливістю роботи в автономному режимі, швидким запуском, використання різних видів палива.

11.2. Основи когенерації.

Звичайний (традиційний) спосіб отримання електрики і тепла полягає в їх роздільній генерації (електростанція і котельня). При цьому значна частина енергії первинного палива не використовується. Можна значно зменшити загальне споживання палива шляхом застосування когенерації (спільного виробництва електроенергії та тепла).

Когенерація є термодинамічна виробництво двох або більше форм корисної енергії з єдиного первинного джерела енергії.

Дві найбільш використовувані форми енергії - механічна і теплова. Механічна енергія зазвичай використовується для обертання електрогенератора. Ось чому саме таке визначення часто використовується в літературі (незважаючи на свою обмеженість).

Когенерація є комбіноване виробництво електричної (або механічної) і теплової енергії з одного і того ж первинного джерела енергії.

Вироблена механічна енергія також може використовуватися для підтримки роботи допоміжного обладнання, такого як компресори і насоси. Теплова енергія може використовуватися як для опалення, так і для охолодження. Холод проводиться абсорбційним модулем, який може функціонувати завдяки гарячій воді, пару або гарячим газам.

При експлуатації традиційних (парових) електростанцій, у зв'язку з технологічними особливостями процесу генерації енергії, велика кількість виробленого тепла скидається в атмосферу через конденсатори пара, градирні і т.п. Більша частина цього тепла може бути утилізована і використана для задоволення потреб теплових, це підвищує ефективність з 30-50% для електростанції до 80-90% в системах когенерації. Порівняння між когенерації та роздільним виробництвом електрики і тепла наводиться в таблиці 11.1, заснованої на типових значеннях ККД.

Дослідження, розробки та проекти, реалізовані протягом останніх 25 років, призвели до суттєвого удосконалення технології, яка тепер дійсно є зрілою і надійною. Рівень поширення когенерації в світі дозволяє

стверджувати, що це найбільш ефективна (з існуючих) технологія енергозабезпечення для величезної частини потенційних споживачів.

Таблиця 11.1. Порівняння між когенерації та роздільним виробництвом електрики і тепла.



11.3. Переваги технології.

Технологія когенерації дійсно одна з провідних у світі. Що цікаво, вона чудово поєднує такі позитивні характеристики, які недавно вважалися практично несумісними. Найбільш важливими рисами слід визнати найвищу ефективність використання палива, більш ніж задовільні екологічні параметри, мала **емісія** викидів, а також автономність систем когенерації.

Технологія, якою присвячений даний ресурс, не просто "комбіноване виробництво електричної (або механічної) і теплової енергії", - це унікальна концепція, що поєднує переваги когенерації, розподіленої енергетики і оптимізації енергоспоживання. Слід зауважити, що якісна реалізація проекту вимагає наявності специфічних знань та досвіду, інакше значна частина переваг напевно буде втрачена.

Користь від використання систем когенерації умовно діляться на чотири групи, тісно пов'язані один з одним.

Переваги надійності.

Когенерація - фактично ідеальна форма забезпечення енергією з точки зору безпеки енергопостачання.

Розвиток сучасних технологій посилює залежність людської діяльності від енергопостачання у всіх областях: і в будинку, і на роботі, і на відпочинку. Безпосередня залежність людського життя від безперебійного енергопостачання зростає на транспорті (починаючи з ліфтів і закінчуючи системами забезпечення безпеки на швидкісних залізничних магістралях) і в медицині, що належить сьогодні на складні і дорогі прилади, а не тільки на стетоскоп і ланцет.

Повсюдне поширення комп'ютерів тільки підвищує вимоги до енергопостачання. Не тільки "кількість", але і "якість" електроенергії стають критичними для банків, телекомунікаційних або промислових компаній. Стрибок або збій напруги можуть спричинити сьогодні не просто зупинку або псування машини, а й втрату інформації, відновлення якої іноді незрівнянно складніше ремонту обладнання.

Вимоги до енергопостачання формуються просто - надійність, сталість. І для багатьох стає ясно, що на сьогодні єдиний шлях мати продукт вищої якості - зробити його самому. Військові в усьому світі знають це давно, промисловці вже прийшли до таких рішень, а сім'ї і підприємства малого бізнесу почали усвідомлювати переваги володіння електрогенераторами і тепловими котлами тільки зараз. Криза склалася монополізованої енергетичної інфраструктури і почалася лібералізація енергетичних ринків одночасно і збільшують ступінь невизначеності майбутнього, і привертають можливостями, що відкриваються для бізнесу. І той і інший фактор збільшують попит споживачів енергії на власні генеруючі потужності.

У разі використання системи когенерації споживач застрахований від перебоїв у централізованому енергопостачанні, час від часу виникають або внаслідок крайнього зносу основних фондів в електроенергетиці, або природних катаклізмів чи інших непередбачених причин. У нього, швидше за

все, не виникне організаційних, фінансових чи технічних труднощів при зростанні потужностей підприємства, оскільки не знадобиться прокладка нових ліній електропередач, будівництво нових трансформаторних підстанцій, перекладка теплотрас і т.д. Більше того, знову придбані когенератори вбудовуються у вже існуючу систему.

Розташування енергоцентру в безпосередній близькості від споживача має на увазі те, що Енергоцентр знаходиться в зоні безпеки конкретного підприємства, і енергопостачання залежить тільки від споживача.

Розподілені (автономні) джерела енергії, подібні систем когенерації, знижують вразливість інфраструктури енергетики. Станції когенерації, розсіяні по Європі та Америці, менш вразливі до природного і умисного руйнування, ніж великі центральні електростанції. Когенерація в основному працює на природному газі та інших "побутових" видах палива, тобто не вимагає екстраординарних заходів щодо забезпечення паливом.

Когенерація підвищує надійність енергопостачання споруд - це суттєва перевага в умовах мінливого ринку енергії і високотехнологічного суспільства. Високонадійне електропостачання критично важливо для більшості компаній, що працюють в інформаційній, виробничій, дослідницькій галузях, сфері безпеки і т.д.

Споруди подібно інформаційним центрам вимагають "6 дев'яток" або 99,9999% ймовірності безперебійної подачі електроенергії. Розподільні електромережі забезпечують тільки 4 дев'ятки або 99,99% ймовірності - недостатня ймовірність для компанії, яка втрачає мільйон доларів за хвилину при збоях електроживлення. Автономна енергетика забезпечує основний електропостачання, а мережі використовуються як резерв.

Когенерація може гарантувати широко відомі "6 дев'яток" надійності електропостачання цифровим системам, також як забезпечити охолодження високотехнологічного обладнання. Комп'ютерні мікросхеми, що діють в промислових процесах, мережах зв'язку, Інтернет-комунікаціях і фінансових

операціях, можуть, при втраті живлення, зберігати інформацію тільки протягом 8 мілісекунд.

Система когенерації не представляє бажаної цілі для потенційних терористів, на відміну від, наприклад, атомної електростанції.

11.4. Економічна ефективність.

Когенерація пропонує чудовий механізм економічного стимулювання.

Високі витрати на енергію можуть бути зменшені в кілька разів.

Наприклад, при якісній реалізації проекту, система когенерації може виробляти енергію, собівартість якої в 7 разів менше.

Зменшення частки енергії в собівартості продукції дозволяє істотно збільшити конкурентоспроможність продукту.

Частка енергії в собівартості продукту коливається від 10% до 70%, що в 5-10 разів вище світового рівня. У собівартості продукції хімічної промисловості на енергію припадає близько 70%. В металургії - до 27%. Темпи зростання тарифів на енергію перевищують темпи зростання цін на продукцію більшості галузей господарства. Це стало однією з найважливіших причин збільшення питомої ваги витрат на енергію в собівартості продукції. Особливо слід підкреслити, що при зменшенні випуску промислової продукції в 3-4 рази споживання енергії на підприємствах скоротилося всього лише в 1,5-2 рази. Використання у виробництві морально і фізично застарілого обладнання, що пояснюється, перш за все, відсутністю у більшості промислових підприємств коштів на його заміну або модернізацію, призводить до нераціонального витраті енергетичних ресурсів і лише погіршує ситуацію.

Неякісне електропостачання - головний чинник уповільнення економічного зростання. Когенерація є практично найоптимальнішим варіантом забезпечення надійності постачання електричною енергією.

Енергозалежна економіка вимагає все більше і більше енергії для роботи і розвитку. При традиційному енергозабезпеченні виникає безліч

організаційних, фінансових і технічних труднощів при зростанні потужностей підприємства, оскільки часто необхідні прокладання нових ліній електропередач, будівництво нових трансформаторних підстанцій, перекладка теплотрас і т.д.

У той же час, когенерація пропонує вкрай гнучкі та швидкі в плані нарощування потужностей рішення. Нарощування потужностей може здійснюватися як малими, так і досить великими частками. Цим підтримується точна взаємозв'язок між генерацією та споживанням енергії. Таким чином, забезпечуються всі енергетичні потреби, які завжди супроводжують економічний ріст.

Вартість прокладки енергокомунікацій і підключення до мереж можуть вилитися в суму, порівнянну або перевищує вартість проекту когенерації. Природоохоронні обмеження, вартість землі і води, державне регулювання - є тисячі перешкод для енергокомпанії, вирішила побудувати нову потужну електростанцію.

Паливом є газ, його перевагою є відносна дешевизна, мобільність і доступність.

Когенерація дозволяє утриматися від непотрібних і економічно неефективних витрат на засоби передачі енергії, до того ж виключаються втрати при транспортуванні енергії, так як енергогенеруюче обладнання встановлено в безпосередній близькості від споживача.

Значне і швидке зниження емісій шкідливих речовин приносить істотну користь не тільки в екологічному контексті. Також має місце моральне й економічне задоволення подібних зусиль: зниження або повне позбавлення від штрафів, гранти, податкові пільги, зняття багатьох екологічних обмежень.

Існує незліченна кількість економічних вигод когенерації, на жаль, частина цього потенціалу залишається непоміченою кінцевими користувачами, промисловістю, бізнесом і владою або не реалізованої компаніями-виконавцями.

Когенерація зменшує витрати на паливо/енергію - ККД виробництва енергії з первинного палива збільшується в 2-3 рази, споживачі скорочують витрати на паливо на дві третини і отримують можливість ефективного застосування утилізованого тепла (сушіння, охолодження, кондиціонування і т.д.).

Когенерація оптимізує споживання природного газу - знижуються витрати на придбання газу, вимоги до газової інфраструктури і занепокоєння щодо запасів газу.

Когенерація знижує потреби в нових лініях електропередач - дозволяє уникнути будівництва дорогих і небезпечних високовольних ліній над приватною власністю, екологічного протиборства. Розподілена енергетика в майбутньому могла б зменшити капітальні вкладення і зменшити вартість нової енергії. З когенераційними системами, розташованими в безпосередній близькості від споживача, виключаються втрати енергії. Величини втрат нинішніх мереж лежать в межах від 5 до 20% сумарної потужності.

11.5. Обладнання когенерації, утилізація тепла.

Кожен, хто стикався з газовими генераторами електрики, напевно замислювався про те, що отримується тепло можна якось утилізувати. Ця ідея лежить в основі когенераторних електростанцій. Вони використовують енергію газу для вироблення не тільки електрики, але і теплової енергії. У процесі роботи когенераторної установки виробляється електрика, пара і гаряча вода. Це дає можливість використовувати когенераторні електростанції не тільки в якості генераторів електроенергії, але і як установки для опалення і гарячого водопостачання приміщень. За рахунок такої високої ефективності і зростання тарифів великих теплоенергетичних компаній когенераторні установки окупаються досить швидко. Також варто підкреслити вигідність когенераторних електростанцій в плані капітальних вкладень. Найбільшими виробниками когенераторних установок на сьогоднішній день є: Caterpillar, Deutz AG, General Electric, GE Jenbacher,

Kawasaki, MAN B & W, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Solar Turbines, Turbomach SA, Wartsila, Waukesha Engine Division. І дивлячись на ці назви важко не погодитися з тим, що когенерація - наступний крок в раціональному енергоспоживанні та утилізації тепла.

Когенераційна установка як така - це мініатюрна теплоелектроцентраль (ТЕЦ). Проте є принципова відмінність у їх роботі: коефіцієнт корисної дії (ККД) ТЕЦ, яка передбачає спільне використання котла опалення та дизельного генератора, не перевищує 54%, а ККД когенераційних установок досягає 90-92%. Весь «фокус» полягає саме в тому, що отримання тепла і вироблення електроенергії здійснює одна і та ж установка, яка являє собою ту чи іншу комбінацію парових або водогрійних котлів, топок, печей та інших теплогенеруючих пристроїв і теплоутилізаторів з газотурбінними або газо-поршневими установками і газоперекачувальних агрегатів. Двигун внутрішнього згоряння приводить в рух електрогенератор, а тепло системи охолодження цього самого двигуна, масла і відпрацьованих газів відводиться за допомогою теплообмінників і подається в систему опалення, гарячого водопостачання йди кондиціонування повітря. Ми не помилилися: саме кондиціонування. Для того щоб отримати холод з тепла, що виробляється когенераційної установкою, застосовуються абсорбційні холодильні машини. Як показує практика, при використанні таких установок доцільно підключення до електричної мережі. При необхідності надлишок електроенергії, що виробляється когенераційної установкою, подається в цю мережу, а у разі підвищення навантаження вище певної межі електрика, навпаки, відбирається з мережі.

До складу когенераційних установок входять такі елементи:

- газо-поршневої або газотурбінний двигун внутрішнього згоряння з каталізатором;
- електрогенератор;
- теплообмінник для охолодження вихлопних газів;
- теплообмінник для охолодження мастила;

- теплообмінник для нагріву холодної води;
- глушник вихлопних газів;
- звукоізоляція;
- електричний пристрій контролю і управління;
- пусковий механізм (стартер);
- трубопроводи для подачі (відводу) пального, вихлопних газів і мережної води.

ТЕМА 12. ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНЕ ПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

12.4. Експлуатація систем енергопостачання.

12.5. Організація технічної експлуатації інженерних енергетичних систем.

12.4. Експлуатація систем енергопостачання.

Система теплопостачання складається з установок, які забезпечують підготовку, передачу та використання теплоносія.

Особливість експлуатації теплових мереж у сільському господарстві полягає в тому, що спостерігається значна розрізненість виробничих об'єктів, а також велика нерівномірність споживання теплоти за сезонами року. Це потребує диференційного підходу до вибору системи постачання і джерела теплоти кожного об'єкта.

Основне завдання ефективної експлуатації теплових мереж полягає в організації безперебійного постачання споживачів теплотою належної якості за встановленим графіком, а також безаварійної роботи обладнання джерел теплоти і абонентських вводів.

Для цього необхідні:

- узгодження роботи котельної теплових мереж і абонентських вводів;
- правильний розподіл теплоти між споживачами та її облік;

- ретельний нагляд за мережами, своєчасне проведення профілактичного огляду і ремонту обладнання.

12.5. Організація технічної експлуатації інженерних енергетичних систем.

Вагомою є задача оптимізації режимів роботи енергетичних систем в процесі їх експлуатації.

Критерій ефективності (КЕ) системи (y) – це показник, за яким можна оцінити ступінь відповідності системи для виконання своїх функцій. Коефіцієнт ефективності використовують для порівняльного оцінювання різних варіантів системи, а також для аналізу, синтезу і оптимізації дослідної системи. Найпоширенішими критеріями ефективності є економічні критерії.

Для енергетичних систем оцінним показником є втрати енергії. Кількісною та якісною характеристикою роботоспроможності потоків енергії в системі є ексергія. Для енергозберігальних систем основним критерієм ефективності може служити результативність перетворення потоків енергії в системі, а також термодинамічний ступінь досконалості функціонування системи і її окремих елементів.

Аналіз, синтез і оптимізація енергетичних систем мають ґрунтуватися на математичних методах рішення екстремальних задач.

Відповідно до методу системного аналізу в процесі дослідження можна виділити такі етапи.

Побудова моделі, тобто формалізація досліджуваного процесу чи явища. Цей етап допускає описування процесу за допомогою математичної моделі.

Формальне описування системи таке. У кожний момент часу $t \in T$ на вході в систему надходить вхідний параметр $x(\tau)$, який являє собою вектор $X = (X_1, X_2, \dots, X_m)$ в m -вимірному просторі вхідних параметрів X . У момент часу на систему діє зовнішнє середовище, яке описується n -вимірним вектором $U = (U_1, U_2, \dots, U_n)$ в просторі дії U .

Система характеризується набором внутрішніх, тобто власних, параметрів $\Pi = (\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_k)$. Сукупність внутрішніх параметрів може розглядатися як вектор в k - вимірному просторі параметрів Π .

У кожен момент часу система знаходиться в деякому стані $Z(\tau)$. Початковий стан позначимо через Z_0 .

Вихідні параметри системи в деякий момент часу $t_c \in T$, де $t_c > t_0$, в проміжку часу $t_c - t_0$ визначають співвідношенням:

$$y(t_c) = F[\tau, Z_0, x(\tau), U(\tau)] \quad (12.1)$$

Для систем, що складаються із декількох підсистем, всю установку розділяють на скінчену кількість частин (основних елементів установки) і формулюють задачу для кожної частини (елементу) системи. При цьому слід враховувати зв'язок між цими частинами.

Під час формулювання задачі оптимізації необхідно виділити змінні, значення яких можуть змінюватися в досить великому діапазоні і визначаються зовнішніми факторами. Крім того, слід враховувати параметри, які піддаються флуктуаціям, наприклад, пульсаційні змінні в турбулентних газодинамічних потоках.

Допустимо, що мають місце n елементів цієї установки і можливі m позицій для установаження елементів. Крім того, відома вартість C_{ij} призначення i -го елемента на j -у позицію. Необхідно визначити для кожного елемента всієї множини елементів об'єкта таку позицію, щоб загальна вартість розміщення всіх елементів була мінімальною. Формулювання математичної задачі полягає в мінімізації функцій всіх перестановок P :

$$F = \min_{P(i)} \sum C_{ip(i)} \quad (12.2)$$

де $P(i)$ - призначення деякої позиції i -го елемента.

Можливий інший критерій оптимізації, а саме вартість зв'язку елемента. При цьому звертаються до квадратичної задачі про призначення. Будемо вважати, що відома вартість C_{ij} одиниці зв'язку між елементами i та j ,

які назначаються в позиції $P_{(i)}$ і $P_{(j)}$. Відстань між відповідними позиціями позначимо через $L_{P(i)P(j)}$. У такому випадку мова йде про мінімізацію виразу

$$G = \sum_{ij} C_{ij} L_{P(i)P(j)} \quad (12.3)$$

Іноді може бути більш складна задача, а саме оптимізація за двома вказаними вище критеріями. Математично це формулюють так:

$$K = F + G = \min \left(\sum_i P_{ip(i)} + \sum_{\substack{i \\ P(i)P(j)}} C_{ij} L_{P(i)P(j)} \right) \quad (12.4)$$

Пошук оптимального варіанта розміщення елементів об'єкта закінчують, коли розглянуто всі перспективні варіанти визначення $R_{opt} = \min_{|R|} \sum_i P_{ip(i)} = P_m$, де P_m – верхня гранична оцінка з цього пошуку варіанта розміщення елементів об'єкта.

Для наступного етапу пошуку характерно те, що в міру накопичення інформації про можливості розроблюваної машини ускладнюють і вдосконалюють ставлення завдання. При цьому з врахуванням використовуваної інформації деякі вимоги послаблюють, а інші – посилюють.

На завершення підкреслимо, що термоекономіка поєднує термодинамічний (ексергетичний) і вартісний аналіз, її слід розглядати як метод, що вказує шляхи скорочення вартості системи, як під час її створення, так і подальшої експлуатації за одночасного підвищення енергетичної ефективності установки.

ТЕМА 13. ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНЕ ПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТІВ ТА ПРИМІЩЕНЬ ЗАКРИТОГО ГРУНТУ

13.1. Напрями реформування та розвитку енергопостачання тепличних комплексів.

13.2. Використання власної електростанції.

13.3. Вторинне використання енергії вихідних газів.

13.4. Використання продуктів згоряння в тепличному господарстві підприємств

13.5. Комплексні схеми використання продуктів згоряння

13.1. Напрями реформування та розвитку енергопостачання тепличних комплексів.

Штучно створюючи оптимальні умови росту в теплиці, можна цілий рік вирощувати овочі, домашні рослини, квіти і саджанці навіть в місцях з суворим кліматом. Галузь захищеного ґрунту є настільки індустріальної і високотехнологічної, наскільки і енергоємної. У більшості господарств в структурі собівартості продукції вартість енергоносіїв доходить до 50-60%. Необхідність підігріву води для поливу висаджених культур, ґрунту і повітря в теплицях вимагає колосальної кількості теплової енергії особливо при низьких температурах навколишнього повітря. Для отримання тепла більшість вітчизняних тепличних господарств використовують котельні, в яких первинний енергоносіє (газ, вугілля та ін) спалюють, тільки щоб отримати теплову енергію для обігріву. Постачальником електричної енергії для електропостачання технологічного обладнання теплиць (насосне та вентиляційне обладнання, транспортери і т.д.), як правило, виступають територіальні енергозбутових компаній. Не секрет, що лінії електропередачі і комутаційне обладнання за довгий час експлуатації морально і технічно застаріли. Але навіть високі тарифи на електроенергію, які за останні кілька років виросли в рази і, судячи з усього, будуть продовжувати рости, не дають гарантії власнику тепличного комплексу, що він в якийсь момент не зіткнеться з знеструмленим господарством. Тривала відсутність енергопостачання і, отже, неможливість здійснення технологічних процесів може привести до значного зниження врожаю, хвороби або навіть загибелі рослин.

Варто відзначити існуючі взаємини тепличних господарств і енергозбутових компаній. ТСО і ЕСК сьогодні ставлять питання про

підписання договору на енергопостачання теплиць на п'ять років вперед з урахуванням погодинних лімітів електроенергії. Ці вимоги ставлять тепличні господарства в скрутне становище - енергоспоживання теплиць у великій мірі залежить від температури навколишнього повітря і погоди, передбачити яку навіть на місяць вперед з високим ступенем імовірності неможливо. Ріст рослин визначається процесами фотосинтезу, для якого головним джерелом енергії є світло, а темпи росту і розвитку рослин пропорційні рівню їх освітленості. Тому все частіше компанії галузі захищеного ґрунту використовують технології досвічування особливо в зимовий, весняний та осінній періоди, коли низький рівень природної сонячної радіації супроводжується коротким світловим днем. Доведено, що використання правильних технологій освітлення дозволяє вдвічі підвищити врожайність, продовжити сезон, розширити асортимент культур, поліпшити якість продукції і гарантувати постачання. Варто зауважити, що обмежена пропозиція на ринку сільськогосподарської продукції та відносно високі ціни на неї в період осінь-весна роблять рентабельними системи електричного досвічування. Однак ці системи вимагають значної кількості електричної енергії (до 100 Вт на 1 кв.м площі), щоб досягти рівня освітлення до 6-7 КЛК. Велика врожайність досягається при освітленні 20 КЛК і вище. Відповідно, для цього необхідно встановлювати більшу кількість світильників і при експлуатації витрачати більшу кількість електричної енергії.

Нескладно підрахувати, що сумарне енергоспоживання тепличного господарства на досвічування може доходити до десятка МВт. В цілому експерти галузі наводять такі цифри: енергоспоживання 1 га теплиці складає близько 1 МВт електроенергії і 2 МВт тепла. Беручи до уваги високу питому вартість енергоносіїв в ціні продукції, суттєвого зниження собівартості продукту та збільшення прибутковості можна досягти лише зменшенням «енергетичної складової». Експерти при аналізі існуючих схем енергопостачання тепличних господарств віддали перевагу автономної генерації.

13.2. Використання власної електростанції.

Дійсно, власна теплоелектростанція дозволить не тільки виключити або значно зменшити платежі на адресу електро-і теплосбутової компаній, але і значно підвищити врожайність за рахунок корисного використання двоокису вуглецю (вуглекислого газу), який у великій кількості міститься у вихлопних газах. Технологічний процес виглядає наступним чином: когенераційна установка виробляє електроенергію, у теплообмінному обладнанні відбувається передача тепла вихлопних газів, систем змащення і охолодження зовнішньому контуру споживача. Паралельно з цим через вихлоп відбувається викид продуктів горіння. Енергоспоживання 1 га теплиці становить близько 1 мВт / год електричної енергії і 2 мВт / год теплової. У більшості господарств в структурі собівартості продукції енергоносії припадає до 50-60%.

Далі вихлопні гази проходять процес очищення і видалення оксидів азоту, потім охолоджуються в теплообмінному апараті до допустимої температури (приблизно до $+50^{\circ}\text{C}$). За допомогою лопатевих турбовентиляторів гази змішуються з повітрям в теплиці і доставляються безпосередньо до підстав рослин. У навколишньому повітрі міститься близько 350 об'ємних часток вуглекислого газу. Для активного зростання, в залежності від виду рослин, в атмосфері теплиці має міститися від 700 до 800 об'ємних часток CO_2 . За одну годину міні-ТЕС потужністю 1 МВт при середньорічній навантаженні 75% виробляє 372 кубічних метра вуглекислого газу нормального тиску з вмістом CO_2 на рівні 700 ppm. При такому підході врожайність окремо взятій теплиці зростає приблизно на 40%. Спільне ж використання технологій досвічування із збагаченням вуглекислим газом призводить до підвищення врожайності в 2-2,5 рази! Вигода очевидна! Варто відзначити, що Енергоцентр тепличних комбінатів є найефективнішим рішенням для організації автономного енергопостачання і забезпечують коефіцієнт використання палива (КІТ) системи на рівні 95-97%. Дійсно, крім електричної і теплової енергії споживач отримує джерело вуглецевого

живлення рослин, що необхідно для інтенсивного процесу фотосинтезу. Доля автономного енергопостачання теплиць в нідерландах - країна з одним з найрозвиненіших у світі аграрних господарств - більше 30%.

Електрична енергія витрачається на покриття власних потреб і штучне освітлення тепличного господарства, а за допомогою системи утилізації тепла відбувається постачання агрокомплексу тепловою енергією. Ефективне енергопостачання агрокомплексів, згідно думку експертів «Енерготех», може бути побудовано на базі газопоршневих генераторних установок, що працюють в когенераційних режимі за схемою, представленій на малюнку. Більш того, запропонована схема дозволяє використовувати тепло всіх контурів охолодження ГПГУ. Причому з різним температурним графіком.

Організація системи опалення з поділом контурів опалення на практиці показує свою ефективність в плані економії тепла і поліпшення температурних полів теплиці. Подібні схеми одержали широке поширення в європейських державах - Бельгії, Данії, Франції, Іспанії, Великобританії, Португалії, а досягли своєї кульмінації в тепличних господарствах Нідерландів.

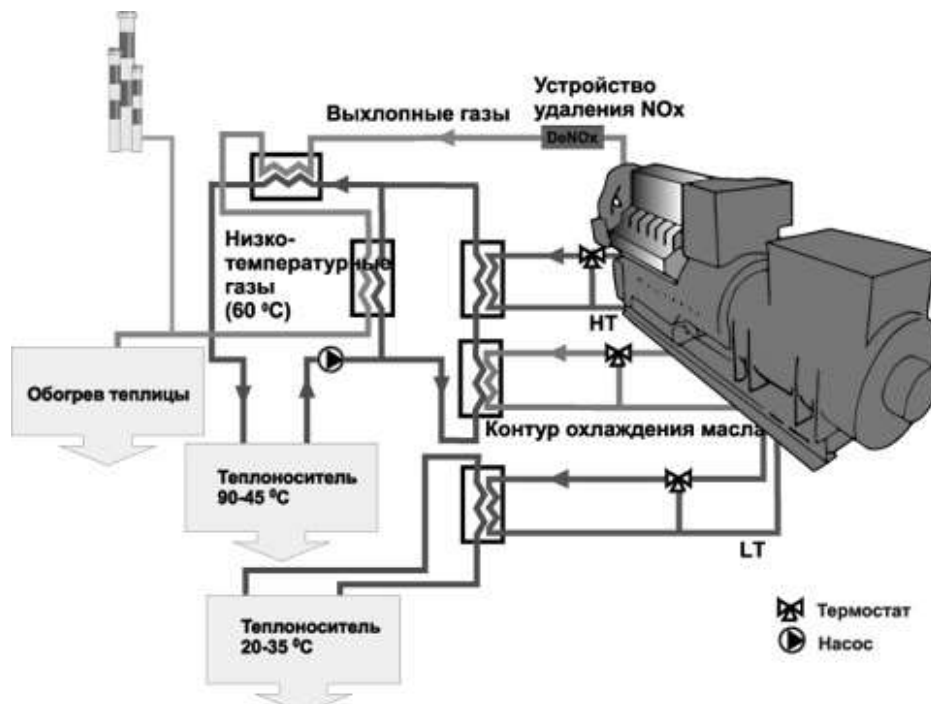


Рисунок 13.1. Використання продуктів згоряння природного газу в тепличному господарстві підприємств.

Саме тут багаторічний досвід культивування квітів і овочів зробив цю систему унікальною і не має аналогів у світі. В якості палива може використовуватися як природний магістральний газ, так і біогаз - продукт анаеробного розкладання органічних відходів. Крім систем утилізації тепла і комплектних розподільчих пристроїв 6,3 кВ або 0,4 кВ до складу Енергоцентр агрокомплексу необхідно включити систему виділення CO₂ з димових газів. Результатом проведеної модернізації виробництва стане істотне збільшення продуктивності теплиць, підвищення надійності та якості електро-і теплопостачання і, нарешті, істотна економія грошових коштів, а в разі використання біогазу - незалежність від постачальників палива і додаткове джерело добрив.

13.3. Вторинне використання енергії вихідних газів.

Використання вторинних енергетичних ресурсів для опалення тепличних господарств підприємств харчової промисловості - один з перспективних напрямків. Необхідність досліджень у цій області обумовлена тим, що капітальні витрати на системи опалення та вентиляції складають 30-50% від кошторисної вартості тепличного господарства. Відсутність розробок і нормативних документів, які враховують особливості проектування теплиць на території підприємств, призводить до подорожчання їх конструкцій і збільшення експлуатаційних витрат на опалення.

У нашій країні і за кордоном є досвід застосування ВЕР для обігріву культиваційних споруд. Для цієї мети використовують геотермальні джерела, скидну воду теплових і атомних електростанцій, теплоту продуктів згоряння газокompресорних станцій.

Для теплиць, розташовуваних на території промислових підприємств, можуть бути використані гази, що відходять від технологічного обладнання (нагрівальних печей, сушарок і т. д.) і котельних агрегатів, а також гаряча вода або пара від технологічного обладнання. Гарячу воду, що має високу

температуру, використовують у традиційних системах водяного опалення теплиць, низькотемпературну воду - в контактних апаратах для нагрівання та зволоження повітря, що подається в теплицю.

Досить часто теплота продуктів згоряння після хвостових поверхонь котельних агрегатів не застосовується через низького потенціалу і втрачається, знижуючи загальний коефіцієнт корисної дії котельні. У той же час витрати на опалення теплиць складають до 60% собівартості вирощуваної в них продукції, тому освоєння зазначених ВЕР дозволяє значно знизити експлуатаційні витрати.

13.4. Використання продуктів згоряння в тепличному господарстві підприємств.

Великий інтерес представляє також використання діоксиду вуглецю (вуглекислого газу), що міститься в продуктах згорання, для підгодівлі тепличних культур. Застосування технічних джерел вуглекислого газу дозволило автоматизувати процес підгодівлі вуглекислотою і управляти ним протягом усього вегетаційного періоду рослин.

До теперішнього часу застарів спосіб підживлення за допомогою сухого льоду (високі трудові витрати, незначне виробництво сухого льоду). Застосування зріджених вуглекислоти різко обмежене тими ж причинами, а також високими транспортними витратами. Використання керамічних газових пальників інфрачервоного випромінювання, основне призначення яких - обігрів повітря, також є неперспективним через небезпеку програвав у весняно-літній період та генерування вуглекислого газу в нічний час.

Найбільшого поширення набув спосіб підживлення вуглекислим газом, одержуваним при полум'яному горінні газоподібного топ лива (при згорянні рідкого або твердого палива утворюється багато токсичних домішок).

Найбільш дієвим джерелом вуглекислого газу в теплицях за наявності газової котельні є продукти згоряння природного газу, вміст CO_2 в яких становить зазвичай 4-8% в залежності від режиму роботи котла.

Роботи з дослідження можливості повного задоволення потреби тепличних культур у вуглекислому газі шляхом використання продуктів згоряння природного газу, що відходять від котельні, описані в .

Отже, застосування продуктів згоряння природного газу в тепличному господарстві дозволяє одночасно вирішувати два завдання - підвищення врожайності і збільшення економічності роботи тепло-агрегатів.

13.5. Комплексні схеми використання продуктів згоряння.

У Державній академії нафти і газу ім. І.М. Губкіна розроблені комплексні схеми використання продуктів згоряння в теплицях, що дозволяють вирішувати зазначені завдання на основі застосування контактних економайзерів.

Продукти згоряння, що відводяться від котлоагрегатів, подаються в контактний економайзер (рис. 13.2). Охолоджені чисті продукти згоряння з економайзера, змішані в необхідній пропорції з атмосферним повітрям, нагнітаються димососом в теплицю, забезпечуючи вуглекислотну підживлення рослин, що приводить в остаточному підсумку до підвищення врожайності тепличних культур. Система розподілу продуктів згоряння по теплиці складається з магістрального трубопроводу, до якого приєднані перфоровані поліхлорвінілові рукава. Теплота, віддана продуктами згоряння в контактному економайзері, витрачається на нагрів води до температури 42-55 °С. Ця вода за своїми енергетичними параметрами може бути використана в системі підґрунтового обігріву теплиці. При цьому система обігріву повинна бути виконана з пластмасових труб внаслідок підвищеної активності углекіслотосодержащей води. Основним призначенням води з контактного економайзера є її використання для поливу тепличних культур, що дає

додатковий приріст врожайності за рахунок вмісту в воді розчиненого вуглекислого газу.

Вода для поливу рослин повинна мати температуру 22-25 °С. Максимальна витрата поливної води складає близько 17 т / год для площі 1 га в літній час (червень-серпень) для томатів. Для охолодження води з контактного економайзера до необхідної величини її слід розбавляти водопровідною. Якщо прийняти наступні дані: температура води з контактного економайзера - 50 °С, температура водопровідної води - 15 °С, температура поливної води - 25 °С, витрата поливної води - 17 т / год, то для здійснення процесу поливу з заданою температурою потрібно на 1 га 5 т / год нагрітої води з контактного економайзера.

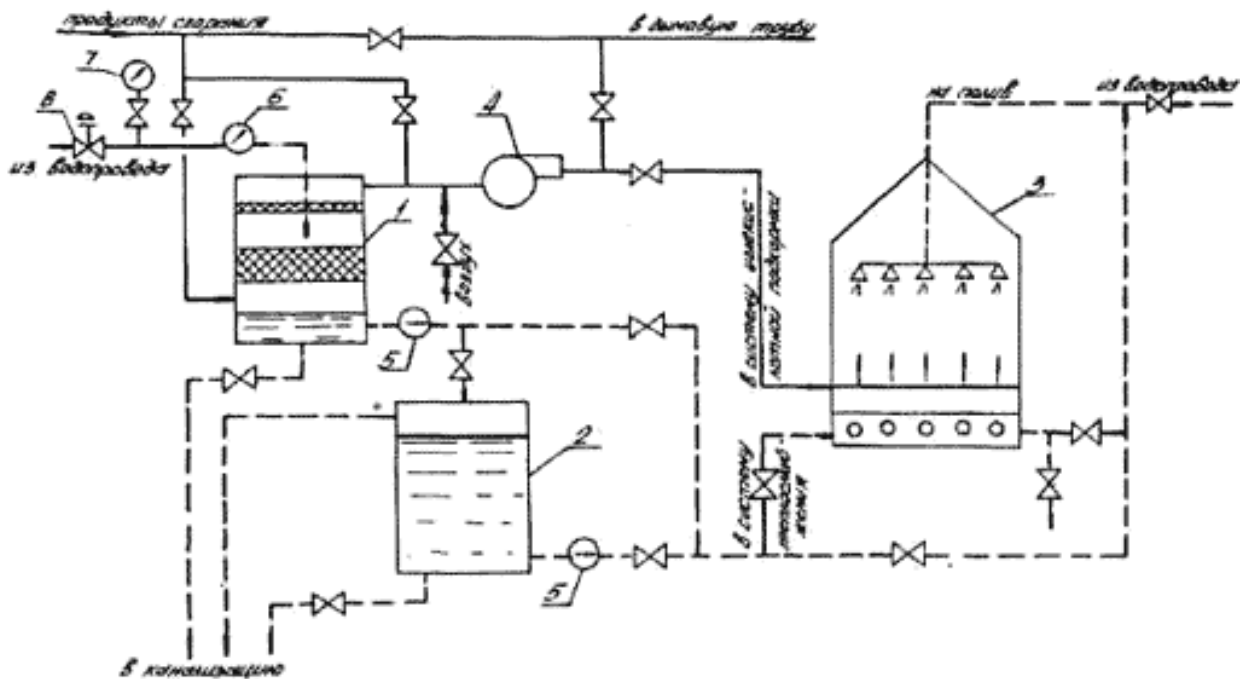


Рисунок 13.2. Комплексна схема використання продуктів згоряння природного газу в тепличному господарстві: 1 - контактний економайзер; 2 - бак-аккумулятор; 3 - теплиця; 4 - димосос; 5 - насос; 6 - витратомір; 7 - манометр; 8 - регулювальний вентиль.

На підставі агротехнічних норм потреба в чистій вуглекислоті на 1 га теплиць складає 100 м³/год. Якщо прийняти середній вміст CO₂ в продуктах згорання, що відводяться від котлоагрегатів, рівним 6%, то загальна потреба в димових газах для здійснення вуглекислотної підгодівлі на площі 1 га

складе 1880 м³/год, тобто обсяг продуктів згоряння від котлоагрегатів виявляється достатнім для підгодівлі рослин в приміщеннях блоку теплиць.

На рис. 13.3 представлена модифікація розглянутої вище схеми, що відрізняється від неї наявністю декарбонізаторної колонки, що дозволяє звільнити нагріту в економайзері воду від вуглекислого газу. Вода після колонки, вже не володіє корозійної активністю, може бути використана в системі теплопостачання та для інших технологічних потреб, причому подачу її можна здійснювати по сталевих трубопроводах. Проходить через насадку декарбонізаторної колонки повітря насичується вуглекислим газом і подається в культивацийних приміщення теплиць через систему вуглекислотної підгодівлі.

Проведені аналізи складу продуктів згоряння за котлами не виявили наявності СО, а вміст NO_x в обсязі теплиці не перевищувала 5 мг/м³. Разом з тим зазначена обставина не усуває необхідності установки в культивацийних приміщеннях газоаналізаторів.

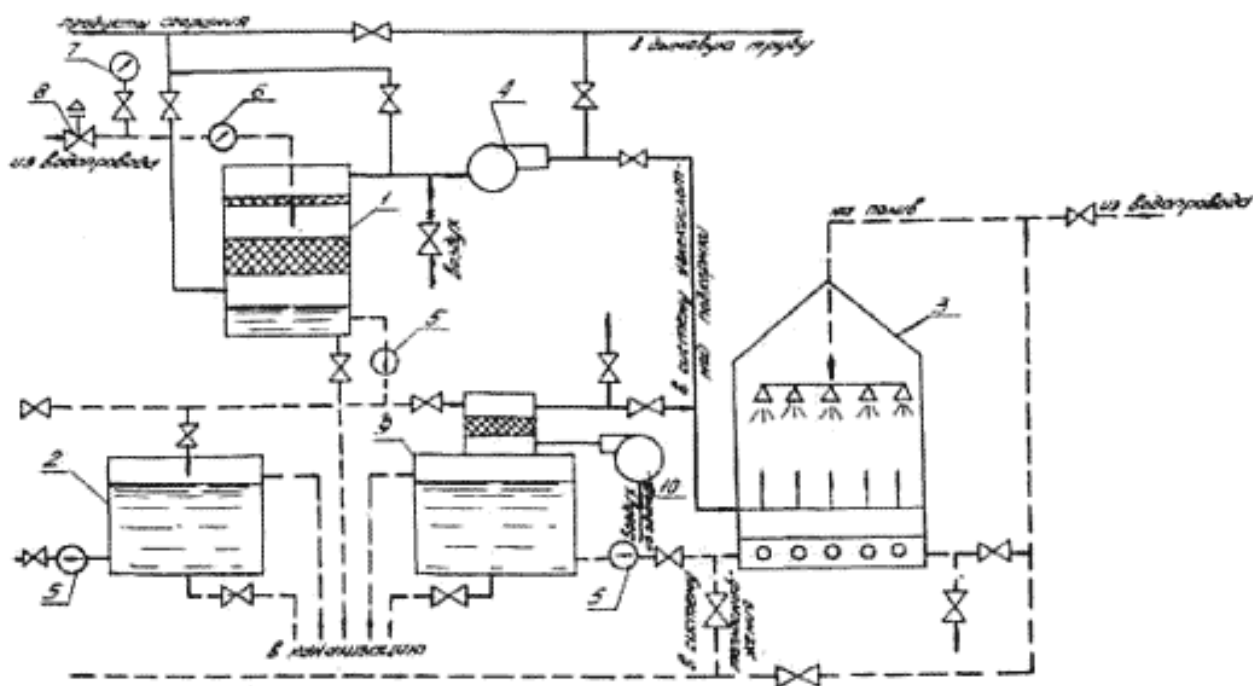


Рисунок 13.3. Комплексна схема використання продуктів згоряння природного газу в тепличному господарстві із застосуванням декарбонізації води: 1 - контактний економайзер; 2 - бак-аккумулятор; 3 - теплиця; 4 - димосос; 5 - насос; 6 - витратомір; 7 - манометр; 8 - регулювальний вентиль; 9 - декарбонізаторна колонка; 10 - вентилятор.

У деяких випадках можлива поява в продуктах згорання оксиду вуглецю в кількостях, що перевищують допустимі. Тоді необхідна установка в хвостовій частині котлоагрегатів дожигатель-них насадок, що дозволяють усунути вміст СО і бензапирену в продуктах згорання і істотно зменшити вміст оксидів азоту за рахунок зниження надлишку повітря в топці.

На промислових підприємствах впроваджені системи опалення теплиць за рахунок використання теплоти відхідних газів. Джерелом ВЕР на заводі є дві водогрійні та парові котельні.

Запропоновані ґрунтові теплиці мають три системи водяного обігріву: покрівельний обігрів, надпочвенного і підґрунтовий (рис. 13.4). Система приґрунтовий обігріву (переносні та стаціонарні трубопроводи) включає в себе також бічний, торцевий і контурний обігріву. Для систем бічного, покрівельного, торцевого і контурного обігріву в якості теплоносія прийнята вода з параметрами 95-70 °С, для систем підґрунтового і приґрунтовий обігріву - 40-30 °С. Системи опалення запроектовані з попутним рухом теплоносія.

Нагрівальними приладами для систем покрівельного обігріву теплиці служать скляні труби, для систем бічного, торцевого і контурного обігріву - сталеві гладкі труби, а для систем приґрунтовий і підґрунтового обігріву - труби з поліетилену низької щільності.

Температура повітря в теплицях регулюється автоматично за допомогою вузлів регулювання з двоходовий регулюючими клапанами, розміщеними в сполучному коридорі, і клапанами пропорційного регулювання, встановленими в котельні.

Вентиляція теплиць - природна. Надлишкова теплота від сонячної радіації видаляється через що відкриваються в покрівлі кватирки. З метою боротьби з перегрівом передбачено влаштування систем випарного охолодження, можна використовувати і шторний теплозахисний екран з нетканого полотна.

Схема використання теплоти відхідних газів від котелень працює таким чином. Продукти згоряння після хвостових поверхонь водогрійних котлів 1 з температурою 170-180 °С подаються в контактні економайзери 2 типу ЕК-БМ-1-2, де виробляється нагрівання води до температури 50-55 °С. Нагріта вода після контактних економайзерів надходить у проміжну ємність 3, а потім насосом 4 направляється в системи підґрунтового і приґрунтового обігріву теплиці 5. Ця ж вода, що містить вуглекислоту, використовується для поливу тепличних культур. Охолодження води до необхідної величини здійснюється розбавленням її водопровідної. Продукти згоряння, охолоджені в контактних економайзерах, видаляються димососом 6 через димову трубу 7 в атмосферу. Продукти згоряння після парових котлів 8 з температурою 180-190 °С подаються в контактні економайзери 9 типу ЕК-БМ-1-2, де виробляється нагрівання води. Для підвищення температури води до 85-90 °С використовується пар від продування котлів. Пара подається в нижню частину контактного економайзера і лунає через перфоровану трубу. Нагріта вода після контактних економайзерів 9 надходить в декарбонізаторну колонку 10, а потім насосом 11 направляється в системи покрівельного, бокового, торцевого і контурного обігріву теплиць 5. Продукти згоряння після контактних економайзерів і діоксид вуглецю після декарбонізаторної колонки димососом 12 через димову трубу 13 віддаляються в атмосферу.

Використання продуктів згоряння з економайзерів і діоксиду вуглецю після декарбонізаторної колонки для підживлення рослин не передбачається, так як відстань від котелень до теплиці більше 50 м.

Комплексний підхід до використання продуктів згоряння природного газу в тепличних господарствах дозволяє збільшити вихід товарної продукції, забезпечити економію природного газу і охорону повітряного басейну за рахунок зменшення шкідливих викидів.

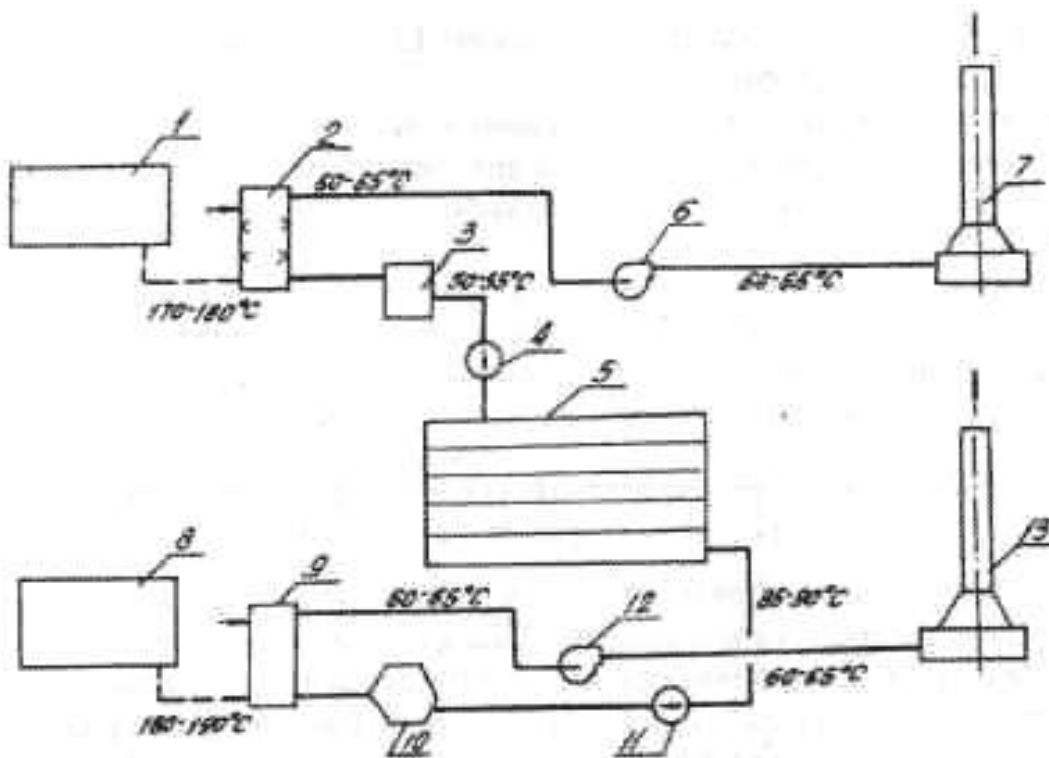


Рисунок 13.5. Схема комплексного використання продуктів згоряння природного газу в тепличному господарстві.

Тема 14. ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ДЛЯ ПРОМИСЛОВИХ ТА ПОБУТОВИХ ПОТРЕБ.

- 14.1. Трансформатори теплоти. Термодинамічні основи процесів трансформації теплоти.**
- 14.2. Розрахунок витрат енергоресурсів для промислових та побутових потреб.**
- 14.3. Теплова ізоляція трубопроводів, будинків і споруд.**
- 14.4. Підвищення ефективності систем опалення.**

14.1. Трансформатори теплоти. Термодинамічні основи процесів трансформації теплоти.

Теоретичні основи теплонасосних установок (ТНУ) викладені у курсі технічної термодинаміки. За принципом дії ТНУ поділяють на компресійні, сорбційні та термоелектричні.

У компресійних ТНУ підвищення температурного рівня відбираної робочим агентом низькотемпературної теплоти різних середовищ провадиться механічним стисканням робочого агента у компресорі. Залежно від виду робочого агента відомі повітряно- та парокомпресійні ТНУ.

У сорбційних ТНУ підвищення температурного рівня відбираної робочим агентом низькотемпературної теплоти різних середовищ здійснюється за рахунок термохімічних реакцій поглинання (сорбції) робочого агента відповідним сорбентом при низьких температурах, а потім виділення (десорбції) робочого агента при підведенні зовнішньої енергії у вигляді додаткової теплоти на більш високому температурному рівні. Залежно від виду термохімічних реакцій розрізняють абсорбційні та адсорбційні установки. У перших процес сорбції здійснюється у всьому обсязі абсорбента (на межі рідкої та парової фаз), у другому - на поверхні адсорбента, що перебуває, як правило, у твердій фазі (лід).

Термоелектричні ТНУ ґрунтуються на ефекті Пельтьє, що полягає у тому, що якщо через різномірні і поєднані один з одним метали пропускати постійний електричний струм, то у місці контакту (спаю) відбувається виділення теплоти. Від потужності струму, що підводиться до провідника, змінюється і температурний рівень теплоти, що виділяється. На цьому принципі побудовані напівпровідникові ТНУ.

У системі теплопостачання широко застосовують парокомпресійні ТНУ як найбільш освоєні і надійні в експлуатації, їх випускають на базі серійно виготовлюваного промисловою холодильного обладнання.

Енергетична ефективність теплового насоса оцінюється коефіцієнтом перетворення, що дорівнює відношенню одержаної теплової потужності у конденсаторі за одиницю часу до затраченої на привід компресора потужності .

Низькопотенційним джерелом теплоти для теплонасосних установок може служити вода (річкова, озерна, морська або ґрунтова) температурою не

нижче 4 °С. ТНУ застосовують для теплопостачання як цивільних сільських будинків, так і виробничих.

Значне поширення одержали теплові насоси системи «повітря - повітря», в яких як джерело низькопотенційної енергії використовується атмосферне повітря. Як джерело тепла повітря має цілий ряд недоліків, основний з яких - низька теплоємність. При зниженні температури навколишнього середовища зростає потреба в енергії для опалення, тоді як здатність теплонасоса істотно знижується. Проте загальнодоступність такого джерела енергії компенсує ці недоліки.

Залежно від типу джерела теплоти та теплоспоживачів також існують системи «вода - повітря» або «повітря - вода».

Перспективним з точки зору ефективності використання теплових насосів є застосування їх спільно із відновлюваними джерелами енергії. Комбінована геліотеплонасосна система дає можливість цілорічно експлуатувати їх без додаткового джерела теплоти.

На об'єктах із незначною щільністю забудови існує можливість використати ґрунт як джерело теплоти для теплових насосів. Нагромаджена у землі (ґрунті) теплота являє собою акумульовану сонячну енергію, яка регенерується згідно із річним ритмом і не залежить від атмосферних умов. Постійність температури можна використати, встановлюючи на глибині до 2 м теплообмінник, що буде відбирати теплоту із ґрунту.

Із збільшенням глибини укладання труб з'являється можливість використання теплоти ґрунту тривалий час, поки температура зовнішнього повітря не стане позитивною і потрібне теплове навантаження опалюваного будинку не зведеться до мінімуму.

Використання теплових насосів на об'єктах, розміщених поблизу геотермальних енергоносіїв, може бути виправдане з економічної точки зору. Внаслідок низьких температур термальних вод на глибинах 2 км і високих витратах на глибинне свердління вимагається встановлення теплових насосів.

При цьому, враховуючи високий ступінь корозії, що виникає іноді, термальну воду слід спрямовувати до теплового насоса через теплообмінник.

У тваринницьких приміщеннях існує можливість використання теплових насосів із біогазовими установками. При видаленні із біоустановки шлаку відбувається також видалення вміщеної у них теплоти. Тому рекомендується застосовувати тепловий насос для регенерації теплоти, що видаляється із установки.

Теплові насоси можна використовувати у системах опалення, вентиляції і кондиціонування повітря виробничих приміщень сільськогосподарського виробництва.

ККД і методика розрахунку установки із тепловим насосом. Коефіцієнт перетворення приймається іноді за ККД ТНУ, проте він не відображає всіх втрат, пов'язаних із виробленням теплоти Φ_k . У реальних умовах, крім дроселювання, відбуваються втрати у трубопроводах і обладнанні ТНУ при перетворенні первинної енергії у приводному двигуні і передачі її до компресора, при виробленні первинної енергії та передачі її до двигуна тощо. Зокрема. при використанні електричної енергії ККД ТНУ може бути визначений за виразом:

$$\eta_{\text{ТНУ}} = \psi \eta_{\text{ТП}} \eta_{\text{ЕМ}} \eta_{\text{ЕС}} \eta_{\text{ЕЛ}} \quad (14.1)$$

де $\eta_{\text{ТП}}$ - ККД теплового потоку, що враховує втрати енергії і робочого агента у трубопроводах та обладнанні ТНУ; $\eta_{\text{ЕМ}}$ - електромеханічний ККД двигуна і компресора; $\eta_{\text{ЕС}}$ - ККД джерела, що виробляє додаткову електричну енергію; $\eta_{\text{ЕЛ}}$ - ККД електричних ліній передачі. Теплопродуктивність ТНУ:

$$\Phi_k = \Phi_k \psi / (\psi - 1) \quad (14.2)$$

Кількість палива, необхідна для такої теплопродуктивності:

$$B_{\text{ТНУ}}^{\text{пал}} = \frac{\Phi_k}{\Phi_p^H \eta_{\text{ТНУ}}}, \quad (14.3)$$

де $\Phi_{\text{пр}}$ - теплотворна здатність палива.

Економію палива, яку забезпечує ТНУ, визначають із рівняння:

$$\Delta B = \Phi_k \Phi_p^H (1/\eta_{\text{зам}} - 1/\eta_{\text{ТНУ}}), \quad (14.4)$$

де $\eta_{\text{зам}}$ - ККД заміщеного паливного джерела теплоти.

14.2. Розрахунок витрат енергоресурсів для промислових та побутових потреб.

Шляхи підвищення ефективності комунальної енергетики. У житловому господарстві споживається близько 30 % теплової енергії, одержаної від спалювання твердого й газоподібного палива, що добувається в країні. Тому економія теплоти тут є найважливішим народногосподарським завданням, яке необхідно вирішувати негайно. Важливість цього завдання пояснюється насамперед тим, що сумарна потреба житлових будинків, які експлуатуються, у тепловій енергії протягом одного року складає кількість, що приблизно в 30 разів більше потреби для нових житлових будинків, які вводяться в експлуатацію. Крім того можливості економії теплоти в будинках, що експлуатуються, значно більші, ніж у нових.

Слід урахувати і те, що в останні роки вартість видобутку й перевезення палива значно збільшилася. Сьогодні існуюча перевитрата теплової енергії в житлових будинках в порівнянні з розрахунковою оцінюється в 25 % і більше. Тому необхідно виявити й реалізувати в першу чергу такі енергозберігаючі заходи, які можуть бути здійснені найбільш просто.

Обов'язковою попередньою умовою проведення теплозберігаючих заходів є приведення у справний стан всіх контрольно-вимірювальних приладів й арматури систем опалення та гарячого водопостачання.

Не рідше двох разів у рік (на початку й наприкінці опалювального періоду) повинна проводитися перевірка виконання вказаних заходів. Одночасно необхідно виявити й усунути всі несправності зовнішніх огорожуючих конструкцій будинків із пред'явленням санкцій до мешканців, які не виконують вимоги з економії тепла. Таким чином, є п'ять головних показників, зміна яких (при проведенні певних заходів) дозволяє заощаджувати теплову енергію і паливо. Це зниження:

- втрат теплоти через зовнішні огорожуючі конструкції будинків (звичайно такі заходи здійснюються при реконструкції або капітальному ремонті житлового будинку);

- кількості зовнішнього повітря, що надходить до приміщення (через нещільності притворів у заповненнях світлових проміжків) до нормальної величини;

- витрати теплової енергії в системі опалення будинку;

- витрати теплової енергії в системі гарячого водопостачання будинку;

- витрати палива в котельнях.

Енергозбереження в будинках і спорудах. В останній час дуже високими стають витрати на опалення, збільшення теплового забруднення навколишнього середовища, атмосфери, перевитрата дорогоцінного палива. Ті, хто заощадив на теплоізоляції будинку, несуть непомірно високі витрати на опалення. Можна навести безліч прикладів, які підтверджують цей факт. Якщо врахувати ситуацію з енергоресурсами й цінами на нафту, то для України вона виявляється дуже складною.

Будинки всіх типів є найбільшими споживачами енергії (близько 3040 %). За рівнем споживання енергоресурсів з ними може зрівнятися тільки промисловий сектор. За оцінками вітчизняних і закордонних експертів, потенціал економії електроенергії в будинках і спорудах дорівнює 30-40 %, а теплової енергії - близько 50%.

Типова структура витрати теплової енергії будинком, а також потенціал енергозбереження є такими:

- зовнішні стіни - 30% (потенціал 50%);

- вікна - 35% (потенціал 50%);

- вентиляція - 15% (потенціал 50%);

- гаряча вода - 10% (потенціал 30%);

- дах, підлога - 8% (потенціал 50%);

- трубопроводи, арматура - 2% (потенціал 5%).

Як видно, основне споживання пов'язане з опаленням будинку для компенсації теплових втрат через вікна, стіни, дах, підлогу, за рахунок вентиляції.

Наприклад, приватні домовласники в Західній Європі використовують майже 30 % всієї отримуваної енергії, що становить майже стільки ж, скільки й промисловість, і більше, ніж весь разом узятий транспорт. Більша частина витраченої енергії (70 %) йде на опалення приміщень. Враховуючи величезну кількість будинків і споруд, необхідно приділяти багато уваги теплоізоляції і енергозбереженню. При тому, що, витрати на опалення 1 м² у Німеччині й України відносяться як 1:1,75.

Необхідна для здійснення життєвих функцій енергія, її одержання й використання пов'язані з навантаженням на довкілля (збільшується видобуток вугілля, нафти, газу, ядерного палива, емісія продуктів згоряння, теплове забруднення).

Неминучою є поява вуглекислого газу після згоряння вуглеводних носіїв енергії. Піднімаючись в атмосферу, він сприяє виникненню так названого парникового ефекту, що може призвести до катастрофічних наслідків у майбутньому. Ця небезпека повинна бути ліквідована або істотно знижена. Будинки, які будуються або модернізуються, визначають нові межі споживання енергії й теплового тиску на навколишнє середовище, а також ціни на енергію в майбутньому. Як правило, існуюча теплоізоляція будинків не відповідає стандартам.

Енергозберігаючі заходи є засобом скорочення загального енергоспоживання. Незважаючи на зниження світових цін на нафту в 90-ті роки XX ст., зараз спостерігається світова тенденція підвищення цін на паливно - енергетичні ресурси, що є особливо актуальним для України. Тому житлове приміщення, наприклад, відповідно до німецьких стандартів теплоізоляції, повинно відповідати наступним параметрам: середній коефіцієнт теплопровідності стін - 0,66 Вт/(К); норма обміну повітря - 0,8

раз/год; ККД приладів опалення - 80 %; річна потреба тепла - 26200 кВт·год; річне споживання тепла на 1м² - 140 кВт·год.

При застосуванні сучасної будівельної й теплозахисної технології з'являється можливість утримати річне споживання енергії в межах 30-70 кВт-год/м² корисної площі, що відповідає споживанню 37 л нафти або 3-7 м³ газу на 1 м² житлової площі в рік. Більш жорсткі вимоги з енергозбереження, ніж інші країни Західної Європи має Швеція, де споживання тепла на 1м² житлового простору становить 60-70 кВт-год. Якщо згадати, що k - коефіцієнт теплопередачі - одиниця, яка визначає проходження теплового потоку потужністю 1 Вт крізь елемент будівельної конструкції площею 1 м² при різниці внутрішньої й зовнішньої температури в 1 Кельвін, то його рівень, для житлового будинку k дорівнює:

Стеля (12 см ізоляції) -	0,35;
пінобетон 30 - 36 см або легка цегла -	0,66;
підлога (5 см теплоізоляції) -	0,68;
теплоізововані вікна -	0,3.

Річний приплив і втрати енергії звичайного будинку становлять:

приплив сонячної енергії -	6700 кВт год;
внутрішні джерела тепла -	2700 кВт год,
вентиляція -	7700 кВт год;
втрати через вікна -	9000 кВт год;
втрати через підлогу, підвал -	1000 кВт год ;
втрати через стіни -	6600 кВт год,
втрати через дах -	4000 кВт год;
втрати через систему вентиляції -	5200 кВт год.

У вигляді стандарту можна розглянути будинок з низьким енергоспоживанням (БНЕ), що споживає теплової енергії менше 70 кВт-год/м² у рік (від 70 до 30 кВт-год/м²). Це відповідає річному споживанню теплової енергії від 300-700 м³ газу при житлової площі 100 м². БНЕ відрізняється також малим споживанням енергії для забезпечення гарячою водою. Низьке енергоспоживання таким будинком забезпечують: добрі теплоізолюючі властивості будівельних елементів (стін, вікон, даху, підлоги, підвалу); сумлінне виконання ізоляції, недопущення тепловтрат, щільна оболонка будівлі (захист від вітру і т.п.); пасивне використання сонячної

енергії і її акумулювання (добове або сезонне); керований повітрообмін (по можливості, повернення тепла); добре регульовані опалювальні пристрої; енергоекономне забезпечення гарячою водою, можливо за допомогою сонячної енергії в літню пору; усунення марних витрат електроенергії.

14.3. Теплова ізоляція трубопроводів, будинків і споруд.

Як було показано раніше, ізоляційні властивості матеріалу характеризуються значенням коефіцієнту теплопровідності, що вимірюється у Вт/(К). Добрий ізолятор - це матеріал, у якого низьке значення теплопровідності.

Серед властивостей, завдяки яким пінополіуретани (ППУ) широко використовуються в ізоляції труб для централізованого теплопостачання, насамперед слід назвати високу механічну міцність, гарну термостійкість, можливість наповнення вузьких просторів, низьке водопоглинання.

Поліуретанова піна є чудовим ізоляційним матеріалом, її застосування дозволяє ефективно знизити втрати тепла під час транспортування гарячої води або пари в попередньоізольованих трубах централізованого теплопостачання. Пінополіуретан містить від 92 до 98% закритих пор, які заповнені ізоляційними газами. Тільки від 8 до 2% пінополіуретанів включають твердий полімер. Вміст твердого полімеру визначається щільністю ППУ. Чим вище щільність ППУ, тим вище відсоток твердого полімеру. Закриті пори заповнені газом, що утворюється під час виробництва поліуретанової піни. Існує можливість впливу на структуру пор шляхом використання різних спінюючих агентів. Це впливає на термостійкість піни, тому що структура газу визначає її кінцеву термічну провідність (до 60%), Можна знизити термічну провідність ППУ шляхом заповнення пор кращим ізоляційним газом

Якість теплоізоляції є найважливішим параметром енергоспоживання будинку. Коефіцієнт теплопередачі повинен бути в межах від 0,3 Вт/(м²К) до 0,2 Вт/(м²К), що відповідає збільшенню середньої товщини утеплюючого

шару, від 15 до 20 см. Таких значень можна досягнути у різних конструкціях будинків і споруд, використовуючи наступні підходи: кладка з утеплюючим шаром 15-20 см і повітряним проміжком під зовнішньої оболонкою; подвійна стіна з товщиною утеплюючого шару 15 см з пористого наповнювача; одношарова кладка з низькотеплопровідного матеріалу, оштукатурена з двох сторін (наприклад, пресований солом'яний або газобетонний блок мінімальною товщиною 49 см).

Серед теплоізоляторів-наповнювачів існують певні відмінності. Наприклад, широко застосовуваний пінопласт не зовсім безпечний. Перевагу слід віддавати природним, екологічно чистим матеріалам (аглопорит, керамзит, перліт й ін), які одержують із відходів виробництва при розробці кар'єрів.

Перелік заходів для утеплення огорожуючих конструкцій наведений у табл.14.1.

Таблиця 14.1 - Заходи з утеплення огорожуючих конструкцій

Захід	Витрати, у.о./м ²	Заощадження, %
Усунення перетічок холодного повітря за рахунок простого утеплення вікон і дверей	мінімальні, <1	10
Потрійне остеклення (скорочує приплив УФ-радіації) або натяжка поліетиленової плівки на рами	3	5-10
Спеціальні штори на вікна	15	15-20
Утеплення горища: додаткова ізоляція товщиною 100 - 150 мм	20-30	4-7
Утеплення ділянки стіни за радіатором	мінімальні	2-3

Ізоляційні характеристики заскління й склопакети. В ідеалі заповнення віконних прорізів повинні мати такі ж характеристики по захисту від шуму, втратам тепла й міцності, як і стінні огорожуючі конструкції, забезпечуючи при цьому необхідну освітленість, комфортне провітрювання, простоту й зручність в експлуатації. Оптимально опір теплопередачі вікон, має бути не нижче показника $K > 0,6 \text{ (м}^2 \text{ К)}/\text{Вт}$ (К - величина, зворотна коефіцієнту теплопередачі).

Це досягається звичайними засобами: установкою рами із двошаровим теплозахисним склом. Теплозахисні вікна мають спеціальний шар, який не видимий оком, але значно зменшує втрати тепла. Цей ефект збільшується при наявності невеликого зазору між першим і другим шаром: у такому випадку витрата тепла зменшується майже у два рази. Вікна в теплозахисному виконанні коштують на 15-20 % дорожче звичайних, але витрати компенсуються економією на опалення. Віконна рама повинна мати утеплюючий шар як із зовнішньої, так і з внутрішньої сторони.

Для заповнення віконних прорізів широко застосовуються склопакети, що складається з двох або більше шарів скла, з'єднаних між собою по контуру таким чином, що між ними утворюються герметично замкнуті порожнини, заповнені зневодненим повітрям або іншим газом.

Опір теплопередачі одного звичайного скла становить приблизно $0,17 \text{ (м}^2 \cdot \text{К) / Вт}$, а склопакета із двох звичайних стекол - $0,36 - 0,39 \text{ (м}^2 \cdot \text{К) / Вт}$. Опір теплопередачі трискляного вікна з урахуванням матеріалу, з якого воно виготовлено, може перевищувати $0,6 \text{ (м}^2 \cdot \text{К) / Вт}$.

Найбільший ефект досягається при використанні в склопакеті одного із стекол з селективним покриттям, здатним відбивати теплові хвилі усередину приміщення і одночасно пропускати зовні сонячне теплове випромінювання. Тільки за рахунок застосування у склопакеті такого скла, а також введення в міжскляний простір більш щільного, ніж повітря, газу, наприклад аргону, криптону або ксенону, можна домогтися величини термічного опору, що наближається до одиниці. Дослідження показують, що конструктивні рішення вікон, насамперед їх скляної частини, можуть сприяти досягненню термічного опору теплопередачі, рівному $1,8-2,0 \text{ (м}^2 \cdot \text{К) / Вт}$.

Традиційна технологія виготовлення склопакетів зводиться до сполучення на певній відстані один від одного двох або трьох стекол. В якості матеріалу, що забезпечує необхідну міжскляну відстань, застосовується алюмінієвий перфорований профількоробчатого перерізу (середник), усередину якого засипається зернистий осушувач повітря -

силікагель. Профіль кріпиться до стекол за допомогою бутилової маси (внутрішній шов), а по торцях утвореного склопакета укладається міцна полісульфідна маса (зовнішній шов). Методи виробництва склопакетів постійно вдосконалюються. Наприклад, відомий метод, коли проміжний простір (середник) заповнюється за допомогою бутилової гумової стрічки, зміцненої металом. Слід зазначити, що матеріал, з якого зроблений середник, впливає на теплоізолюючі властивості країв склопакету.

14.4 . Підвищення ефективності систем опалення.

Основною особливістю існуючих систем опалення є те, що вони розраховані на постійну витрату теплоносія. Регулювання надходження теплоносія в нагрівальні прилади споживачів може привести до порушення гідравлічного режиму системи опалення. Для запобігання перегріву приміщень у перехідні періоди опалювального сезону (навесні й восени), а також розрегулювання системи опалення необхідно провести зміни схеми теплового вузла в будинках (у мешканців), перш ніж встановлювати індивідуальні засоби регулювання (автоматичні або ручні).

На тепловому вузлі повинні бути встановлені: запірна арматура (крани, засувки); фільтри механічного очищення; автоматичні регулятори температури води, що подається на кожний фасад будинку, які працюють залежно від температури зовнішнього й внутрішнього повітря. Для цього система повинна бути розділена на дві половини, південну й північну: циркуляційний насос; регулятор витрати (тиску). Труби, засувки та інші елементи повинні бути ізольовані.

Розглянемо приклад такої системи опалення, що задовольняє вищенаведеним вимогам).

У будинку на радіаторах встановлюються індивідуальні засоби регулювання (ручні або термостатичні вентилі); лічильники-розподільники тепла, призначені для оцінки індивідуального енергоспоживання.

Заходи для удосконалювання систем опалення представлені в табл. 14.2. З таблиці видно, що найбільш ефективними є автоматизація теплового вузла й установка ручних регуляторів на кожному опалювальному приладі, які забезпечують найменший строк окупності витрат.

Для забезпечення надійної роботи всі системи повинні проектуватися індивідуально, з попереднім енергетичним обстеженням.

Таблиця 14.2. Заходи для вдосконалення систем опалення

Заходи	Витрати, у.о./м ²	Заоща- дження, %	Окупність, років
Автоматизація теплового вузла	4000	15-20	1,5
Установка надійних ручних регулювальних кранів на кожному нагрівальному приладі	10	5-7	1,5
Установка автоматичних термостатичних кранів	40	10	9,3

Останнім часом одержали поширення електронні системи регулювання. Основними елементами таких систем є блок регулювання, підмішуючий циркуляційний насос і регулюючий клапан. Вони дозволяють забезпечити добове регулювання подачі теплоносія у двох режимах; недолік - відсутність гнучкості при програмуванні тижневих і річних циклів, а також відсутність захисту від несанкціонованого втручання в роботу.

Одним із зручних, найбільш гнучких за своїми функціями пристроїв, є сімейство регуляторів, що виконані на основі однокристальних мікро ЕВМ. Вони мають програмований календар з можливістю обліку вихідних і святкових днів і гнучке програмування режимів роботи. Змінюючи ступінь закриття клапана, пристрій регулює температуру подаваного в будинок теплоносія. Сталість об'єму циркуляції теплоносія досягається наявністю циркулюючого насоса. Керується і програмується пристрій за допомогою інфрачервоного пульта ручного керування, що забезпечує повний захист від несанкціонованого доступу. Датчики температури, виконані на основі мікросхем, що дозволяє вести опитування їх будь-якої кількості по трипровідній лінії. За допомогою стандартного інтерфейсу можна

поєднувати декілька пристроїв у мережу й програмувати їх роботу із центральної ЕОМ.

З огляду на те, що значна частина опалювального сезону в Україні має позитивну температуру зовнішнього повітря, можна стверджувати, що автоматичне регулювання витрати теплоносія дозволить заощадити не менше 15 % теплової енергії за опалювальний сезон. Для будинків, які споживають за опалювальний сезон 1000 і більше Гкал теплової енергії, при нинішній вартості енергоресурсів окупність програмованих пристроїв автоматичного керування теплопостачанням становить 2-3 місяці опалювального сезону.

Автономні енергоустановки. Останнім часом широко застосовуються газові опалювальні прилади для квартир, особняків, офісів, магазинів, майстерень, комунальних споруд. Прилади монтують на стіну й підключають до димоходу, завдяки чому відбувається нагрівання води й опалення будинків. Переваги таких приладів - енергоекономічність, рентабельність, рівномірне опалення, чистота й зручність в експлуатації.

Постійна температура нагріваної води забезпечується термостатом. Ефективна циркуляція і тиск води за допомогою насоса дають можливість застосовувати труби невеликого діаметра. Теплова енергія спаленого на пальнику газу передається воді, що циркулює від насоса через теплообмінник і через радіатори, підключені до нього, а потім передається повітрю у приміщення.

Становлять інтерес ефективні системи опалення, засновані на опаленні м'яким інфрачервоним випромінюванням, які, на відміну від конвективного способу обігріву, дозволяють знизити на 90 % споживання енергоресурсів. Робота систем заснована на принципі перетворення теплоти згоряння газу в теплові промені без проміжних теплоносіїв (води, пари). Джерелами інфрачервоного випромінювання служать спеціальні тепло-випромінюючі труби, всередині яких циркулюють високотемпературні гази низького тиску.

Враховуючи, що нас чекає різке збільшення вартості палива в ЖКГ - газу, необхідно звернути першочергову увагу на питання диверсифікації,

зокрема використання енергоекономічних газогенераторних установок, котлоагрегатів, які призначені для теплопостачання будинків і споруд, одержання гарячої води й пари в різних технологічних процесах і для побутових потреб. Основним паливом для них служать відходи деревообробки, дріб'язок торф'яних брикетів, тріска, кора, лігнін та інші тверді горючі матеріали. Перевагою вищевказаних агрегатів є їх високий ККД, низька вартість, простота конструкцій і обслуговування, а також можливість використання дешевих місцевих видів палива й відходів промисловості.

Геліотеплонасосна система опалення і гарячого водопостачання складається із таких основних елементів: сонячного колектора, низько- та високотемпературного баків-акумуляторів, теплового насоса і споживача теплоти — випарника теплового насоса. У випарнику тепло передається робочому тілу теплового насоса, яке при цьому випаровується.. Робоче тіло після компресора надходить у конденсатор, де віддає теплоту теплоносію, що циркулює у контурі високотемпературного бака-акумулятора. Теплота із бака-акумулятора передається теплоносію. Зв'язок між контурами здійснюється за допомогою теплообмінників, змонтованих у баках-акумуляторах. Як теплоносії у геліоконтурі використовують незамерзаючу рідину.

ТЕМА 15. ТЕПЛОВІ НАСОСИ. ПРИНЦИП РОБОТИ

15.1. Класи теплових насосів.

15.2. Технологічна схема теплового насоса.

15.3. Парокомпресійний цикл теплового насоса. Розрахунок коефіцієнта перетворення (COP).

15.4. Реальний парокомпресійний цикл теплового насоса.

15.1. Класи теплових насосів.

Тепловий насос - це спеціальний пристрій, що поєднує в собі котел, джерело гарячого водопостачання і кондиціонер для охолодження. Головною відмінністю теплонасоса від інших джерел тепла є можливість використання відновлюваної низькопотенційної енергії, взятої з навколишнього середовища (землі, води, повітря, стічних вод) для покриття потреб у теплі під час опалювального сезону, нагрівання води для гарячого водопостачання та охолодження будинку. Тому тепловий насос забезпечує високоефективне енергопостачання без газу та інших вуглеводнів.

Зараз найбільше застосування отримали два класу: термоелектричні насоси з використанням ефекту Пельтьє і випарні насоси. Випарні теплові насоси діляться в свою чергу, на абсорбційні і механічні компресорні. Поступово зростає інтерес до використання вихрових труб, що використовують ефект Ранка.

Елемент Пельтьє. Термоелектричний тепловий насос на ефекті Пельтьє працює за досить простим принципом: з двох сторін спеціальної напівпровідникової пластини подається невелика постійна напруга. При такій схемі одна сторона нагрівається, а інша охолоджується. Вся суть ефекту полягає в пластині елемента Пельтьє, яка складається з двох шарів. Кожен шар в зоні провідності має різні рівні енергії електронів. Під дією зовнішньої напруги електрон переходить у більш високоенергетическую зону провідності і набуває енергію. При цьому процесі місце контакту напівпровідників охолоджується (при зворотному напрямку струму відбувається зворотний ефект). Головним достоїнством такого елемента є простота його конструкції, відсутність рухомих частин і потоків рідини або газу. Це дає повну безшумність в роботі, компактні розміри і високу стійкість до вібраційних і ударних навантажень. Та й напруга для роботи потрібно всього кілька вольт. Однак такий термоелектричний елемент має істотний недолік: у нього відносно невисока ефективність, практично в 1,5 рази нижче, ніж у компресійних випарних теплових насосів. Тому практичне

застосування елементів Пельтьє обмежено і широко застосовується лише в переносних автомобільних холодильниках.

Випарні компресійні теплові насоси. Цей клас теплових насосів працює за наступним принципом: холодоагент в газоподібному стані під тиском, створюваним компресором, переходить у рідкий стан. При цьому, природно, він нагрівається. Далі він подається в радіатор конденсатора і охолоджується до температури навколишнього середовища, віддає зайве тепло. Потім холодоагент надходить у розширювальну камеру і проходить через дросель, де втрачає тиск і знову розширюється і випаровується, частково переходить у газоподібну форму. При цьому він охолоджується до температури значно нижче навколишнього середовища. Надалі холодоагент вже повністю в газоподібному стані подається до компресора, який його відкачує і стискає. Так цикл закінчується і починається спочатку. Виходить, що на ділянці нагрівання холодагент знаходиться у рідкому стані під високим тиском, а при охолодженні вже в пароподібному стані. Всі ці стадії забезпечуються одним і тим же компресором, а дві робочі зони високого і низького тиску поділяються дроселем.

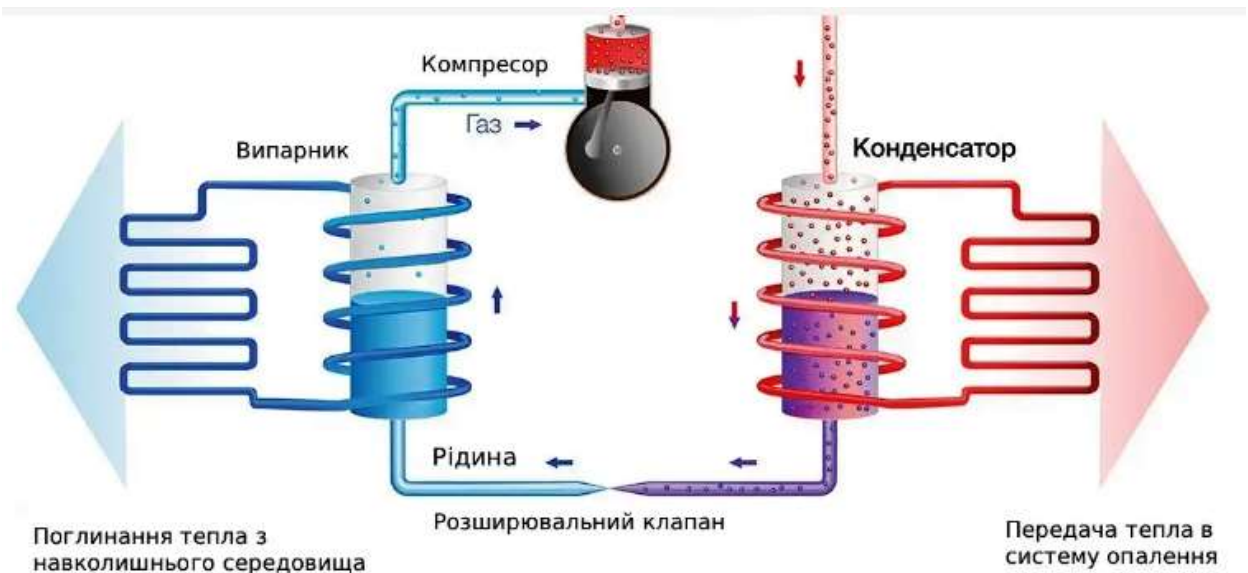


Рисунок 15.2. Схема роботи випарного компресійного теплового насоса.

Компресійні теплові насоси мають найвищу ефективність всіх сучасних теплових насосів. Співвідношення одержуваної і перекачаної

енергії досягає цифри 1:3, тобто на 1 Дж енергії, що подається в зону охолодження, виділяється 3Дж тепла. У насосів, що працюють на ефекті Пельтьє, на виході виходить всього 0,5 Дж. Існує досить цікава і цікава теорія термодинамічних явищ. Один з її основних висновків стверджує, що кількість роботи по стисненню газу може становити всього 30% від загальної енергії. Це означає, що наведене вище співвідношення 1:3 є межею і не може бути збільшено в принципі. Проте деякі виробники сьогодні стверджують про досягнення цифри 1:5 і навіть 1:6. І це не є вигадкою, адже в реальних циклах роботи теплового насоса використовується не тільки стиснення газоподібного реагенту, але і зміна його агрегатного стану, а цей процес найбільш головне в роботі.

Недоліком компресійних теплових насосів, перш за все, є сама наявність компресора, він при роботі створює шум і схильний до зносу. Також потрібно забезпечення повної герметичності при роботі і наявність спеціального хладагента. Конструкція такого теплового насоса проектується з урахуванням того, що на вході компресора хладагент знаходиться в рідкому стані, у випадку наявності в ньому вологи або конденсату, компресор отримує сильний гідравлічний удар. Причиною такого може бути, як і занадто низька температура конденсату, так і знос апаратури. Є нескладні рішення, які попереджають такі явища, але вони досить дорогі. Однак використання масової побутової техніки в штатних ситуаціях не призводить до появи таких загроз.

Дифузійні теплові насоси. Цикл роботи випарних абсорбційних (дифузійних) теплових насосів схожий на робочий цикл випарних компресійних агрегатів. Принципова відмінність тільки в тому, на відміну від створення розрідження компресором, в абсорбційних агрегатах газоподібний холодоагент в блоці абсорбера поглинається спеціальною речовиною - абсорбентом. За рахунок видалення газу з обсягу випарника в ньому створюється розрідження, необхідне для випаровування нових порцій хладагента.

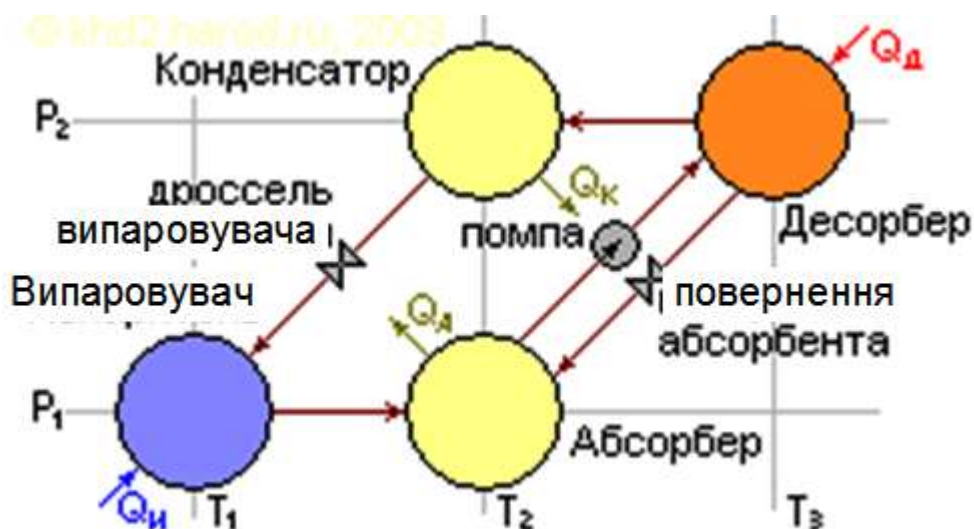


Рисунок 15.3 Робочий цикл одноступінчатого абсорбційного теплового насоса.

Головною та необхідною умовою є те, що холодоагент і абсорбент підбираються так, щоб при поглинанні газу в обсязі випарника створювалося істотне розрідження. Таку пару зазвичай складають аміак NH_3 (холодоагент) і вода (абсорбент). Пари аміаку розчиняються (дифундують) у воді, від цього йде назва цього типу теплових насосів - дифузійні. Щоб після дифузії знову розділити аміак та воду, відробила водно-аміачну суміш нагрівають в десорбері. Після доведення до кипіння її трохи охолоджують. Першою конденсується вода, а аміак залишається у вигляді пари. Отримані фракції поділяють і після цього охолоджують до кімнатної температури. Вода знову подається в абсорбер, а аміак надходить у випарник і цикл роботи починається знову. Якість розділення води і аміаку є головною умовою, що створює достатню розрідження у випарнику. Тому всі розробки та хитрощі в конструкції спрямовані саме на це. Головною «родзинкою» дифузійного теплового насоса є те, що для отримання холоду використовується нагрів робочої суміші до температури кипіння.

Перші такі машини з'явилися в кінці XIX століття, але не отримали великого поширення в побуті через отруйних парів аміаку. Однак вони отримали широке застосування в промисловості завдяки здатності виробляти охолодження аж до -45 градусів. Одноступінчасті дифузійні теплові насоси

виробляли кількість холоду приблизно рівну витратам тепла. Однак сучасні агрегати вже подолали цей бар'єр. У 1950-х роках з'явилися двоступінчасті, а в 1985-1993 були запатентовані вже триступінчаті дифузійні теплові насоси. Їх прототипи перевершують двоступеневі по ефективності на 30-50% і підходять впритул до компресійним установок. Застосування таких теплових насосів абсолютно виправдано там, де немає електроенергії або де є великі обсяги непридатного тепла, аж до сонячного нагріву.

15.2. Технологічна схема теплонасосної системи

Тепловий насос - це пристрій, що працює за принципом зворотного холодильної машини, передаючи тепло від низькотемпературного джерела до середовища з більш високою температурою, наприклад системі опалення вашого будинку.

Кожна теплонасосна система має наступні основні компоненти:

- бак-акумулятор - теплоізована ємність для води, призначена для накопичення гарячої води з метою вирівнювання теплових навантажень системи опалення та гарячого водопостачання, а також збільшує термін роботи теплового насоса.

- первинний ґрунтовий контур - замкнута циркуляційна система, яка складається з випарника (теплового насоса), циркуляційного насоса ґрунтового контуру, трубопроводів, і служить для передачі тепла від ґрунту до теплового насосу.

- вторинний ґрунтовий контур - замкнута система, яка складається з конденсатора (теплового насоса), циркуляційного насоса, трубопроводів, і служить для передачі тепла від теплового насоса системи опалення в будинок.

Принцип роботи теплового насоса схожий до роботи звичайного холодильника, тільки навпаки. Холодильник відбирає тепло від харчових продуктів і переносить його назовні. Тепловий насос переносить тепло, накопичене в ґрунті, землі, водоймах, підземних водах або на повітрі, у Ваш

будинок. Як і холодильник, цей енергоефективний теплогенератор має такі основні елементи:

- конденсатор (теплообмінник, в якому відбувається передача тепла від теплоносія до елементів системи опалення приміщення: низькотемпературних радіаторів, підлоги, теплої підлоги);
- дросель (пристрій, який служить для зниження тиску, температури і, як наслідок, замикання теплофікаційного циклу в тепловому насосі);
- випарник (теплообмінник, в якому відбувається відбір тепла від низькотемпературного джерела до теплового насоса);
- компресор (пристрій, що підвищує тиск і температуру пари холодоагенту).

Конструкція та основні елементи типового парокомпресійного теплового насоса показана на малюнку нижче.

Тепловий насос обладнаний таким чином, щоб змусити тепло рухатися в зворотному напрямку. Наприклад, під час нагрівання будинку, тепло відбирається від якого-небудь холодного зовнішнього джерела (землі, річки, озера, зовнішнього повітря) і передається в будинок. Для охолодження (кондиціонування) будинку тепло відбирається від більш теплого повітря в будинку і передається назовні. У цьому відношенні тепловий насос схожий на звичайний гідравлічний насос, який перекачує рідину з нижнього рівня на верхній, тоді як у звичайних умовах рідина завжди рухається з верхнього рівня на нижній.

На сьогоднішній день найбільш поширеними є парокомпресійні теплові насоси. В основу принципу їх дії лежать два явища: по-перше, поглинання і виділення тепла рідиною при зміні агрегатного стану - випаровування і конденсація, відповідно; 2) по-друге, зміна температури випаровування (і конденсації) при зміні тиску.



Рисунок 15.1. Схема теплового насоса

У випарнику теплового насоса робочим тілом - холодоагент, який не містить хлору, - він знаходиться під низьким тиском і кипить при низькій температурі, поглинаючи тепло низькопотенційного джерела. Потім робоче тіло стискається в компресорі, який приводиться в рух з допомогою електричного або іншого двигуна, і потрапляє в конденсатор, де при високому тиску конденсується при більш високій температурі, віддаючи тепло конденсації приймача тепла, наприклад, теплоносію системи опалення. З конденсатора робоче тіло через дросель знову потрапляє у випарник, де його тиск знижується, і процес кипіння холодоагенту починається знову.

Тепловий насос здатний відбирати тепло від декількох джерел, наприклад, повітря, води або землі. Таким шляхом він може скидати тепло в повітря, воду або землю. Більш тепла середовище, що сприймає тепло, називається теплоприемником. Залежно від типу джерела і приймача тепла, випарник і конденсатор можуть бути виконані як теплообмінники типу "повітря-рідина", так і "рідина-рідина".

Регулювання роботи системи опалення з використанням теплових насосів в більшості випадках здійснюється з допомогою його включення і виключення по сигналу датчика температури, який встановлений в приймачі (при нагріванні) або джерелі (при охолодженні) тепла. Налаштування

теплого насоса зазвичай здійснюється зміною перерізу дроселя (терморегулюючого вентиля).

Як і холодильна машина, тепловий насос використовує механічну (електричну або іншу) енергію для реалізації термодинамічного циклу. Ця енергія використовується на привід компресора (сучасні теплові насоси потужністю до 100 кВт комплектуються високоефективними скролл-компресорами). Коефіцієнт перетворення (коефіцієнт трансформації або ефективності) теплового насоса - це співвідношення кількості теплової енергії, яку виробляє тепловий насос до кількості електричної енергії, яку він споживає. Коефіцієнт перетворення залежить від рівня температур у випарнику і конденсаторі теплонасоса. Це значення коливається для різних теплонасосних систем в діапазоні від 2,5 до 7, тобто на 1 кВт витраченої електричної енергії тепловий насос виробляє від 2,5 до 7 кВт теплової енергії, що не під силу ні конденсаційному газовому котлу, ні будь-якого іншого генератора тепла. Тому можна стверджувати, що парокомпресійні теплові насоси виробляють тепло, використовуючи мінімальну кількість дорогою електричної енергії.

Температурний рівень тепlopостачання від теплових насосів - 35-60°C. Економія дорогих енергетичних ресурсів при такому температурному режимі досягає 75%.

Теоретичний коефіцієнт перетворення ідеального теплового насоса розраховується за формулою Карно:

$$\varepsilon = T_2 / (T_2 - T_1),$$

де T_2 - температура конденсації, а T_1 - температура кипіння холодильного агента, яка вимірюється в градусах Кельвіна. Якби тепловий насос працював з ідеального циклу, то при температурі кипіння +5°C ($T_1=278$ К) і при температурі конденсації 55°C ($T_2= 328$ К) він міг би працювати з коефіцієнтом трансформації, рівним 6,56. Насправді коефіцієнт перетворення буде менше, так як повністю ідеальних теплових машин не буває.

Зазвичай всередині теплового насоса, як і в холодильнику, циркулює холодоагент (фреон) - з тією лише різницею, що сучасне виробництво ведеться з використанням холодоагенту, який не містить хлорвуглеводнів та інших, шкідливих для здоров'я людини і навколишнього середовища, компонентів.

Ефективне збереження енергії при опаленні будинків з використанням теплового насоса досягається завдяки тому, що теплонасосна установка більше ніж дві третини виробленої теплової енергії бере з навколишнього середовища: ґрунту, водойми, повітря, підземних вод, стічних вод або іншого джерела.

Зовнішній контур (колектор) геотермального теплового насоса являє собою укладений в ґрунт або воду поліетиленовий трубопровід, в якому циркулює незамерзаюча рідина (в основному на основі пропіленгліколю). Однак джерелом тепла може бути ґрунт, кам'яна порода, озеро, річка, море, стічні води, а також зовнішній і вентиляційного повітря.

Енергозбереження та ефективність використання теплового насоса в першу чергу залежить від того, звідки ви вирішите черпати низькотемпературне тепло, в другу - від способу опалення вашого будинку (водою або повітрям). Справа в тому, що тепловий насос працює як перевалочна база між двома тепловими контурами: одним, гріючою на вході (на стороні випарника) і другим, опалювальних, на виході (конденсатор). За видом теплоносія у вхідному і вихідному контурах теплові насоси поділяються на шість типів: ґрунт-вода, вода-вода, повітря-вода, повітря-повітря, ґрунт-повітря, вода-повітря.

У вітчизняних умовах, поки що застосовуються лише перші три і останній. Повітряне опалення з використанням теплового насоса України приживається погано, хоча і має свої переваги (наприклад, у США продаж повітряних теплових насосів є найбільшою). Для всіх типів теплонасосів характерний ряд особливостей, про які потрібно пам'ятати при виборі моделі. По-перше, тепловий насос виправдовує себе лише в добре утепленому

будинку, тобто з тепловтратами не більше 65 Вт/м². Чим більш теплий будинок, тим більше вигода при використанні даного пристрою. Як ви розумієте, опалювати вулицю з допомогою теплового насоса, збираючи з неї ж крихти тепла, не зовсім розумно. По-друге, чим більше різниця температур теплоносіїв у вхідному і вихідному контурах, тим менший коефіцієнт перетворення тепла (COP), тобто менша економія електричної енергії. Саме тому більш вигідну підключення теплового насоса до низькотемпературних систем опалення. Насамперед, мова йде про опалення водним підлогою або теплим повітрям з використанням фанкойлів, так як в цих випадках теплоносіїв (наприклад, вода) за медичним вимогам не повинен бути гаряче 35-40°C. Чим більш гарячу воду тепловий насос готує для вихідного контуру (радіаторів або душа), тим меншу потужність він розвиває і тим більше споживає електрики. По-третє, для досягнення більшої вигоди практикується експлуатація теплового насоса з додатковим генератором тепла (у таких випадках говорять про використання бівалентної схеми опалення).

У будинку зі значними тепловими втратами ставити тепловий насос великої потужності не вигідно. Тому що він буде працювати в повну силу лише близько місяця, а капітальні витрати в теплонасосну систему, особливо типу ґрунт-вода, будуть значними якщо теплову потужність системи збільшити навіть на кілька кВт. Адже кількість дійсно холодних днів не перевищує 10-15% від тривалості опалювального періоду. Тому часто потужність теплового насоса вибирають рівною 70-80% від розрахункової опалювальної навантаження, при цьому він буде покривати всі потреби будинку в теплі до тих пір, поки зовнішня температура повітря не опуститься нижче певного розрахункового рівня (температура бівалентності), наприклад мінус 10-15°C. З цього моменту в роботу включається другий генератор тепла. Є багато варіантів використання теплового насоса з додатковим джерелом тепла. Найчастіше таким помічником служить невеликий електричний нагрівач, але можна поставити й газовий, твердопаливний або рідкопаливний котел.

15.3. Парокомпресійний цикл теплового насоса. Розрахунок коефіцієнта перетворення (COP).

З метою наближення до простого циклу Карно, а фактично - з метою створення максимально ефективного в роботі теплового насоса, необхідно прагнути до підводу тепла при умовах, близьких до ізотермічним. Для цього підбираються робочі тіла, змінюють агрегатний стан при необхідних температурах і тисках. Вони поглинають тепло при випаровуванні і віддають при конденсації. Ці процеси утворюють ізотерми циклу. Стиснення пари хладагента, як правило, вимагає, щоб пар був сухим, що обумовлено особливостями механіки більшості компресорів теплових насосів. Попадання рідини разом з пором на вхід компресора може пошкодити його клапани, а надходження великої кількості рідкого хладагента в компресор теплового насоса може взагалі вивести його з ладу (якщо не вжито запобіжні заходи).

Цикл з механічною компресією пара і його зображення в p - V (тиск - питомий обсяг) діаграмі показані на рисунку нижче.

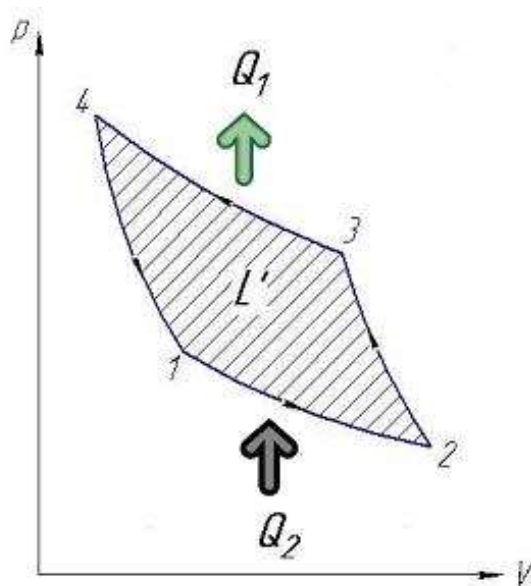


Рисунок 15.2. Термодинамічний цикл теплового насоса в p - V діаграмі
1-2 - відбір теплоти від низькотемпературного джерела, холодоагент закипає; 2-3 - процес стиснення холодоагенту в компресорі; 3-4 - передача теплоти в систему опалення та конденсації холодоагенту в конденсаторі; 4-1 - процес дроселювання рідкого холодоагенту до початкових умов.

Розглянемо цикл теплонасоса тільки з сухою компресією пари і розширенням в дросельному клапані. Цей клапан являє собою регульоване сопло або капілярну трубку. Відсутність розширювальної машини в циклі означає, що деяка кількість корисної роботи втрачається і COP зменшується. Як правило, це виправдано тим, що вартість розширювальної машини не окупається отриманої на ній роботою. Процес розширення в соплі незворотній. Зазвичай він розглядається як адіабатичний, тобто проходить без підведення або відведення тепла при розширенні робочого тіла.

Тепер продемонструємо цикл теплового насоса іншим способом, з допомогою широко застосовується на практиці для парокомпресійних циклів діаграми тиск - питома ентальпія ($\ln p-h$), представленої на малюнку нижче.

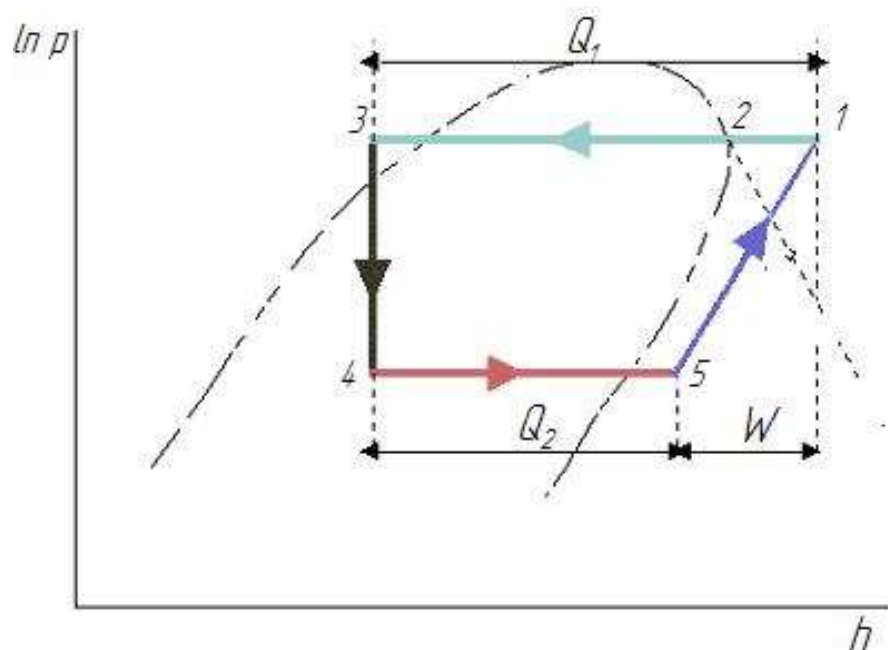


Рисунок 15.3. Термодинамічний цикл теплового насоса в $\ln p-h$ діаграмі

Стислий робоче тіло під високим тиском залишає компресор в точці 1. Оскільки на вхід в компресор надходив тільки сухий пар і завдяки нахилу ліній постійній ентропії, в точці 1 пара перегріта. Перш ніж пара почне конденсуватися в точці 2, його слід охолодити при постійному тиску. Між точками 2 і 3 відбувається конденсація при постійній температурі (якщо немає витоків пари). Звідси видно, що теплообмінний апарат, в якому

відбувається конденсація (конденсатор), завжди повинен бути розрахований на прийом перегрітої пари. Адиабатическое розширення зображується в p - h діаграмі вертикальною прямою 3-4, і в цьому одна з причин зручності такої діаграми. Для розрахунку циклу необхідно знати стану робочого тіла тільки на вході в компресор теплового насоса і виході з нього. Інше зображується прямими лініями. Випаровування відбувається при постійному тиску і температурі між точками 4 і 5. Слід зазначити, що розширення відбувається фактично в суміші рідини і пара. Суміш на вході у випарник містить значну частку пара, іноді до 50% по масі, і ця частка робочого тіла, природно, вже не бере участь в процесі випаровування та поглинання тепла. Між точками 5 і 1 відбувається ізоентропійне стиснення сухого пара. На практиці його реалізувати не можна, але тут розглянуто ідеалізований цикл. Його ефективність менше, ніж у циклу Карно, з-за незворотності процесу розширення.

Розглянемо ще одну важливу перевагу p - h діаграми. Оскільки на горизонтальній осі відкладається ентальпія, вона допускає прямий відлік Q_1 , Q_2 і W . Тому з діаграми очевидно просте співвідношення $Q_1 = Q_2 + W$. В той же час дана діаграма дозволяє відразу оцінити значення COP.

Очевидно, що воно буде тим вище, чим менше інтервал тисків 3-4 (або, що те ж саме, чим менше інтервал температур).

Для отримання високого COP значення Q_1 повинно бути велике, а W (робота стиснення) повинна бути мала. Також при погляді на p - h діаграму будь-якого з холодоагентів можна швидко оцінити його придатність до роботи.

15.4. Реальний парокомпресійний цикл теплового насоса

Робочі цикли теплового насоса, розглянуті вище, дещо ідеалізовані. Хоча в них і враховувалися практичні обмеження, пов'язані з необхідністю стиснення тільки сухого пара, а також відсутність розширювальної машини,

проте передбачалося, що ККД всіх елементів дорівнює 100%. Розглянемо тепер, ніж реальний тепловий насос відрізняється від ідеального.

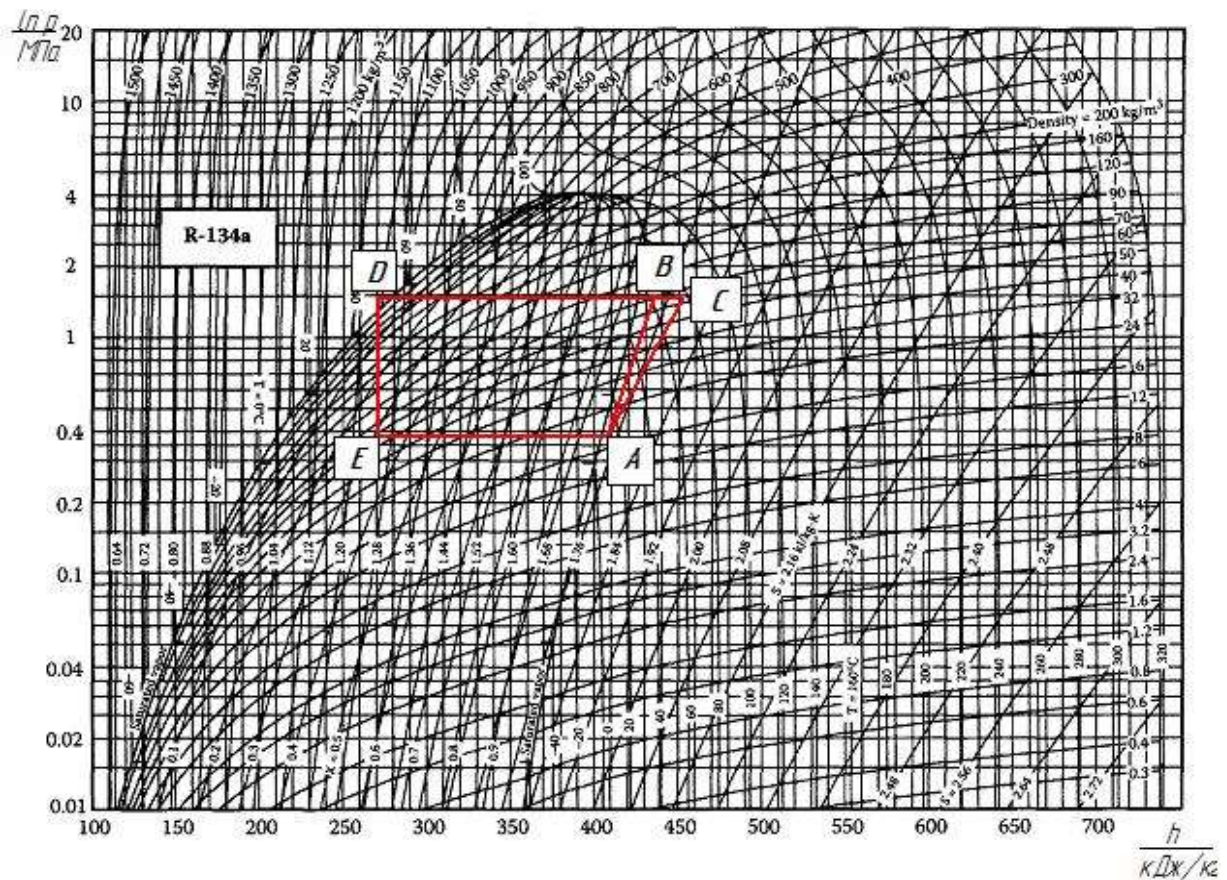
Головним компонентом теплового насоса є компресор. Як вже було сказано, компресор повинен стискати тільки сухий пар і робоче тіло до входу в компресор має бути кілька перегріто. Перегрів створює зону безпеки для зменшення потрапляння крапель рідини в компресор. Це досягається ціною деякого збільшення компресора, оскільки він повинен стискати більш розріджений пар при тому ж масовій витраті. Більш серйозна проблема полягає у підвищенні температури на виході з компресора, яка обмежується стійкістю вихлопних клапанів.

Інше істотне відхилення від ідеалізованого циклу визначається ККД компресора. З-за теплообміну між робочим тілом і компресором і незворотності течії всередині компресора підвищення ентальпії в ньому більше, ніж в ідеалізованому циклі, що також підвищує вихідну температуру. Підвищення ентальпії оцінюється ізоентропічним ККД компресора. На практиці поршневі компресори мають ізоентропічний ККД близько 70%. Зазначимо, що ізоентропічне стиснення вимагає мінімальної роботи при неохолоджуваному компресорі. Роботу можна знизити шляхом його охолодження, але оскільки завданням теплового насоса є віддача тепла при високій температурі, таке охолодження не вигідно або фактично неможливо.

Існують ще два показники ефективності компресора в тепловому насосі: механічний ККД (показує, яка частка роботи, підведеної до валу компресора, віддана робочого тіла - зазвичай він дорівнює 95%) і об'ємний ККД, який не впливає на COP, а на капіталовкладення в обладнання, так як визначає розміри компресора (його значення також в районі 95%).

Втрати є і в інших елементах робочого циклу, а не тільки в компресорі. Коли робоче тіло проходить через теплообмінник, тиск дещо падає, наслідком чого є відхилення від ізотермічних умов при теплообміні. Фактично відхилення зазвичай не перевищує 1 градуса. Воно проявляється як у випарнику, так і в конденсаторі.

Розглянемо на прикладі реальний парокомпресійний цикл теплового насоса, в якому в якості холодоагенту використовується фреон R-134a.



Парокомпресійний цикл теплового насоса з використанням холодоагенту R-134a в діаграмі

Розрахуємо COP для теплового насоса, в якому використовується холодоагент R-134a.

По-перше, необхідно вибрати температури випаровування та конденсації холодоагенту. Вони залежать від розмірів теплообмінників.

Прийmemo температури випаровування та конденсації рівними - $T_{\text{вип}} = 8^\circ\text{C}$ і $T_{\text{конд}} = 40^\circ\text{C}$.

Зображення циклу завжди починається зі стиснення. Прийmemo, що перегрів пари на вході в компресор (т. А на малюнку вище) складає 5°C , тоді температура перед компресором буде складати $T_A = 13^\circ\text{C}$.

В точці А питома ентальпія дорівнює

$$h_A = 410 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Провівши по ізоентропії лінію до перетину з ізобарою 1,5 МПа, що відповідає температурі конденсації 40°C, отримаємо умови на виході з компресора в точці В з питомою ентальпією

$$h_B = 440 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Реальні умови на виході з компресора в точці З розраховуються за допомогою ізоентропійного ККД:

$$\eta = \frac{h_B - h_A}{h_C - h_A}$$

звідки випливає, що при (для поршневого компресора)

$$\eta = 0.7$$

ентальпія в точці С становить

$$h_C = 452.8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Зміна ентальпії в конденсаторі і відповідну точку D при

$$h_D = 270 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

знаходимо на перетині ізобари конденсації з лівої прикордонної кривої, нехтуючи при цьому падінням тиску при теплообміні.

В точку Е прийдемо шляхом дроселювання (при постійній ентальпії) рідкого холодоагенту до початкових параметрів.

Таким чином, для реального циклу коефіцієнт перетворення COP визначається по залежності

$$COP = \frac{h_C - h_D}{h_C - h_A} = \frac{452.8 - 270}{452.8 - 410} = 4.27$$

Крім того, слід пам'ятати про механічний ККД компресора, який вимагає витрати додаткової роботи. Отже, повний коефіцієнт перетворення (трансформації) COP теплового насоса становить

$$COP = 4.27 \cdot \eta_m = 4.27 \cdot 0.95 = 4.06$$

Оскільки тепловий насос досить складний пристрій, що має сучасну автоматику, не намагайтеся зробити його своїми руками! Крім того, ви повинні розуміти, що не достатньо просто купити тепловий насос, система потребує правильного розрахунку, кваліфікованих проєктувальників і якісному монтажі.

Економічні й екологічні аспекти використання енергоустановок на базі теплових насосів

Вартість теплонасосної станції (ТНС) потужністю від 100 до 10000 кВт у країнах Західної Європи становить 600-700 дол/кВт, у той час як вартість російських теплових насосів АТ "Енергія" у тім же діапазоні потужностей при приблизно рівній енергетичній ефективності й здачі об'єкта "під ключ" становить 6-7 тис. руб/кВт, тобто в 4 - 5 разів дешевше. Зниження собівартості тепла, виробленого на ТНС, у порівнянні із традиційним теплопостачанням складає від 1,5 до 2,5 разів залежно від температури низькопотенційного джерела. Строк окупності в більшості ТНС не перевищує двох років.

Приймаючи питому витрату на виробіток 1кВт*год електроенергії рівним 300 г у.т., неважко дати порівняльну оцінку шкідливих викидів за опалювальний сезон (5448 ч) від різних теплових джерел тепловою потужністю 1,16 МВт (див. табл. 15.1).

Табл. 15.1 Порівняння кількості шкідливих викидів від різних теплових джерел.

Вид шкідливого викиду, т/рік	Котельня на вугіллі	Електрообігрівання	ТН, із середньорічним КОП = 3,6
SO _x	21,77	38,02	10,56
NO _x	7,62	13,31	3,70
Тверді частки	5,8	8,89	2,46
Фтористі з'єднання.	0,182	0,313	0,087
Усього	34,65	60,53	16,81

Нижче наведені середньорічні коефіцієнти перетворення теплонасосних установок залежно від температури низькопотенційного джерела:

<i>температура низькопотенційного джерела, ° С.....</i>	5	10	15	20	25	30	35	40
<i>КОП середньорічний</i>	3,6	4,1	4,6	5,3	5,9	6,6	7,2	7,9

При однаковій теплопродуктивності, наприклад 1 Гкал/год (1,16 МВт), питома економія палива при використанні ТНС складе в порівнянні: з електроопаленням 0,277 - 0,335 т у.п.; з котельнею на кам'яному вугіллі (ККД = 0,65) 0,113 - 0,121 т у.п.; з котельнею на природному газі (ККД = 0,8) 0,072-0,130 т у.п., де перше значення відноситься до використання в тепловому насосі джерела тепла з температурою 5° С, друге - з температурою 40° С.

Незважаючи на відносну дешевину вітчизняних та російських теплових насосів у порівнянні із закордонними при сучасному слабкому фінансовому становищі підприємств, впровадження теплових насосів зустрічає певні труднощі. Не останню роль грає новизна й незвичність цієї техніки для наших споживачів. Ці проблеми переборювалися за рубежом шляхом надання протягом декількох років пільг підприємствам, що впроваджують теплонасосні установки. У більшості країн Західної Європи на прибуток, одержуваний від застосування теплових насосів, встановлювався менший податок, а в деяких країнах робилися прямі фінансові дотації. Так, в Австрії фірмам, що використовують теплові насоси, встановлена фінансова дотація до 100 тис. шилінгів, а Німеччина у 90-х роках таким фірмам надавала право на податкову знижку, яка рівноцінна фінансовій дотації в розмірі до 20 % витрат на теплонасосні установки. У підсумку в Австрії зараз працює понад 100 тис. ТНС, що дають щорічну економію більше 100 тис. т мазуту.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Малярєнко В. А. Енергетичні установки: навч. посіб. / В. А. Малярєнко. - Х.: САГА, 2008. - 320 с.
2. Ратушняк Г. С. Енергозбереження та експлуатація систем теплопостачання: навч. посіб. / Г.С. Ратушняк, Г. С. Попова. — Вінниця: ВДТУ, 2002.-120 с.
3. Г.Б. Варламов, Г.М. Любчик, В.А. Малярєнко. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії. Підручник. – К.: «Політехніка», 2003. – 232с.
4. В.А. Малярєнко, Л.В. Лисак. Енергетика, довкілля, енергозбереження: Монографія / Під ред. проф. В.А. Малярєнка. – Харків: «Рубікон», 2004. – 368 с
5. Дубровін В.О. Біопалива (технології, машини і обладнання) / В.О.Дубровін та ін. - ЦТІ «Енергія та електрифікація», 2004, - 256с.
6. Миронов О.С., Брижа М.С., Бойко В.Б., Золотовська О.В. Теплотехніка: основи термодинаміки, теорія теплообміну, використання тепла в сільському господарстві. Підручник. - Дніпропетровськ: ТОВ "ЕНЕМ", 2011. – 424 с.
7. Герасимов Г.Г. Теоретичні основи теплотехніки. Навч. посібник. - Рівне. НУВГП, 2011 -382 с.
8. Константінов С.М., Панов Є.М. Теоретичні основи теплотехніки: Підручник. – К.: «Золоті Ворота», 2012. – 592 с.
9. Гнатишин, Я. М. Теплотехніка: Навч. посіб. / Я.М. Гнатишин, В.І. Криштапович. - Київ : Знання, 2008. - 364с.
10. Дідур В. А. Теплотехніка, теплопостачання і використання теплоти в сільському господарстві / В. А. Дідур, М. І. Стручаєв. – К.: Аграрна освіта, 2008. – 233 с.
11. Приходько М.А., Герасимов Г.Г. Термодинаміка та теплопередача. Навчальний посібник. - Рівне: НУВГП, 2008.- 250 с.

12. Драганов Б.Х., Бессараб О.С., Долінський А.А., Лазоренко В.О., Міщенко А.В., Шеліманова О.В. (за ред. Б.Х. Драганова). Теплотехніка: Підручник. – 2-е вид., перероб. і доп. – Київ: Фірма «ІНК ОС», 2005. – 400 с.
13. Горобець В.Г., Феофілов І.В. Когенераційні установки та їх використання в магістральному комплексі. – К.: ЦП «Компринт». – 2012. – 295 с.
14. Горобець В.Г. Теплоенергетичні установки і системи. – К.: ЦП «Компринт». – 2018. – 393 с.
15. Варламов Г. Б., Любчик Г. М., Маляренко В. А. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії: Підручник. – К.: ІВЦ - Видавництво «Політехніка», 2003. – 232 с

Сіренко Юлія Володимирівна
Козін Віктор Миколайович
Сіренко Віктор Федорович
Тимошенко Григорій Андрійович

ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет, вул. Г. Контдратьєва, 160

Підписано до друку: ____ 2026 р. Формат: А5 Гарнітура: Times New Roman.

Тираж: ____ примірників Замовлення Ум. друк. Арк. 6,2
