

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

КАФЕДРА ХІМІЇ І ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
(ОПОРНИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ)

з дисципліни «Енерготехнологія хіміко-технологічних процесів»

Укладач: к.т.н., доцент

Трофімов І.Л.

(науковий ступінь, вчене звання, П.І.Б. викладача)

1. ПОЛІТИКА ДЕРЖАВИ УКРАЇНА В ЕНЕРГЕТИЧНІЙ ГАЛУЗІ

Суспільне господарство України є складною, надзвичайно навантаженою галузями важкої, нафтопереробною, нафтохімічною галузями промисловості.

В останні роки Україна переживає катастрофічну енергетичну кризу, пов'язану з гострим дефіцитом власних традиційних енергоносіїв, більшу частину ми експортуємо з Росії.

Витрати енергії на одиницю валового внутрішнього продукту (ВВП) в Україні в 3-8 (12) разів перевищують відповідні показники економіки розвитку країн світу.

Зайві витрати на енергоносії призводять до збільшення собівартості продукції та послуг, зниження прибутковості підприємств, вимивання заробітної плати в її структурі, обмеження конкурентоспроможності національних виробництв.

Україна належить до енергодефіцитних країн і близько 50% своїх потреб у енергоносіях забезпечує за допомогою імпорту.

У зв'язку з природним зниженням видобутку вуглеводнів через виснаження запасів родовищ, в останні роки Україна задовольняє свої потреби у газі і нафтопродуктах за рахунок власного видобутку лише на 10÷13% по нафті і на 13÷20% по газу. Вугілля є єдиним енергоресурсом, яким Україна забезпечена повністю.

За даними 1995 року в Україні витрачалося 300 млн. т умовного палива за рік, а у Німеччині – 490 млн. т за умови, що ВВП Німеччини перевищує ВВП України у декілька разів.

Однак, так само, як і раніше, продовжують марнотратно споживатися енергетичні ресурси, імпортовані за цінами на рівні світових.

Теоретичний потенціал енергозбереження України становить 42-48% від обсягу споживання первинних енергоресурсів, тобто майже стільки, скільки енергоносіїв імпортується в країну.

Тому подолання енергетичної кризи в Україні вимагає кардинальних заходів енергозбереження в усіх галузях національної економіки, необхідна економія енергії на всіх стадіях і рівнях її виробництва і використання.

Сьогодні потрібно біля 600 млрд. доларів щорічно вкладати в покращення довкілля. А для цього, в першу чергу, треба зменшити марнотратне використання природних ресурсів, більше рециркулювати сміття, зберігати воду і енергію, користуватись загальним, а не приватним транспортом, і, основне і найважливіше всього, кожному навчитись думати у глобальних масштабах, а не лише про себе.

....1. Енергетична безпека України

Рівень економічного розвитку будь-якої країни визначається не кількістю видобутих або спожитих ПЕР, а ефективністю їх використання – енергоємністю ВВП, питомими витратами ПЕР на одиницю виготовленої продукції.

Україна імпортує майже 80% необхідного природного газу і ≈85% сирої нафти і нафтопродуктів.

Ситуація, коли такий величезний відсоток енергоресурсів постачається з території однієї держави, породжує монополну залежність економіки України від країни-експорту (Росії) нафти та газу і є загрозою для її енергетичної і національної безпеки.

Для розвинених країн забезпечення імпортних енергоресурсів повинно здійснюватись з 3-4 незалежних та стабільних джерел. За умов збереження монополізму на постачання енергоресурсів в Україну і спорудження обхідних газопроводів, один цей фактор у змозі повністю зруйнувати економіку, адже ціни на газ і нафту мають бути суттєво підвищені.

Сьогодні проблема енергозабезпечення країни вже переросла в проблему національної безпеки.

Майбутнє економіки України і держави в цілому, передусім залежить від здатності створити:

- правові механізми заохочення;
- значного підвищення ефективного використання ПЕР;
- зменшення його споживання через заходи енергозбереження;
- запровадження вигідних умов кредитування;
- проведення енергозберігаючих заходів;
- збільшення в енергетичному балансі власних енергоресурсів.

Національною програмою „Нафта і газ України до 2010 року” визначено головне завдання забезпечення енергетичної безпеки

країни – за рахунок максимального власного видобутку ПЕР. Однак власні запаси традиційних ПЕР України, при теперішніх темпах експлуатації родовищ (за винятком вугілля), будуть вичерпані через 40-60 років.

Швидкість та ефективність вирішення проблем енергетичної безпеки України визначається економічною спроможністю держави. Основними пріоритетами енергетичної безпеки є:

1. зменшення паливно-енергетичної залежності від імпорту, диверсифікація джерел імпорту та шляхів постачання енергоносіїв;
2. розробка сукупності заходів на випадок непередбачених обставин у ПЕ комплексі чи з поставками ПЕР;
3. комплексні модернізація та переозброєння господарських комплексів України на основі енергозбереження, впровадження найновіших енергозберігаючих технологій, сучасних телекомунікаційних та комп'ютерних систем;
4. розширення та інтенсифікація власних обсягів видобування нафти, газу та вугілля;
5. інтенсифікація використання власних енергоресурсів, у тому числі вторинних, альтернативних джерел енергетики;
6. вирішення екологічних проблем, у першу чергу пов'язаних зі зменшенням техногенного навантаження на територію, ліквідацією наслідків Чорнобильської катастрофи;
7. формування у населення енергозберігаючого світогляду.

Пріоритетним для України має також стати поглиблення ринкових взаємовідносин між виробниками та споживачами ПЕР в умовах реформування економіки; розвиток власного машинобудівельного комплексу, який забезпечує паливноенергетичну галузь технологічним обладнанням, приладами та матеріалами вітчизняного виробництва; підвищення екологічної безпеки при виробництві, транспортуванні та споживанні палива і енергії.

Актуальним є вихід на передові рівні енергоефективності та диверсифікування джерел надходження ПЕР. Важливу роль відводять енергозбереження.

.... 2. Енергетичний потенціал України

Енергетичний потенціал нашої держави складають:

– органічні викопні;

- природні ПЕР (уран та гідроенергія);
- поновлювальні джерела енергії.

ПЕК складається з двох економічно самостійних галузей:

1. електроенергетики;
2. паливної промисловості.

Паливна промисловість охоплює сукупність процесів по видобуванню природних видів палива та переробці, що реалізується вугільною, газовою, нафтовою та нафтопереробною, торф'яною і атомною промисловістю. ПЕК є складовою міжгалузевою системою видобування та виробництва палива в енергії, їх транспортування, розподілу і використання.

Взагалі до ПЕР належать: природне паливо, природні енергоресурси, продукти переробки палива, горючі побічні енергоресурси, електроенергія, теплова енергія (пара та гаряча вода).

До природних енергоресурсів належать: гідроенергія, геотермальна, атомна, сонячна енергія, енергія вітру, морських припливів, енергія біомаси, інші види енергії.

Нетрадиційні: тверді, газові та рідкі види палива, які є альтернативною відповідним традиційним видам палива, які виробляються чи видобуваються з нетрадиційних джерел та видів енергетичної сировини.

Основним органічним енергоносієм, у нашій державі є вугілля (кам'яне та буре): 300 млрд. т:

- на 400 років вистачить
- основний для України енергоресурс
- в розробці та підготовці до освоєння ≈ 24 млрд. т

На жаль нафта в Україні майже вичерпана згідно з національною програмою „Нафта та газ України до 2010 року” передбачається видобуток нафти та конденсату (річний) у 2010 р. Довести до 75 млн. т, що значно менше потреб країни. За даними Держкомгеології України початкові запаси нафти та конденсату складають до 1,7 млрд. т, а розвідані запаси нафти 153 млн. т в конденсату 83 млн. т.

Загальні запаси природного газу складають понад 1120 млрд. м³. До 2010 року обсяг річного видобутку газу планується збільшити до 35,5 млн. м³.

Суттєве значення для підвищення рівня самоенергетики забезпечення України мають поклади уранової руди.

Уранової руди вистачить на 150 років. Балансові запаси сухого торфу дорівнює 2,7 млрд. т (2300 ккал/кг). Родовища горючих сланців оцінюються в 3,7 млрд. т. Обсяг споживання деревини понад 1 млрд. т.

Нетрадиційні поновлювальні джерела енергії згідно з програмою державної підтримки розвитку:

- вітроенергетика – 3,8 млрд. кВт.год (1,2 млн. т у.п.);
 - сонячна енергетика – 5,4 млрд. кВт.год (0,9 млн. т у.п.);
 - геотермальна енергетика – 180 млрд. кВт.год (21 млн. т у.п.);
 - мала гідроенергетика – 3,7 млрд. кВт.год (1,3 млн. т у.п.);
 - нетрадиційне паливо – 165,2 млрд. кВт.год (20,3 млн. т у.п.);
 - енергія довкілля та скидний енерготехнологічний потенціал – 93,3 млрд. кВт.год (14,5 млн. т у.п.);
 - мала теплоенергетика – 300 млрд. кВт.год (40,5 млн. т у.п.);
- Загальний технічно-можливий потенціал нетрадиційних поновлювальних джерел енергії складає 99,7 млн. т у.п. палива.

... 3. Стан енерговикористання

Україна зараз є однією з найбільш енерговитратних країн світу.

Дві основні причини зумовлюють енергетичну неефективність виробництва:

1. незбалансована структура енергоспоживання;
2. вкрай нераціональне використання енергії в усіх галузях економіки.

Економіка України надзвичайно енергоємна та марнотратна. Вартість використання ПЕР становить $\approx 25\%$ від обсягів ВВП (за споживанням нафти та газу – 4 місце у світі, а за виробництвом ВНП – ...).

Марнотратне використання ПЕР має місце в усіх галузях промисловості країни.

У комуні калійній теплоенергетиці за рахунок надмірної централізації, аварійного стану інженерних мереж непродуктивні витрати теплової енергії сягають до 30%.

На опалення житла на одного мешканця витрачається в 2 – 2,2 рази більше енергії, ніж у високорозвинених країнах. Та ще треба

зазначити, що в Україні для виробництва теплової енергії використовується переважно дефіцитний у нас природний газ.

Непродуктивно великі витрати ПЕР у житлово-комунальному фонді спричинені недостатнім теплозахисними будівельними конструкціями, наявністю застарілих систем водо- і теплопостачання, практично відсутністю індивідуальних засобів обліку та систем регулювання енергоспоживання.

Непродуктивні витрати теплової енергії при транспортуванні її від виробника до споживача в окремих випадках складають до 40%.

Отже, для вирішення проблеми ефективності енергозабезпечення важливо не лише виробити і доставити необхідну кількість ПЕР, а й без зайвих витрат розпорядитися нею.

....4. Енергозбереження – пріоритетний напрям державної політики

В Україні необхідно здійснювати широкомасштабні заходи, метою яких повинно бути забезпечення потреб держави в ПЕР і зниження обсягів її придбання за імпортом; зменшення питомих витрат ПЕР на одиницю ВВП шляхом впровадження сучасних енергозберігаючих технологій та запровадження жорсткого контролю за енергоспоживанням.

За рахунок здійснення маловитратних енергозберігаючих заходів в Україні можна зберегти щонайменш 10% енергії.

Енергозбереження визначене в Україні одним з пріоритетних напрямків державної політики. Основними цілями політики є:

1. доведення енергоємності ВВП до сучасного рівня розвинених країн;
2. скорочення імпорту газу і нафти;
3. значне зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище.

На сьогодні витрати на видобуток або купівлю органічного палива в 2÷2,5 рази вище, ніж витрати на забезпечення економії однієї тони у.п. за рахунок енергозбереження.

Для України не існує іншого напрямку забезпечення енергетичної та національної безпеки, окрім вирішення проблеми диверсифікації джерел постачання імпортування енергоресурсами та проведення послідовної та чіткої політики з енергозбереження.

....5. Основні принципи закону України „Про енергозбереження” (01.07.1994 р.)

2. ВИРОБНИЦТВО МОТОРНИХ ПАЛИВ І НАФТОХІМІЧНОЇ СИРОВИНИ, ЕНЕРГЕТИЧНІ СКЛАДОВІ ХІМІЧКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Безперервне зростання попиту на нафтопродукти при обмежених ресурсах нафти ставлять перед НПП складні проблеми.

Не збільшуючи помітно об'єм переробки нафти, необхідно збільшити випуск моторних палив, сировини для нафтохімії та інших нафтопродуктів і суттєво підвищити їх якість.

Для вирішення цієї проблеми необхідно значно збільшити глибину переробки нафти і підвищити частку облагороджуваних процесів.

До цих пір у нас нафтопереробка розвивалась екстенсивним шляхом, тобто нарощувались в основному потужність з первинної переробки нафти. А по глибині переробки ми значно відстали від індустріально розвинених країн.

На разі в Україні частка поглиблюючих процесів від загальної переробки нафти у 3-6 разів нижча, ніж у розвинених країнах.

В пострадянських країнах глибина переробки нафти низька, і біля 37% нафти перетворюється у топковий мазут; вихід бензину складає біля 16%, а дизельного палива – 24%.

В західних країнах вихід моторних палив – в межах 60÷80% від сирової нафти. Глибина переробки в ЄС і Японії – в межах 70÷83%, а у США вона перевищує 90%.

В 1990 році частка поглиблених процесів була у 3÷6 разів нижче, ніж в інших країнах. Положення практично не змінилось і до теперішнього часу.

Велике відставання вітчизняної нафтопереробки спостерігається і по розвитку облагороджувачих процесів. Частка цих процесів по відношенню до загального обсягу складала в 1990 році у нас 35%, в США – 91%. Розв'язання цієї проблеми вимагає великих капітальних вкладень і при нарощуванні потужностей мають бути використані передові технології, що забезпечують мінімальні витрати на виробництво продуктів заданої якості і мінімально впливаючі на оточуюче середовище.

В теперішній час застосовуються біля 20 процесів, що поглиблюють переробку нафти, які включають в себе:

- екстракційні процеси;
- термічні процеси;
- каталітичні процеси.

Існують різні варіанти їх здійснення, комбінування і послідовності.

Процеси поглиблення переробки нафти можна розділити на дві групи:

1. вакуумна перегонка мазуту з послідуочим каталітичним крекінгом чи гідрокрекінгом вакуумного газойлю; вакуумний залишок (гудрон) піддається подальшій переробці;

2. процеси без вакуумної перегонки, направлені безпосередньо на деструктивну переробку мазуту шляхом термічного крекінгу, гідрокрекінгу, каталітичного крекінгу, гідро очистки.

Досить складною проблемою є переробка у моторні палива вакуумних залишків, вихід яких складає 20÷30% на нафту. Вони можуть перероблятися шляхом деасфальтизації, гідрогінезаційними, каталітичними і термічними процесами. Але усі ці процеси вимагають великих капітальних вкладень і енергоємні. Однак дефіцит нафт і утяжеління їх викликає необхідність широкого промислового використання цих процесів.

Для підвищення якості реактивних і дизельних палив разом зі збільшенням потужностей гідро очистки повинен бути реалізований в достатньому обсязі процес каталітичної депарафінації.

За кордоном в обмежених обсягах у якості високооктанових компонентів застосовуються спирти і ефіри. В Росії – у невеликій кількості – кисневміщуючі компоненти бензинів (під назвою МТБЕ).

Нафтохімічною сировиною є прямогонні бензинові фракції, зріджені гази, етан, природний газ. У менших масштабах використовується газойль і важкі нафтові залишки. Таким чином, сировиною як для нафтохімії, так і моторних палив є в основному одні і ті ж нафтові фракції.

І розвиток нафтохімії веде до зниження ресурсів для моторних палив.

На багатьох наших НПЗ заводські гази не розділяються і не використовуються як сировина для одержання високооктанових бензинів і нафтохімічних продуктів, а слугують паливом для печей і котлів. Ресурси пропан-пропіленової і бутан-бутиленової фракцій на НПЗ значні і можуть забезпечувати суттєве збільшення випуску цінних продуктів.

В майбутньому будуть використані альтернативні моторні палива, тобто палива, одержані не з нафти.

Те ж саме відноситься і до нафтохімічної сировини.

Перспективне також використання природного газу як компонента газо-дизельного палива. Це веде до зниження витрати рідкого пального і шкідливих викидів у атмосферу.

НПП і НХП, як і інші галузі переходять на ресурсощадні технології. Але поглиблена переробка нафти і випуск високоякісних нафтопродуктів вимагає підвищення енерговитрат.

Розглянемо в якості прикладу схему ректифікаційної установки безперервної дії бінарної системи (рис. ...).

Рис. ...

1 – ємність для початкової суміші; 2 – підігрівач; 3 – ректифікаційна колона; 4 – кип'ятильник; 5 – дефлегматор; 6 – розділював флегми; 7 – холодильник; 8 – збірник дистилляту; 9 – збірник кубового залишку

Для безперервного проведення ректифікації необхідно, щоб суміш, що надходить на розділення стикалася з зустрічним потоком пари з дещо концентрацією ВК (висококипляча), ніж у рідкій суміші.

Тому початкову суміш подають у те місце ректифікаційної колони (3), яке відповідає цій умові. Місце введення початкової суміші, нагрітої до t° кипіння у підігрівачу (2), називається тарілкою живлення.

Таріль живлення ділить колону на дві частини:

- верхню – укріплюючі;
- нижню – вичерпуючу.

В укріплюючій частині відбувається збагачення парів, що піднімаються низько киплячим компонентом (НК), а у вичерпуючій – видалення НК.

Потік пари, що підіймається по ректифікаційній колоні (РК), підтримується випаровуванням частини кубової рідини в кип'ятильнику 4, а потік рідини, що тече по колоні зверху вниз, – повернення частини флегми, що утворюється при конденсації парів, які виходять з РК, у дефлегматори (5).

Примітка: відношення кількості кіломолей флегми Φ , що припадають на 1 Кмоль відбираемого дистиллятора P називається флегмовим числом R (тобто $R = \Phi/P$).

При безперервній ректифікації багатокомпонентних сумішей в установці повинні бути не одна колона, а більше, через те, що в одній колоні можна розділити суміш тільки на два продукти.

В загальному випадку число колон N дорівнює числу компонентів K суміші, що розділяється, мінус одиниця, тобто

$$N = K - 1$$

Розглянемо приклад розділення трьохкомпонентної суміші (рис. ...). Для цього випадку розділення можливі два варіанти організації процесу. По варіанту а) два найбільш летючі (леткі) компоненти $A+B$ переходять у дистиллят, висококиплячий компонент (ВК) C залишається в кубовому залишку, а суміш $A+B$ надходить в іншу (другу) колону.

а)

б)

З наведеної схеми визначимо види енергії, які використовуються у процесі ректифікації багатокомпонентних сумішей:

- теплова енергія для нагрівання сумішей;
- електрична енергія для приводів перекачуючих пристроїв.

Які відбуваються процеси в балансі енергій:

- нагрівання – охолодження – нагрівання

Визначимо хоча б перший погляд джерела скидної теплоти і шляхи її утилізації.

Такий самий аналіз необхідно проводити досліджуючи технологічні процеси:

1. Абсорбції.
2. Перегонки (ректифікації) рідин.
3. Рідинної екстракції.
4. Адсорбції.
5. Сушіння.

Кожна складова апаратного забезпечення хіміко-технологічного процесу має бути розглянута з різних боків, а саме:

1. можливість використання з огляду на технічні можливості;
2. вартості та економічної доцільності;
3. енергетичної ефективності;
4. можливості заощадження та утилізації енергії тощо

У всіх хіміко-технологічних процесах необхідно забезпечувати пересування сировини, напівфабрикатів, готової продукції, теплових і охолоджуючих агентів тощо. Усі ці пересування забезпечуються різними методами, але найчастіше використовуються парові машини, двигуни внутрішнього згоряння, електричні мотори та інші.

ОПТИМАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ПЕРВИННИХ ДВИГУНІВ

У теперішній час доля електроенергії, яка виробляється у промисловості, відносно мала. Найчастіше електроенергія виробляється на великих заводах, таких як нафтопереробні (НПЗ) та нафтохімічні (НХЗ), тобто там де потужність, що споживається, перевищує 100 МВт. Проте це може бути економічно доцільним навіть у випадку, коли потужність складає декілька сотень кіловат.

На промислових підприємствах для приводу генераторів застосовуються парові і газові турбіни, дизельні і поршневі газові двигуни. Вони використовуються для приводу компресорів і великих насосів. Може застосовуватись сполучення парової і газової турбін (так званий комбінований паро газовий цикл), коли теплота відпрацьованого газу турбіни використовується для виробки пара, який направляється у парову турбіну.

У багатьох випадках аргументи на користь виробництва електроенергії на заводі ґрунтуються виключно на факті ефективного використання скидної теплоти і цілорічного використання вироблених у комбінованому циклі теплоти та електроенергії, як це має місце, наприклад на НПЗ.

1.1. Використання скидної теплоти на ТЕС

Коефіцієнт корисної дії (ККД) вироблення електроенергії на ТЕС у кращому випадку складає приблизно 36%. Основна частка втрат при виробці електроенергії – це скидна теплота конденсаторів парових турбін. Якщо скидну теплоту ефективно утилізувати, то можна досягти ККД 75-85%. Існують різні способи використання скидної теплоти електростанцій. У Великій Британії, наприклад, досліджується можливість розміщення поблизу ТЕС теплиць, де скидна теплота використовується для вирощування рослин. Але одній з ТЕС температура скидної води підвищується за допомогою тепло насосних установок (ТНУ), а далі використовується в системах конденсування повітря.

На рис. 1 наведена схема використання скидної теплоти турбіни за допомогою ТНУ. При цьому протитискова турбіна є приводом компресора теплового насоса.

Скидна теплота конденсатора, який слугує виварником теплового насоса, використовується для I-ої ступені нагріву води.

Рис. 1 Схема використання скидної теплоти конденсаційної турбіни за допомогою теплового насоса (ТН): 1 – протитискова турбіна; 2 – компресор теплового насоса; 3 – конденсатор-випарник; 4, 5 – теплообмінники для нагріву мережевої води; 6 – котел; 7 – насос живлення.

При коефіцієнті перетворення теплового насоса $\varphi=6,6$, кожна тонна вугілля, що спалюється, може дати теплоту для цілей опалювання, еквівалентну 2 т вугілля.

В США скидна теплота від електростанцій використовується головним чином для поліпшування росту рослин. Використовувати цю теплоту можна для наступних цілей:

- обігріву теплиць;
- нагріву розпилення для захисту від морозу;
- розведення морських водоростей;
- розведення водних і морських культур;
- конденсування повітря у приміщеннях утримання худоби і птахів;
- викриття смуги для судноплавства і т.д.

1.2. Виробництво електроенергії у промисловості

Значної економії енергії у промисловості можна досягти в комбінованих системах виробки теплоти і електроенергії, де теплота використовується для цілей теплопостачання і в технологічних процесах.

При використанні парової протитискової турбіни потужність 50 МВт виробляється 18,6 гДж електроенергії і 79,4 гДж теплоти на кожні 116 кДж енергії, що вміщується в обмеженому паливі. Застосування дизельного двигуна з генератором потужністю 1 МВт з утилізацією скидної теплоти дозволило б одержувати теплоту і електроенергію у майже рівних частках з ККД 68% (51% для електростанції і 49% котельної).

При вирішенні питання про виробництво електроенергії на підприємстві необхідно провести техніко-економічне дослідження з врахуванням наступних факторів:

- початкових витрат. Вони значно збільшуються, якщо до вартості основного обладнання додавати оплату консультантів, вартість будівельних робіт тощо;

- експлуатаційні витрати;

- надійність;

- зміна потреби (споживання). Оптимальний ККД установки визначається споживанням, а також співвідношення між виробкою теплоти і електроенергії. Їх зміни можуть привести до зниження ККД установки, і якщо при нормальному ході подій вони бувають незначний, то зміна технологічного процесу може суттєво вплинути на ККД установки.

Існує ряд загальних правил, які вказують на можливість застосування власних джерел енергії. Якщо вартість енергії у собівартості продукції значна (більше 10% загальної вартості), їх використання може стати ефективним. Другими переважними факторами є високий ККД установки, наявність необхідного палива за прийнятними цінами і можливість мати додаткову (для надійність) установку для виробки теплоти і електроенергії на місці.

1.3. Фреонові парові турбіни

Вода – найбільш поширене робоче тіло в енергетичних установках з паровими турбінами. Наразі ведуться пошуки інших робочих тіл, які б могли застосовуватись в умовах з невеликими турбінами при різних значеннях температури і тиску.

З точки зору економії енергії цікава турбіна, що працює на фторорганічних з'єднаннях, таких як фреон-11 або фреон-113.

Термодинамічні властивості і переваги цих синтетичних з'єднань добре відомі. Були створені надійні герметичні системи для їх застосування, особливо у зв'язку з розвитком космічних досліджень. В Японії фірма Ishikawajima – Harima Heavy Industries розробила систему з фреоновим турбогенератором потужністю до 3,8 МВт (рис.2).

Фторорганічна рідина живлячим насосом 9 під тиском подається в газогенератор 5, де вона нагрівається від джерела теплоти і випаровується під постійним тиском.

Рис. 2. Схема системи з фреоновим турбогенератором: 1 – регулятор частоти обертання; 2 – фреонова турбіна; 3 – градирня; 4 – регулятор тиску; 5 – газогенератор; 6 – регулятор рівня; 7 – конденсатор; 8 – насос; 9 – живлячий насос системи циркуляційного охолодження

Пар цієї рідини під високим тиском надходить в турбіну, піддаючись адіабатичному розширенню, за тим конденсується і повертається в цикл за допомогою насоса живлення 9.

Для цієї системи придатний широкий вибір джерел теплоти:

- низькотемпературний відпрацьований пар;
- гаряча стічна вода;
- теплі рідкі викиди (каналізація);
- сонячна і геотермальна енергія.

Система може також використовуватись для утилізації скидної теплоти конденсаторів парових турбін.

1.4. Газотурбінні установки

Області промислового застосування крім виробітки електроенергії:

- процеси сушіння (використовування теплоти скидних газів);
- вироблювання пара в котлі-утилізаторі для технологічних цілей, в тому числі дистиляційних установок і систем конденсування повітря;
- нагрівання води, в тому числі для дистиляції підігріву хімікатів, нафти, нафтопродуктів;
- нагрівання повітря, в тому числі для обробки харчових продуктів і для цілей опалення.

Ефективність застосування газотурбінної установки можна розглянути на прикладі заводу фірми Standard Oil. На заводі використовувалась потужна піч з високим ККД, проте загальний ККД печі і електростанції при роздільній схемі енергопостачання була відносно низькою.

Поблизу печі була змонтована газотурбінна установка, зв'язок між ними забезпечувалась коротким газопроводом. Саме в цьому полягає перевага газової турбіни, яка майже не потребує допоміжного обладнання.

По цій схемі газу газової турбіни безпосередньо використовуються в зоні горіння печі.

Така схема з газовою турбіною дозволила збільшити ККД циклу з 71 до 79%.

2. ЕНЕРГОЄМНІ ГАЛУЗІ ПРОМИСЛОВОСТІ

Енергоспоживання в промисловості розвинених країн складає приблизно 40%. Найбільша частка його припадає на металургію, хімічну і нафтопереробну галузі.

2.1. Нафтопереробна промисловість

Продукти НПЗ:

- паливо для автомобілів і літаків;
- дизельне паливо;
- паливна нафта;
- зкраплений нафтовий газ;
- змашуючі олії;
- сировина для хімічних заводів (сира нафта очищується до „нафти”, яка слугує сировиною для виробництва ацетилену, метанолу, аміаку і багатьох інших хімікатів).

В США, де зосереджено більше 20% всієї світової потужності з нафтопереробки, біля 15% загального промислового споживання припадає саме на цю галузь. Вона посідає третє місце по енергоспоживанню вслід за виробництвом чавуну та сталі і хімічною промисловістю.

Не менш 25% собівартості продукції НПЗ складаються витрати на енергоресурси.

Основним споживанням енергії на всіх НПЗ є дистиляційні, відпарні, роздільні колони, де сира нафта розділяється на ряд кінцевих продуктів – від пропану до важкої паливної нафти.

50% спожитої енергії іде на колону первинної фракційної дистиляції (рис.3)

Рис.3

Ця енергія витрачається для нагрівання сирої нафти і одержання пара, що використовується в колоні.

Ще 35% спожитої енергії витрачається для конверсії, а решта 15% – для кінцевої обробки продуктів.

Доступними методами по збільшенню ефективності використання палива на нафтопереробних заводах є:

1. підвищення ефективності утилізації складної теплоти;
2. покращення контролю та керування за технологічними процесами;
3. підвищення ККД печі;
4. підвищення ККД дистиляційної установки шляхом використання додаткових стадій;
5. удосконалення теплових насосів (ТН);
6. застосування „загальноенергетичних” схем;
7. використання низькопотенційної скидної теплоти для теплопостачання.

1. За рахунок установки додаткового утилізаційного обладнання можна одержати економію майже 5% вартості енергії, що витрачається. Це виключає підвищення ККД печі, якого можна досягти використовуючи велику кількість підігрівачів повітря, головним чином на печах з низьким ККД.

2. Ці методи цілком можуть бути застосовані для більшості енергоємних галузей промисловості. Збільшення ККД дистиляційної установки відноситься виключно до нафтохімічного комплексу (НХК).

Застосування систем контролю та керування технологічними процесами (КіКТП) з ЕОМ направлене на забезпечення оптимальної ефективності використання палива і дає багато переваг в керуванні енергопродуктивністю окремих вузлів заводу. Такі системи впроваджені на більшості, якщо не на всіх, НПЗ і НХК.

3. Введення теплоти в дистиляційну колону необхідне для процесу розділення, а також для попереднього нагрівання газу, що подається в колону. Збільшуючи в колоні число тарілок, можна зменшити підведення теплоти. Проте практично одержана при цьому вартість заощадженої енергії дорівнює капіталовкладення у встановлення додаткових тарілок.

Низькопотенціальна теплота, що зкидується НПЗ, у випадку використання її для теплопостачання дає загальну економію витрати палива у 20%.

3. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ЕКОНОМІЇ ЕНЕРГІЇ

1. Кондиціонування повітря

Кондиціонування повітря у промислових приміщеннях, призначено для підтримки температури і вологості повітря на певному рівні. Технологічні процеси на НПЗ вимагають необхідного рівня температур і вологості.

Система кондиціонування повітря (СКП) мусить забезпечувати складний енергобаланс всередині будівлі (рис.4)

Рис.4 Тепловий баланс СКП взимку (а) і влітку (б)

Якщо СКП погано спроектована чи працює неефективно, то енергобаланс може легко порушитися і втрати енергії, що утворилися, вплинуть у значній мірі на рівень експлуатаційних витрат.

Якщо стає очевидним, що застосування СКП в адміністративній будівлі чи на заводі взимку коштує занадто дорого, то використання цієї ж системи для створення комфортних умов влітку приведе до значних витрат енергії.

Обмеження споживання енергії в будівлі можна шляхом ретельного його проектування. Сама структура будівлі може у значній мірі вплинути на сезонні зміни температури. Збільшуючи кількість акумульованої теплоти в будівлі, можна зменшити сезонні коливання температури. Це можна досягти шляхом застосування спеціальних конструкцій стін чи акумуляторів теплоти, розташованих в будівлі.

Можуть ефективно використовуватись екранні віддзеркалювачі сонячного випромінювання.

Існують покриття для вікон у виді адгезійної плівки, яка може пропускати видиме випромінення з дуже невеликими втратами, але віддзеркалювати інфрачервоні промені. За допомогою однієї з таких плівок нагрів приміщень сонцем можна знижувати протягом літа на 75%. Використовують також такі плівочні матеріали, як алюміній, оксид індію і оксид цинку.

За допомогою цих плівок можна регулювати приплив теплоти в СКП. Значний вплив на теплопровідність вікон мають різноманітні комбінації подвійного застклення, введення між шарів скла газів з низьким коефіцієнтом теплопровідності, а також застосування покриттів з низькою пропускнуою випромінення:

Тип засткленої рами	Теплопровідність кДж/(м ² ·год·°С)
Одинарне скло	21,0
Подвійне скло з повітрям	11,0
Подвійне скло з одним покриттям	6,8
Подвійне скло з одним покриттям і криптоновим газом	3,8
Подвійне скло з двома покриттями і криптоновим газом	3,3
Одинарне скло з одним покриттям	11,0

При встановленні СКП слід дослідити і збалансувати теплові навантаження. Для цього існує широкий набір точних приладів для вимірювання потоків повітря, його швидкості і перепаду тиску.

Важливим елементом СКП є фільтри, забруднення яких веде до збільшення витрат електроенергії – необхідно постійно стежити за станом і обслуговувати. Є також фільтри, які можна встановлювати у вентиляційних системах кондиціонування для видалення домішок, більшість цих фільтрів працюють на електростатичному принципі.

Не менш важливою є очистка поверхонь нагрівання і охолодження СКП з метою підвищення коефіцієнта теплопередачі, що безпосередньо впливає на експлуатаційні витрати і ефективність використання енергії.

Велику економію дає термоізоляція вентиляційних систем КП.

У деяких випадках для економії енергії доцільним є зміна вологості, а не регулювання температури, а саме, коли необхідна невелика корекція, щоб забезпечити комфортні умови.

СКП у теперішній час найчастіше використовуються разом з теплоутилізаційною установкою.

Автоматичне регулювання в СКП (АРСКП)

АРСКП може звести до мінімуму втрати енергії при перегріванні чи переохолодженні в залежності від змін зовнішніх умов. Широко застосовуються системи автоматичного регулювання (САР), за допомогою яких навантаження на СКП вночі і вихідні дні знижується.

На більшості установках припливного повітря для СКП застосовують регулятори змішування повітря, де тепле повітря з будівлі змішується з холодним зовнішнім повітрям до одержання необхідної температури припливного повітря.

Основні заходи з економії енергії в будівлях:

- експлуатація котельних установок при оптимальних ККД;
- зменшення кількості пусків котлів;
- контроль за режимом пуску;
- встановлення засобів контролю за опаленням;
- регулювання засобів контролю за опаленням;
- підвищення коефіцієнту потужності;
- зниження надлишку освітлення;
- поліпшення теплоізоляції і температурний контроль;
- контроль за експлуатацією допоміжного обладнання.

Економія за рахунок впровадження даних заходів оцінюється в 25% споживання енергії для цілей опалення і кондиціонування повітря в адмінбудинках (Велика Британія) при невеликих у порівнянні з економією капітальних витрат.

Термін окупності у середньому складає не більше 2 років.

2. Котли

Поточні ремонти, ефективна ізоляція, ліквідація витоків і низка інших заходів, що не потребують великих коштів, спроможні дати значну економію енергії.

Економія енергії може бути також досягнута за рахунок використання **аккумуляторів**, до яких гаряча вода підіється у період зниження навантаження котла.

Дуже важлива очистка поверхні нагрівання, яка значно впливає на ступінь нагрівання. Зволоження повітря, що надходить у котел для горіння, сприяє попередженню забруднень поверхонь нагрівання котла. Рекомендовано 12...20 кг води на кожні 100 кг повітря.

Утилізація теплоти відхідних газів котла може дати економію 10% палива навіть при відносно низькій температурі викидів.

Повинне (де це можливо) здійснюватись повернення конденсату. Якщо з якихось причин це недоцільно, то теплота конденсату повинна утилізуватись до його скидання.

Продув очна вода котла є також джерелом скидної теплоти, яку необхідно утилізувати. Це найбільш економічно у тих випадках, коли живляча вода поганої якості і вимагається часта продувка котла.

Якщо котел забезпечує одночасну виробку технологічного пару і пару для тепло забезпечення, природно, він працює при невеликих навантаженнях у літні місяці, тобто з відносно низьким ККД. Оптимальний вибір котлів по кількості і продуктивності може дати економію палива.

3. Димові труби

Димові труби – перш за все – для відведення газів якомога вище в атмосферу і підтримання в котлі необхідної швидкості газу і тяги.

В системах природної, які найбільш чутливі до збільшення забруднення, дуже важливим є стан внутрішньої поверхні верхньої частини димової труби. При значному її забрудненні втрачається більше 50% корисної площі і тим самим погіршується тяга. Тому необхідна регулярна перевірка стану димових труб на заводі і очистка їх по мірі необхідності.

Збільшення тяги можна досягти збільшенням висоти труби. Краще це досягається в трубах, які мають відносно велику площу поперечного перерізу і низькі швидкості газу, через те що у протилежному випадку може збільшитись перепад тиску. Іншим методом поліпшення природної тяги є встановлення барометричних регуляторів тяги, а також встановлення у верхній частині труби ежекторів.

Примусова тяга здійснюється на великих по продуктивності установках чи коли передбачається утилізація теплоти у газоході, що веде відповідно до збільшення опору тракту.

Найбільш ефективною є комбінована система природної і примусової тяги. Такі системи мають температури у нижньої основи димової труби на 40% нижче, ніж в системах з гарною природною тягою при пропорційному зниженні втрат теплоти з складними газами.

4. Системи спалювання палива

ККД спалювання палива – один з самих важливих факторів в роботі котлів, печей і ряд інших нагрівальних установок, в яких використовується рідке, тверде чи газоподібне паливо.

Заходи по вдосконаленню діючих систем можуть зводитись до заміни пальника старого типу новим чи до встановлення системи автоматичного регулювання (САР) співвідношення повітря і палива у залежності від зміни навантаження і зовнішніх умов. Для аналізу складу продуктів згоряння використовуються спеціальні прилади.

Якщо причиною низької ефективності процесу горіння є погане змішування, то бажано перейти з інжекційного пальника на пальник з примусовою подачею повітря.

Як видно (рис. 5) суттєвий вплив на ККД процесу горіння справляє зміна густини палива, пов'язані з відхиленням температури від номінальної. Так, наприклад, зміна температури нафти на 5°C знижує ККД пальника на 1-2%.

Рис. 5 Вплив густини рідкого палива на показники роботи пальника

САР процесу горіння представляє собою стандартне обладнання на більшості нових печей. Як вже зазначалось раніше, основною метою цих систем є забезпечення правильного співвідношення повітря і палива у пальнику, яке забезпечує високий ККД, оскільки відвертаються втрати теплоти з складними газами

через високий коефіцієнт надлишку повітря чи втрати з хімічним недопалом через низький коефіцієнт надлишку повітря.

САР необхідні з точки зору безпеки, тому що надлишково збагачена суміш може привести до вибуху.

Процес горіння може також вплинути на якість продукту і хід всього технологічного процесу.

Багато методів регулювання процесу горіння ґрунтуються на використанні ЕОМ. Потоки палива і повітря балануються за допомогою ЕОМ і дозволяють легко і точно здійснювати корегування за тиском, температурою і запрограмованій потребі у надлишку повітря. Така система може використовуватись для пальників, що працюють на нафті і газі, в неї увімкнені також витратоміри повітря і палива.

САР має наступні основні особливості:

- при підвищенні навантаження кількість палива починає збільшуватись тільки тоді, коли під дією системи регулювання збільшується об'єм повітря, що подається у точку. Зниження навантаження приведе до зменшення об'єму повітря, що подається саме в той момент, коли зниження кількості палива вже відбулось;

- при регулюванні зсуву можна встановити необхідний коефіцієнт надлишку повітря (6%) незважаючи на зміну навантаження. Регулювання нахилу дозволяє проводити автоматичне відключення збільшення співвідношення надлишку повітря, причому регулювання зсуву та нахилу здійснюється без впливу одного на інший;

- вихідні сигнали системи можуть використовуватись для приведення в дію пневматичних і електричних систем регулювання;

- система регулювання визначає відхилення в суміші, коли умови не відповідають прогнозуємим, а за допомогою витратоміру безперервно перевіряється правильність протікання процесу.

Ефективність підтримання оптимальних співвідношень повітря і палива з використанням системи регулювання показана на рис. 6.

Рис.6 Можлива економія палива застосуванні САР надлишку палива

5. Система одержання стиснутого повітря

Для приводу компресорів, які виробляють стиснуте повітря, споживається електроенергія, а у деяких випадках нафта чи газове паливо. Існує ряд заходів, які дозволяють знизити експлуатаційні витрати в системах одержання стиснутого повітря, відносно дорогої форми енергії.

Усі витрати повинні бути негайно усунуті, а тиск в системі мусить бути настільки низьким, наскільки дозволяють технічні умови.

Не слід використовувати стиснуте повітря для охолодження методом примусової конвекції, для цього існують більш дешеві методи.

Теплоту, що відводиться від холодильника після компресора, можна використовувати для цілей опалення.

Фільтри необхідно постійно очищувати чи замінити фільтроелементи. Збільшення перепаду тиску через забруднення веде до збільшення витрат енергії на привід компресору тощо.

Привід компресору газовим зворотно-поступальним двигуном дає можливість використовувати скидну теплоту для теплопостачання чи одержання пара на технологічні цілі.

6. Градирні

Основною функцією градирні є охолодження води, що нагрілася в технологічному процесі, для повторного використання, для подальшого охолодження, замість того щоб скидатися.

Хоча скидна теплота відносно низького потенціалу, все ж вона представляє собою джерело економії, якщо її утилізувати шляхом прямого теплообміну чи за допомогою теплового насоса.

7. Сушильні установки

Сушіння є обов'язковою частиною великого числа промислових процесів. Сушіння ґрунтується на видаленні будь-якої рідини з газу чи твердого продукту. Видалення рідини може здійснюватись і механічним способом, наприклад, за допомогою фільтрування чи центрифугування, або термічно, коли через середовище продувається гаряче повітря.

В подальшому будуть розглянуті сучасні методи сушіння, нові установки, а також дана оцінка потенціальних можливостей застосування утилізації скидної теплоти – процесів сушіння.

8. Печі

Печі – найбільш великий споживач енергії у промисловості, і тому для них більш ніж де повинна використовуватись енергозберігаюча техніка.

Підраховано, що тільки у Великій Британії втрати теплоти скидних газів печей еквівалентні 100 млн.ф.ст. на рік.

Одним з методів економії, менш дороговартісним, ніж застосування теплоутилізаційних установок є ізоляція печі.

Втрата теплоти залежить від стану футерівок печі, ізоляції і пічних дверей, тому необхідний регулярний їх ремонт.

Найбільш важливим питанням удосконалення ізоляції є розробка вогнетривких матеріалів з малими значеннями щільності і коефіцієнта теплопровідності. Так, наприклад, ефективною є ізоляція, що складається з керамічних волокон на основі оксиду алюмінію чи оксиду кремнію. Вона може бути у виді вати, мотузок і великих полотен.

Шар такої ізоляції товщиною 100 мм еквівалентний шару в 300 мм з шамотної цегли.

Деякі види ізоляції із керамічного волокна витримують температуру до 1600 °С. Порівняно з витратою енергії в печах з класичною цегляною футерівкою витрата енергії в печах з новою футерівкою знижувалась на 50%.

Регулювання тиску у великих печах забезпечує мінімальний вихід полум'я, а також перешкоджає присмоктуванню холодного повітря через будь-які отвори. Зазвичай в печі підтримується невеликий позитивний тиск, а рівномірне його розподілення сприяє навіть інтенсифікації процесу нагрівання.

Підтримання відповідних параметрів в печі і в інших установках повинно здійснювати за допомогою контрольних діаграм, що представляють собою залежність ККД печі від надлишку повітря, температури газів, що уходять, теплового навантаження. Це дозволяє підвищити ККД процесу на 5%.

Найбільш загальними технічними рішеннями і заходами з економії енергії у більшості процесів нагрівання є такі:

- повинні використовуватись віддзеркалюючі екрани для акумулювання теплоти в області процесу;

- якщо необхідний безперервний процес нагрівання, то періодичний процес має бути замінений. При цьому ККД процесу збільшується і для повторного нагрівання вимагається менша кількість енергії;

- необхідно застосовувати САР процесів, якщо вона може збільшити ККД;

- необхідно використовувати ізоляцію;

- у всіх випадках слід застосовувати паливо необхідної якості;

- у безперервних процесах сушіння – використовувати повітряні завіси.

Печі для спалювання відходів

Печі для спалювання відходів має достатньо складне обладнання і їх експлуатація може бути забезпечена тільки у випадку додержання тих же заходів як для печей і котлів. Щоб знизити експлуатаційні витрати застосовують попереднє нагрівання повітря для горіння, відповідну ізоляцію, такі пальники, які дозволяють використовувати неякісні види палива, а також регулювання температури для забезпечення мінімальної температури спалювання.

Освітлення на заводах і в адміністративних будівлях

Освітлення – це ще одна область, якою нехтували при розгляданні питань економії енергії. Однак сьогодні цим опікуються найкрупніші фірми і дослідні заклади.

Лампи розжарювання і ртутні лампи мають відносно низькі світлові еквіваленти потоку випромінювання (лм/Вт). Люмінесцентні – набагато кращі, а ще більш кращі натрієві і металогалогенові.

На рис.7 показана порівняльна інтенсивність освітлення різних ламп.

Рис.7 Порівняльна інтенсивність освітлення різних лапм

Крім вибору світильника і його правильної експлуатації для одержання економії енергії необхідно мати на увазі і ряд інших заходів:

- лампи повинні вимикатися, якщо в них більше нема потреби;
- повинні використовуватися пристрої тимчасового вимкнення освітлення;
- стіни і стелі мають бути світлими;
- освітлення повинно вибиратися з урахуванням роду діяльності у даному приміщенні і кількості персоналу.

9. Промислові будівлі

Заходи по економії енергії у промислових будівлях мають багато спільного з заходами для СКП та інших установок. Але є і свої специфічні особливості.

Більша частина повітря, що надходить до будівлі ззовні, вимагає доведення його до прийнятних внутрішніх умов; теплоту відпрацьованого повітря можна утилізувати для підігрівання припливного повітря і підтримання комфортних і безпечних умов. Якщо застосовується примусова вентиляція, то надлишкове використання повітря означає зростання експлуатаційних витрат.

Більшість промислових будівель мають великі двері, але навіть невеликі отвори в даху можуть привести до значних втрат теплоти. Для захисту тривало відкритих дверей можна використовувати завіси теплим повітрям. Експлуатаційні витрати на повітряну завісу – невеликі, а у деяких випадках достатньо мати повітря кімнатної температури, яке правильно направлене по дверним проймам.

Для конвекторів і радіаторів використовуються неелектричні вентиляції регулювання. Вони встановлюються на існуючому обладнанні, що спрощує всю конструкцію. Такі вентиляції можуть давати 40% економії енергії, вони найбільш прийнятні у невеликих приміщеннях. Системи теплопостачання у період відсутності людей у приміщенні повинні вимикатися. Радіаційний нагрів відбувається дуже швидко. В обмежених просторах більш ефективно використовувати пряме конвекційне нагрівання. Необхідно уникати протягів. Необхідно використовувати двері, що самі зачиняються,

вони мають бути добре налагоджені, щоб відвернути заклинювання під час використання.

10. Внутрішньозаводські системи гарячого водопостачання

До заходів з економії енергії в цій області відносяться:

- зниження на декілька градусів максимальної температури води. Це не створює ніяких незручностей і може бути легко досягнуте, в особливості якщо система відокремлена від основної системи тепlopостачання чи нагрівання технологічної води;
- використання автоматичних кранів, які спрацьовують, коли відбір води припинений. Це економить як холодну, так і гарячу воду;
- ізоляція баків для зберігання води і довгих трубопроводів, що ведуть до кранів гарячої води;
- застосування систем гарячого водопостачання;
- використання скидної технологічної теплоти для нагрівання води в системі гарячого водопостачання;
- розташування нагрівачів і баків для зберігання гарячої води поблизу від місць використання.

11. Прилади контролю за економією енергії

Існує декілька типів контрольно-вимірювальних приладів, що дають можливість контролю за роботою установок і обладнання з метою економії енергії:

- камери інфрачервоного випромінювання і системи сканування. Вони використовуються для визначення місць витоків теплоти у печах і для перевірки надійності термоізоляції;
- газоаналізатори, які можуть бути розраховані на вимірювання одного компонента чи суми концентрацій декількох компонентів газової суміші. Газоаналізатори застосовуються для контролю ККД процесу горіння і, відповідно, за витратою палива;
- витратоміри для водних магістралей контролюють кількість води, що використовується. Витратомір палива в системі опалення, що працює протягом доби, може виявити надлишкове використання палива з урахуванням відсутності в будівлі персоналу чи з урахуванням високої температури оточуючого середовища;

– прилади для регулювання температури. Термостатично регулюєме нагрівання при тепло забезпечення чи в технологічних процесах може дозволити економити енергію. Застосовуються також прилади для регулювання умов у приміщенні в залежності від кількості працюючих людей;

– вимірювання вологості – дуже важливий показник в кондиціонуванні повітря і в технологічному процесі сушіння.

Прилади всіх зазначених вище типів застосовуються в промисловості. Є ще й специфічні прилади.

12. Паровідділювачі

Паровідокремлювач – це автоматичний вентиль, встановлений на паропроводі для вилучення конденсату і повітря. Він може діяти по-різному:

– **термостатичні** паровідділювачі реагують на різницю температури між паром і конденсатом;

– **термодинамічні** – на фазову зміну.

Механічні чи конденсаційні паровідділювачі з поплавцем діють у залежності: від зміни густини середовища, тобто при присутності конденсату чи повітря.

Велике значення має надійність паровідділювача, тому що присутність конденсату в теплообміннику знижує їх ККД через зменшення внутрішньої поверхні теплообміну. Присутність повітря та інших неконденсуємих газів веде до такого ж ефекту. Диоксид вуглецю і кисень в парі можуть викликати корозію в трубопроводі і скоротити термін служби теплообмінника.

Фірма Standart Oil (США) розробила програму по відведенню витоків пара і ремонту паровідділювачів. В результаті витрата пари на НПЗ в м.Річмонді знизилась на 30 кг/с. На НПЗ, де експлуатуються 2500 паровідділювачів, виконання програми, що включає перевірку і щомісячний (один раз на місяць) ремонт, дало економію 50% всієї пари. До цього ремонт проводився один раз на 3 місяці, і пошкодження при цьому все ж складали 10-15%.

Фірма ICI Petrochemical Div використовує ультразвукові детектори для контролю за станом паровідділювачів, використовується телестеження і визначення місць пошкоджень.

13. Резервуари для збереження гарячих продуктів

Якщо продукт повинен зберігатися при температурі вище (чи нижче) температури оточуючого середовища або якщо вона повинна нагріватися в резервуарі, необхідно провести ряд попереджувальних заходів, щоб знизити втрати теплоти чи поліпшити ступінь нагрівання:

- баки і резервуари повинні бути ізольовані чи закриті кришкою;

- якщо бак є джерелом значної кількості скидної теплоти слід застосовувати відповідну утилізаційну техніку;

- для більш ефективного нагрівання в резервуарах рекомендується застосовувати нагрівання зануренням замість нагрівання знизу чи ззовні резервуару. Якщо ізоляція виявилась непридатною для такого нагрівання, слід застосувати декілька нагрівачів з гарним захистом. Для нагрівання може використовуватися також занурене горіння;

- занурені нагрівачі повинні регулярно перевірятися для забезпечення чистоти поверхні;

- в системі з нагрівачем повинні використовуватися термометри, щоб попередити підвищення температури вище необхідної;

- якщо є гарячий стік, він повинен пропускатися через змійовик, занурений в резервуар для зберігання з метою економії хоча б деякої кількості енергії, що витрачена на нагрівання.

14. Паливні добавки

В наш час широко рекламуються паливні добавки можуть розв'язати широке коло проблем, що ведуть до підвищення ККД горіння, зниженню експлуатаційних витрат і зменшенню шкідливих викидів. Одна з добавок до паливної нафти дає такі переваги:

- відвертають утворення шламу в резервуарах для зберігання палива і зводять до мінімуму окалину в пальнику;

- збільшити ККД горіння;

- знижує низько- високотемпературний нагар і корозію;

- регулює виділення кислотної сажи і копоті.

Інші добавки до нафти чи природному газу відвертають утворення окалини на метали під час обробки.

Густина – одна з проблем, пов'язаних з використанням деяких залишків паливної нафти. Висока густина може викликати відносно швидке утворення шламу як в резервуарах для зберігання палива, так і у нафтопроводах. Паливні добавки перетворюють шламоутворюючі компоненти на такі, що горять. Це різко підвищує ККД горіння і знижує експлуатаційні витрати.

Високо- і низькотемпературна корозія, яка викликається пентоксином ванадію і сірчаною кислотою також може бути зменшена застосуванням добавок, які відвертають утворення цих з'єднань чи нейтралізують їх дію.

При використанні паливних добавок підвищується ефективність розпилення палива і відповідно ККД процесу горіння. Ціна добавок складає незначну частку вартості паливної нафти.

15. Утилізація скидної теплоти

В різних галузях промисловості більшість технологічних процесів мають багато спільного з точки зору утилізації скидної теплоти.

Кондиціонування повітря

Джерела надходження теплоти і її втрати в будівлях – для ефективного використання СКП і розробки технічних рішень по регенерації енергії необхідний точний тепловий баланс будівлі. Втрати теплоти в будівлі складаються з:

- втрати, які залежать від конструкції будівлі і які звичайно складають половину теплоти, що надходить в будівлю;
- втрат з повітряною вентиляцією – теплоти, витраченої на нагрівання повітря, що надходить в будівлю для створення комфортних умов.

Джерела надходження теплоти всередині будівлі:

- освітлювальні прилади. Вони можуть розглядатись як джерела теплоти, проте для одержання конкретних даних необхідно провести точний статистичний аналіз системи освітлення;

- люди. Усі люди, що перебувають в будівлі, виділяють метаболічну теплоту (майже 100 Вт на людину);

- електронно-обчислювальні машини. ЕОМ може бути джерелом значної кількості теплоти;

- повітря, що складається з будівлі, теплота його може бути утилізована;

– двигуни, що приводять в рух вентилятори і насоси, системи кондиціонування повітря;

– решта видів обладнання, не пов'язані з СКП.

Втрати теплоти в будівлі залежать від температури зовнішнього повітря і можуть бути представлені на графіку у вигляді прямої лінії, при цьому, природно, втрати теплоти зростають зі зниженням температури (пряма лінія, паралельна вісі абсцис на рис. 8).

Рис. 8 Втрати теплоти в будівлі

Перехрещення двох ліній дає точку теоретичного балансу, у якій втрати дорівнюють надходженню теплоти. Без перерозподілу теплоти в окремих частинах будівлі практично неможливо досягнути теоретичного теплового балансу.

Температурний баланс при температурі зовнішнього повітря – 4°C і температури усередині будівлі 21°C .

Джерело втрати (надходження) теплоти	Надходження теплоти, кВт	Втрати теплоти, кВт
Конструкція будівлі	–	378
Вентиляція	–	490
Освітлювальні прилади	550	–
Люди	100	–
Вентилятори, насоси, компресори	218	–
	868	868

Методи утилізації теплоти

Утилізація теплоти в будівлях з СКП може бути поділена на три категорії: I – утилізація теплоти вентиляційних викидів; II – утилізація теплоти системи освітлення; III – утилізація скидної теплоти холодильних машин.

I. Утилізація теплоти вентиляційних викидів.

Утилізація скидної теплоти для нагрівання свіжого повітря (чи охолодження свіжого повітря, що надходить; скидним повітрям після СКП влітку) є найпростішою формою утилізації.

При цьому можна відмітити чотири типу системи утилізації:

- регенератори, які обертаються;
- теплообмінники з проміжним теплоносієм;
- прості повітряні теплообмінники;
- трубчаті теплообмінники.

1. При роботі обертового регенератора в системі кондиціонування, він може підвищити температуру припливного повітря взимку на 15°C , а влітку – знизити на $4-8^{\circ}\text{C}$. Як і в інших системах утилізації, за винятком теплообмінника з проміжним теплоносієм, обертовий регенератор може функціонувати тільки в тому випадку, якщо витяжний і усмоктуючий канали прилягають один до одного у якійсь точці системи.

2. Теплообмінник з проміжним теплоносієм – менш ефективний, ніж обертовий регенератор. У цій системі вода циркулює через два теплообмінних змійовики, і через те що застосовується насос, то два змійовика можуть бути розташовані на деякій відстані один від одного (рис.9).

Рис. 9 Теплообмінник з проміжним теплоносієм: 1, 2 – змійовик; 3 – насос

3. Простий повітряний теплообмінник – стаціонарний пристрій для теплообміну встановлений поміж відпрацьованим і тим повітрям, що надходить. Через те що значна частина площі поверхні заточена в компактному просторі, досягається відносна ефективність.

4. Теплообмінники з тепловою трубою – похідна конструкції простого (3) теплообмінника, у якому два потоки в камері залишаються абсолютно роздільними, зв'язаними пучком ребристих труб, які переносять теплоту від одного каналу до іншого.

Хоча стінка труби може розглядатися як додатковий термічний опір, ефективність теплопередачі усередині самої труби, у

якій відбувається цикл випаровування-конденсації, настільки велика, що у цих теплообмінниках можливо утилізувати до 70% скидної теплоти. Одна з головних переваг цих теплообмінників порівняно з теплообмінником з проміжним носієм і обертовим регенератором – їх надійність. Вихід з ладу декількох труб лише у незначній мірі знизить ефективність роботи теплообмінника, але не зупинить усю систему утилізації.

Усі розглянуті системи утилізації відрізняються високою економічною ефективністю.

Системи утилізації теплоти освітлення

У будівлях з СКП можна найкращим чином використовувати теплоту, що ви промінюється лампами, які є основним джерелом надходження теплоти. Для досягнення цього необхідна освітлювальна арматура спеціального типу чи світильники форми, показаній на рис. 10.

Рис. 10 Повітряне охолодження люмінесцентних ламп:
1 – розподільний механізм; 2 – ущільнювач

У цьому світильнику відпрацьоване повітря відносять у камеру припливної вентиляції у стелі. Таким чином можна використовувати до 50-65% енергії, що витрачається на освітлення (з урахуванням можливих втрат в процесі утилізації).

16. Котли

Розглянемо питання, пов'язані з роботою котла і шляхи збереження енергії:

- використання повітря підігрівачів;
- повернення конденсату;
- утилізація теплоти при продувці котла.

1. Використання повітря підігрівачів – для підігрівання повітря, яке подається в зону горіння (рис.11)

Рис. 11 Обертвий регенератор фірми James Howden з горизонтальним валом для підігрівання повітря в котлі: 1 – піч (котел); 2 – підігрівач

2. Повернення конденсату в котел при умові, що конденсат відповідає вимогам по якості, представляє собою найбільш простий метод економії теплоти, і це може дати від 10 до 30% економії палива, що спалюється для одержання пари. Конденсат повертається в котел у виді живлячої води.

3. Утилізація теплоти при продувці котла.

Котлова вода вміщує завислі чи розчинені тверді речовини, які приводять до утворення накипу і відкладень на поверхні теплопередачі. Продувка котла може бути періодичною чи безперервною. Величина її визначається загальною конденсацією розчинених твердих речовин.

„Безперервна продувка” – це безперервне відведення потоку гарячої води з котла. Теплота води цього потоку може бути утилізована у випарнику миттєвої дії чи у теплообміннику, при цьому регенерована теплота використовується для нагрівання води котла, попереднього нагрівання палива чи повітря для горіння. При цьому кількість теплоти, яка може бути утилізована, залежить у великій мірі від способу її використання.

На рис.12. найефективніші і найдорожчі процеси утилізації представлені кривими 1 і 2.

Рис. 12 Утилізація теплоти і води продувки котла

Ці процеси включають в себе випаровувачі миттєвої дії і звичайні теплообмінники, за допомогою яких здійснюється нагрівання додатної води (рис.13).

Рис. 13 Утилізація теплоти миттєвого випаровування для нагрівання живлячої води: 1 – випаровувач миттєвої дії; 2 – клапани; 3 – підживлюючий бак; 4 – резервуар; 5 – регулятор рівня; 6 – варіант використання звичайного теплообмінника.

Якщо виключити випаровувач миттєвої дії, то вся теплота продувочної води буде використовуватись для нагрівання добавочної води. Сама нижня крива (рис.12) показує кількість води, яка може бути одержана при застосуванні випарника миттєвої дії. Цей процес частіше використовується з огляду підвищення цін на воду.

Більш складна система показана на рис. 14. Одержаний у цьому випадку пар може у подальшому використовуватись в ряді процесів, включаючи нейтралізацію крекінг-бензину і очистку від домішок рідкого палива. Хімічні властивості пара випарника робить його ідеальним для цих цілей.

З урахуванням капітальних витрат на обладнання, необхідне для систем безперервної продувки, вартість котла разом з утилізацією теплоти складає 1-5 тис.ф.ст. в залежності від ступеню автоматизації і інших додаткових витрат. Строк окупності витрат складає 1 рік, а щорічна економія еквівалентна декільком тисячам Z (фунтів стерлінгів).

Рис. 14 Складна система утилізації теплоти продувки на НПЗ.

17. Рекуперативні пальники

Рекуперативні пальники застосовуються, головним чином для попереднього нагрівання великої кількості повітря, що надходить у піч. Вони представляють металоємну конструкцію, розташовану після основної камери згоряння, і у більшості випадків встановлення їх економічно вигідна лише для печей великої продуктивності.

Рекуперативний пальник (РП) з автоматичним рекуператором дає споживачам печей будь-якого розміру можливість заощаджувати значну кількість палива.

Було доведено (дослідження фірми British Gas Corporation), що у той час, як нагрівання повітря за допомогою чи регенераторів у великих печах безперервної дії абсолютно необхідне, встановлення їх на невеликих печах, в особливості печах періодичної дії, економічно неефективне. Це печі – найменш економічні. В печі з термічним ККД 10% втрати теплоти з вихідними газами складає приблизно 70% первинної енергії. Для усунення цього фірма BGC розробила РП, яка виконує функцію пальника, топки і рекуператора в одній компактній системі (рис. 15).

Рис. 15 Рекуперативний пальник, розроблений фірмою British Gas Corporation: 1 – вхід продуктів горіння з печі; 2 – вогнеупірний блок; 3 – вихід продуктів горіння з печі; 4 – стінка печі; 5 – сопло пальника

РП складається з високошвидкісного пальника зі зміщуючим соплом, що розташовується всередині теплообмінника з протитечією для нагрівання повітря, рекуператор виконано з термостійкої сталі.

Теплова потужність цієї серії пальників складає 100-900 кВт, швидкість газів на виході – більше 50 м/с. Повне згоряння палива відбувається перш ніж гази надходять у піч.

Для цього типу пальників розроблена система контрольно-вимірювальних приладів, схожу до системи, призначеної для звичайних пальників, з доповненням регулюючим пристроєм компенсації підвищення протитиску, що створюється в результаті високої температури повітря.

Застосування РП дозволило одержати значну економію палива: від 30 до 82%.

18. Утилізація теплоти в сушарках. Системи з киплячим шаром.

Сушіння продуктів – процес, який вимагає точного контролю умов його проведення з метою досягнення мінімальної витрати

енергії. Для багатьох промислових сушарок застосування систем утилізації теплоти можна значно скоротити витрати на паливо.

Відведене з сушарок повітря має високий вміст води, і тому його не можна зразу ж повторно використовувати в сушарці. У зв'язку з цим перш ніж скидати повітря в атмосферу, теплоту регенерують за допомогою теплообмінників.

Не завжди враховується той чинник, що сам осушений продукт також вміщує значну кількість теплоти.

Розглянемо систему використання теплоти, що вміщується в продукті для попереднього нагрівання повітря.

Непрямий теплообмін в сушарках

Більшість теплообмінників типу повітря-повітря можуть використовуватись в сушарках з урахуванням того, що повітря яке відсмоктується і надходить не повинне перебувати в контакті між собою. Це пластинчаті теплообмінники рекуперативного типу, теплообмінники з тепловими трубами, теплообмінники з проміжним теплоносієм і найбільш сучасні системи з тепловими насосами.

У більшості сушарок усмоктуючий і витяжний канали розташовані на протилежних кінцях установки, і тому змійовик зручний для передачі теплоти від одного кінця до другого без витрат на додаткові трубопроводи (рис.16).

Рис. 16 Сушарка з утилізацією теплоти за допомогою теплообмінників з проміжним теплоносієм: 1 – сушарка; 2 – вхідний канал; 3 – теплообмінник; 4 – напірний бак; 5 – контур з проміжним теплоносієм; 6 – циркуляційний насос; 7 – витяжний канал.

Змійовики в усмоктуючому і витяжному каналах мають форму теплообмінників зі збільшеною площею поверхні. Завдяки застосуванню цього методу можна одержати до 60% економії первинної енергії, що витрачається на процес сушіння. Робочим тілом у більшості випадків може бути вода, але якщо t° газів висока, то можуть застосовуватись високотемпературні теплоносії.

Кільцеву систему можна також застосовувати для попереднього нагрівання повітря для сушіння з використанням скидної теплоти та інших процесів. Таким чином можна утилізувати таку кількість теплоти, яка може забезпечити усю потребу сушарки в енергії в залежності від її продуктивності.

Сушарка з регенеруванням теплоти

Як вже зазначалося, теплота вміщується в потоці відпрацьованого повітря, а також в продукті, який виходить з сушарки. З урахуванням цього і для того, щоб зробити процес сушіння гранульованих сухих матеріалів більш економічним, була застосована схема, показана на рис.17.

Рис. 17 Схема теплообмінника для регенерації теплоти сухого продукту: 1 – воронка; 2 – фотоелектричний регулятор рівня; 3 – теплообмінник; 4 – приймач; 5 – нагрівач; 6 – розширювальна камера; 7 – регенератор; 8 – вимірювальна трубка; 9 – шарові клапани; 10 – витратомір для регулювання кількості матеріалу (для сушіння), що подається.

Гаряче повітря надходить протитечією до продукту, який самоплином рухається вертикально униз. Цей апарат можна розділити на чотири основні секції:

1. теплообмінник, в якому температуру продукту підвищують до температури гарячого повітря;
2. приймач, де матеріал підтримується при тій же температурі;
3. регенератор, у якому теплота матеріалу використовується для нагрівання повітря;
4. витратомір для регулювання кількості матеріалу, що подається.

Нагрівач передбачено для додаткової подачі регенерованої теплоти.

Крива на рис..... представляє собою залежність між ККД регенерації і вмістом вологи в продукті, коли він надходить у теплообмінник. Як і очікувалось, ККД регенерації підвищується по

мірі зменшення вмісту вологи, але навіть при дуже високому вмісту вологи він склав майже 30%. Практичні дослідження дали таке:

1. ККД регенерації залежить від відносних швидкостей потоків повітря і продукту. Процес йде найкраще при співвідношенні теплоємності потоків біля 1;

2. більш високий ККД регенерації може бути досягненим при зниженні робочої температури сушіння;

3. в апараті регенератор дає можливість додатково сушити усі продукти з вмістом вологи більш 5% до обробки.

Теплові насоси в процесах сушіння

Тепловий насос (ТН) – його застосування найбільш ефективний шлях використання електроенергії за допомогою ТН можна одержати у три рази більше теплоти в конденсаторі, ніж підведена енергія до компресора, тобто коефіцієнт перетворення дорівнює 3. Таким чином, ТН з компресором, який приводиться у дію за допомогою електродвигуна, буде мати з точки зору утилізації первинних джерел енергії ККД біля 100% (з урахуванням ККД електростанції 33%).

Наразі дослідження направлені на розробку сушарок з температурою в камері до 85°C, але у майбутньому ця температура буде підвищена більш ніж до 100°C.

Сушарки з киплячим шаром

Процес сушіння може бути значно прискорений, якщо матеріал має велику площу поверхні порівняно з його масою. Так, якщо матеріал може бути подрібнений на окремі частинки, то це полегшує процес сушіння. Це основний принцип сушіння розпиленням і сушіння у киплячому шарі. В процесі сушіння у киплячому шарі основна задача – суспендувати вологі частинки у вертикальному потоці повітря піддаючи таким чином максимальну площу частинок примусовій конвекції повітрям.

Рис. 18 Сушарка з киплячим шаром: 1 – фільтр на вході; 2 – фільтр на виході; 3 – нагрівач; 4 – вентилятор; 5 – теплообмінник з тепловими трубами

Сушарка з киплячим шаром (рис.18) може використовуватись для періодичних процесів, коли в одній сушарці з продуктивністю біля 1 т/год можна обробляти різні продукти.

В цьому типі сушарок (хімічна, фармацевтична і харчова промисловість) можна використовувати для нагрівання повітря пару або продукти згоряння палива. Стандартна робоча температура для деяких типів сушарок складає 120°C, а для захисту оточуючого середовища від забруднення передбачені системи вторинної фільтрації абсорбції вугіллям.

Всмоктуючий і витяжний канали примикають один до одного. Оптимальним типом теплообмінника для утилізації скидної теплоти в такій сушарці, відвертаючим потраплянням конденсату, що утворився в результаті охолодження відпрацьованого повітря, знову в продукт, що піддається сушінню, є теплообмінник з тепловими трубами. Якщо застосовувати схему, що витрата енергії, яка на більшості установок складає $7,5 \cdot 10^{-2}$ кг/с пари, знизиться більш ніж удвічі.

Для нагрівання повітря може бути використана теплота відхідних газів котлів. У цьому випадку оптимальним може бути використання теплообмінника з кільцевим змійовиком.

19. Печі.

Печі у значній мірі відрізняються у різних галузях промисловості за розмірами, температурному режиму, організації процесу горіння, видами палива і робочому циклу.

Теплові потоки в печах

В печі періодичної дії сировина нагрівається безпосередньо в печі. Основні втрати теплоти пов'язані з продуктами згоряння палива, що відходять через димову трубу.

Рис. 19 Потоки теплоти в печі періодичної дії

Теплота газів може бути використана для попереднього нагрівання повітря, що надходить у зону горіння, з застосуванням рекуператорів, для одержання пара з використанням котла-утилізатора, а також для попереднього нагрівання сировини до надходження його у піч.

Печі безперервної дії

Печі безперервної дії застосовуються головним чином для термообробки, мають великі можливості утилізації теплоти безпосередньо у самій печі: холодне повітря (рис. 20), що підводиться у піч, може бути використаним для охолодження готового виробу і далі – для пальників печі, а гарячий відпрацьований газ надходить для попереднього нагрівання виробу.

Рис. 20 Схема печі безперервної дії

Печі для спалювання відходів

Ці печі до останнього часу застосовувались для спалювання відходів, які не могли бути використані у будь-якому процесі для інших цілей. Спалює мий матеріал може бути у виді газу, рідини чи твердої речовини. Печі для спалювання газів призначені для захисту атмосфери від отруйних чи шкідливих речовин; для спалювання рідких відходів – для вилучення органічних домішок і регенерації неорганічних; твердих – для спалювання усіх побутових і промислових відходів у крупних містах.

1. Печі для спалювання газів

Гази, що забруднюють оточуюче середовище мають запах і можуть бути визначені візуально в основному – вуглеводні, спалюють у печах двох основних типів: термічні і каталітичні.

Піч (рис.21) складається з трьох основних частин: камери надходження знешкодженого газу, пальника і топічної камери. Піч забезпечує нормальне спалювання газів і характеризується низькими експлуатаційними витратами. Частина газів, що надходить через пальник і використовується у якості повітря для горіння, що дає економію до 30% витрат на паливо.

Рис. 21. Піч спалювання газових відходів: 1 – камера спалювання; 2 – вхідна діафрагма; 3 – пальник; 4 – повітряний короб; 5 – камера спалювання з вогнетривкої цегли; 6 – повітряний зазор; 7 – кільце; 8 – перегородка; 9 – вихід з печі спалювання; 10 – кожух; 11 – вхідний колектор.

Важливою характеристикою печі є конструкція пальника з коротким широким полум'ям плоским полум'ям. Направляючи гази вздовж фронту полум'я по мірі їх надходження у піч, досягають швидкого нагрівання, що гарантує ефективне окислення спалюємих газів. Другою важливою характеристикою є існування порогів у печі, які забезпечують високу турбулентність і відповідно підвищення ефективності спалювання. При цьому велике значення має правильне співвідношення між кількостями продуктів згорання палива і газу, який спалюється.

Доцільність використання печей цього типу полягає в значному скороченні потреби у паливі. Система, показана на рис. 22 з піччю фірми Hirt-Hygrotherm була впроваджена для сушіння покриттів алюмінієвою фольгою

Рис. 22 Схема спалювання газових відходів фірми Hirt-Hygrotherm з використанням їх у якості джерела теплоти для печей: 1 – піч для сушіння фольги; 2 – вхідний колектор; 3 – камера для спалювання відходів; 4 – підігрівач; 5, 6 – нагрівачі свіжого повітря; 7 – димова труба; 8, 9 – печі.

Ці печі працювали на газі, а забруднений органічним розчинником повітря викидалось безпосередньо в атмосферу. В новій системі відпрацьований газ з печі надходить у загальний газозбірник 5. Регулятори тиску забезпечують нормальну роботу системи при різному навантаженні. Витяжний канал з'єднаний з дуттьовим вентилятором, який нагнічує гази через теплообмінник 2, де температура їх підвищується до надходження у піч. Після камери згоряння 1 топочні гази знову потрапляють у теплообмінник 2, проходять через два повітряпідігрівачі 3, 4 і відводяться через димову трубу. Повітря нагнічується вентиляторами в камери 7 і 8.

Контроль за температурою в печі здійснюється за допомогою слідкуючої системи. САР дозволяє працювати як на газоподібному паливі, так і з використанням теплоти згоряння забрудненого органічними розчинниками повітря. Контроль за температурою в окремих печах досягається також шляхом зміни положення заслінки у відповідній трубі навкруг теплообмінника, а також клапана для подачі палива до пальника.

Зазвичай усю необхідну теплоту забезпечують теплообмінники, а паливо потребується лише на період розпалювання.

При загальній потребі в теплі для нагрівання повітря, що надходить у піч, 21,8 ГДж на годину застосування розглянутої системи забезпечувало надходження 19,7 ГДж на годину, тобто 90% загальної потреби, при цьому температура в печі була 700°C, а викиди в атмосферу мали граничнодопустиму концентрацію.

Більш ефективна установка фірми Hirt-Hygrotherm, в якій скидна теплота утилізується для попереднього нагрівання газу і далі органічного теплоносія (масла), який у свою чергу використовується для нагрівання повітря, усуває необхідність дорого вартісних трубопроводів, вентиляторів великої продуктивності і забезпечує гнучкість в роботі установки.

Не у всіх печах для спалювання відходів можна спалювати органічні відходи. Наприклад, двоокис сірки (SO_2) – найбільш

поширені шкідливі викиди, що утворюються в котлах, які працюють на органічному паливі, печах обжигу тощо. Одним з шляхів їх скорочення є видалення з палива більшої частини сірки, але в деяких процесах десульфуризації утворюються сірчистий водень (H_2S), який сам по собі є токсичним газом.

В процесі спалювання H_2S з наступним регульованим охолодженням, що веде до каталітичної реакції, можна одержати чисту сірку. Регульоване охолодження можна здійснювати шляхом подачі скидної теплоти з котла в камеру для спалювання.

На НПЗ (в США) продуктивність 22,7 тис. т на добу відпрацьовані гази з процесу десульфуризації охолоджують у чотири стадії з температури 1393 до 191°C, витрачаючи 21,6 ГДж/с, температура живлячої води 118°C. Це дає економію нафти, еквівалентну 200 тис. доларам на рік, до якої треба додати ще вартість регенерованої сірки.

Якщо звичайну термічну піч для спалювання газів не можна обладнати утилізаційною технікою, то краще застосування каталітичної печі. Каталізатор прискорює швидкість хімічної реакції, не змінюючись сам під час процесу. Застосування каталізаторів в печах для спалювання газів може прискорити реакцію окислення, необхідну для перетворення органічних речовин у вуглекислий газ і водяну пару. Оскільки спалювання газів з каталізатором відбувається при набагато більш низькій температурі (250 – 350°C порівняно з 500 – 1000°C в термічних печах), кількість необхідної теплоти для знешкодження газів значно скорочується.

Застосування ефективної системи витрат на паливо, термін окупності – 12 місяців.

2. Печі для спалювання рідких відходів

Матеріалом, що спалюється, може бути відпрацьований каталізатор або рідини, що вміщують органічні і неорганічні речовини. при цьому є також можливість регенерації неорганічних солей.

Піч для спалювання рідких відходів з великою установкою утилізації теплоти (рис. 23)

Рис. 23 Піч для спалювання рідких відходів: 1 – палиник рідких відходів; 2 – піч; 3 – підігрівач; 4 – котел-утилізатор; 5 – економайзер

В цій печі 22,9 кг/с відпрацьованого газу охолоджується з температури 1200°C до 168°C. Кількість перегрітої пари з тиском 1,930 МПа і температурою 400°C дорівнює 10,4 кг/с.

Економія палива 500тис. ф. ст. на рік.

Розроблена японською фірмою Nittety Chemical Engineering і впроваджена у Великій Британії фірмою Henry Balfour піч для спалювання рідких відходів оснащена палиником, розташованим у верхній частині основної камери над форсунками для розбризкування рідини, що знешкоджується. Продукти горіння і реакції надходять униз у гартувальну ванну, в якій гази охолоджуються приблизно до 90°C. Накопичене у гартувальній ванні може бути використане для попереднього нагрівання повітря, що надходить в зону горіння, чи у випарнику для випаровування рідини, що надходить.

3. Печі для спалювання твердих відходів

Тверді відходи вміщують велику кількість енергії. Економічним вирішенням проблеми їх знешкодження є печі спалювання з утилізацією скидної теплоти.

Сучасна піч для спалювання твердих відходів з допоміжним обладнанням (рис.24) має камеру згорання з **вогнеупорною футеровкою**, в яку подаються тверді відходи і повітря. Спочатку відходи нагрівають за допомогою невеликих допоміжних палиників, і вони (відходи) піддаються процесу піролізу при температурі до 800°C. Порівняно з спалюванням, яке ведеться в присутності великої кількості повітря, цей процес дає можливість розкласти відходи при стаціонарному режимі, скорочуючи таким чином унесення частинок у димову трубу.

Рис. 24 Піч для спалювання твердих відходів фірми Consumat: 1 – основна камера; 2 – автоматичне видалення золи; 3 – камера контролю

за забрудненням; 4 – котел-утилізатор; 5 – димова труба котла; 6 – барабан котла; 7 – димова труба печі; 8 – автоматична подача відходів; 9 – завантажувальний пристрій; 10 – повітряна завіса; 11 – збірник золи

До газоходу може бути під'єднана система утилізації скидної теплоти газів для одержання гарячої води чи пари. Система Consumat з невеликими модифікаціями може бути використана для спалювання рідких відходів. Утилізаційна установка може мати продуктивність 3,5 тони пари на 1 тону знешкоджених відходів.

Фірма вважає, що утилізація енергії стає економічно вигідною, якщо кількість відходів перевищує 150 кг/год. Звичайно утилізують 50-60% теплоти, що використовується для спалювання відходів. При необхідності в основну камеру спалювання можуть подаватись і рідкі відходи.

20. Теплообмінники з високотемпературними теплоносіями

Високотемпературний теплоносій, звичайно органічна речовина, має температуру кипіння вище температури кипіння води (в межах від -50 до 400°C), і у зв'язку з цим немає необхідності нагрівання в теплообміннику під тиском, як це має місце при застосуванні у якості теплоносія води чи пару. Наприклад, теплоносій Thermex (торгівельна марка ICI) – суміш діфенілу і дефінілоксиду з температурою кипіння $\approx 260^{\circ}\text{C}$.

Органічні рідини, що застосовуються в теплообмінних апаратах мають обмежений інтервал робочих температур і низьку теплопровідність. Ці обставини можна виключити завдяки застосуванню у якості теплоносія солей, теплопровідність яких у 2-3 рази вище ніж теплопровідність органічних рідин і які стабільні при температурі до 550°C при дуже низькій пружності парів. Ці солі зазвичай являють собою суміш нітратів і нітритів. Для одержання більш високих робочих температур можуть застосовуватись рідкі метали. Робочі температури теплоносіїв наведені в таблиці.

№ п/п	Теплоносій	Інтервал температур, $^{\circ}\text{C}$
1	Вода і пара	$0 \div 200$
2	Мінеральні масла	$-10 \div 315$
3	Дифеніл / дифенілоксид	$20 \div 400$
4	Моноетиленгліколь	$-40 \div 100$
5	Ізомери бензинбензолу	$-50 \div 330$

6	Ізмери дебензилбензолу	-15 ÷ 350
7	Дифенілметан	200 ÷ 400
8	Теплопередаючі солі	155 ÷ 540
9	Натрій і розплави металів	200 ÷ 700

21. Методи регенерації відходів

Були розглянуті методи прямого спалювання відходів, але часто можна регенерувати відходи для повторного використання, не руйнуючи їх, шляхом рециркуляції у процес чи переробки з метою одержання іншого продукту. З відходів також може бути одержане паливо з більш високою теплотою згоряння, ніж у первинних твердих, рідких чи газоподібних відходів.

Не слід обмежуватись тільки тими відходами, які одержують на даному заводі. Виробники можуть одержувати прибуток від використання відходів, отриманих в процесах на інших заводах і навіть в інших галузях. Проте при регенерації відходів неможна не враховувати економічних факторів. Встановлення регенераторів може вимагати значних капітальних вкладень, а сам процес може бути пов'язаним з ще більшими витратами на установку обробку стічних вод, через те що цілком можливо, що значна частина відпрацьованих відходів буде скидатись у “неренегерованому” виді. Вочевидь, що вартість регенерації повинна бути достатньо низькою і необхідно приймати до уваги декілька факторів з точки зору зберігання енергії:

1. витрати на енергію при регенерації відходів порівняно з витратами, необхідними для одержання потрібного матеріалу з природних ресурсів;

2. вигоду, яку можна одержати при рециркуляції, наприклад, рециркулюємий газ може покращувати процес плавлення скла;

3. необхідність співставлення переваг для даної галузі промисловості з тими перевагами, які можуть бути одержані у майбутньому при повторному використанні, наприклад, біологічно розкладаємого матеріалу.

Регенерація нафти і нафтопродуктів для повторного використання і екстракція розчинників з відходів – найбільш поширені в промисловості.

22. Переробка відходів в паливо

Система, яка розроблена фірмою Garrett Research Development (США), направлена на утилізацію палива з процесів спалювання міських відходів. Нагріваючи органічні відходи у теплообміннику до температури 500°C у безкисневій атмосфері, одержують 100 літрів рідкого палива, 72,5 кг вугілля і певну кількість газу на кожен тону відходів. Рециркуляція газу забезпечує теплоту для процесу піролізу.

На рис. 25 показані процеси для реалізації програм з утилізації відходів, створення і застосування обладнання для обробки відходів, більшою частиною для регенерації.

Рис. 25 Схема процесів для реалізації програм з утилізації відходів

23. ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ СКИДНОЇ ТЕПЛОТИ

У попередньому матеріалі були розглянуті деякі способи утилізації скидної теплоти і розглянуто застосування їх з метою зниження експлуатаційних витрат і економії первинних видів палива.

І дійсно, після заходів з підвищення рівня експлуатаційної надійності обладнання утилізація скидної теплоти є основним способом економії енергії.

Розглянемо основні способи утилізації теплоти з повітря, газів і рідин, включаючи застосування теплових насосів (ТН), високотемпературних рекуператорів і регенераторів.

....1. Теплообмінники з тепловими трубами

Теплообмінник (т/о), що використовується для утилізації теплоти газів, представляє собою пучок ребристих трубок, зібраних у виді звичайного теплообмінника, що охолоджується повітрям.

Теплова труба (рис. 26) представляє собою герметичний контейнер з гнітом. Гніт вміщує робочу рідину, яка слугує тепло передаючим середовищем. Якщо теплота подається до одного кінця теплової труби, то рідина у гніті на цьому кінці випаровується, пара

надходить до більш холодних зон теплової труби, де відбувається конденсація і прихована теплота конденсації відводиться (рис. 26).

Рис. 26 Робота теплової труби

Робота теплової труби залежить від нахилу її до горизонтальної лінії, розміру пор гніту і поверхневого натягіння робочої рідини. Кількість теплоти, що передається визначається також прихованою теплотою робочої рідини, яка повинна бути якомога вищою.

В газовому теплообміннику, випаровувачі теплових труб перекривають канал, по якому надходить гарячий газ, а конденсатори розташовані в каналі, по якому теплота від гарячого газу передається холодному повітрю, що надходить. Для максимальної ефективності теплообміну краще, щоб повітря надходило через теплообмінник протитечією.

Звичайно теплові труби монтуються у горизонтальному положенні, а два канали співдотикаються у тому місці, де розташований теплообмінник. Є запатентована система регулювання, в якій зміна показників роботи теплової труби в залежності від нахилу до горизонту може бути використана для регулювання переносу теплоти. При нахилі всієї установки так, щоб випаровувачі були вище конденсаторів, передача теплоти може бути поступово зведена до нуля. Це надає можливість регулювати температуру газу, що нагрівається, в залежності від змін температури оточуючого чи відпрацьованого повітря.

Матеріали і робочі рідини, що використовуються для теплообмінників з тепловими трубами, залежать від меж робочих температур. Що стосується зовнішньої поверхні трубок і ребер, то вибір металу залежить від середовища у якій повинна працювати ця установка.

Робоча рідина в системах кондиціонування повітря і в інших випадках, коли робоча температура не перевищує 40°C, є фреон і ацетон.

При збільшенні температур найкращою рідиною є вода. Для дуже гарячих газів у печах можуть використовуватися високотемпературні органічні рідини.

У більшості випадків труби виконуються з міді чи алюмінію. Якщо газ вміщує кислотні домішки чи якщо вимагається більш висока температура, то застосовується неіржавіюча сталь.

Пучок труб може бути виготовлений з готових спірально намотаних оребрених труб чи може бути виконаний у виді холодильного змійовика, при цьому трубки витягнуті у виді пластин, що утворюють прямокутне “ребро”, опущене у глибокий теплообмінник. Такий варіант менший за вартістю.

Існуючі теплообмінники з тепловою трубою працюють при температурі відхідного газу до 350°C, однак є спеціальні т/о, в яких температура може перевищувати 400°C, але це вимагає використання рідкого металу в якості робочої рідини, що веде до значного підвищення вартості.

Можна стверджувати, що основними областями застосування т/о з тепловими трубами є утилізація теплоти для нагрівання повітря чи газу, який використовується в самому процесі; утилізація скидної теплоти процесу для цілей опалення чи інших потреб поза технологічного процесу.

Відмінною перевагою т/о з т/т є те, що в процесі теплообміну не відбувається перенесення забруднюючих частинок з одного потоку в інший. Термін окупності т/о з т/т: 1 – 3 роки.

В існуючих системах регулювання перенесення теплоти від гарячого потоку газу до холодного здійснюється нахилом усього теплообмінника, що у ряді випадків може бути неприйнятним.

Найбільш точного регулювання можна досягти в результаті застосування теплової труби з буферним газом, що у незначній мірі збільшить капітальні витрати. Це дало б можливість застосовувати ці агрегати в процесах, для яких температура повітря, що надходить, є суворо фіксованою, а також в системах кондиціонування повітря, для яких протягом доби вона повинна змінюватись у значних межах.

В теплової трубі з буферним газом у відділку конденсації розміщується інертний газ. З підвищенням температури у випаровувачі пружність пари у теплової трубі зростає, що веде до зменшення об'єму, який заповнює газ, і відповідно площа поверхні теплообміну збільшується. І навпаки, зменшення теплового потоку у

випаровував знижує пружність пари, зменшуючи поверхню теплообмінника, як показано на рис. 27.

Рис. 27 Теплова труба з буферним газом для регулювання температури: 1 – гніт; 2 – резервуар

В процесі отримання метану теплові труби можуть застосовуватися для підтримання температури процесу з одночасним використанням утилізованої теплоти для генерування пари, як показано на рис 28.

Рис. 28 Використання теплообмінника з тепловими трубами в процесі одержання метану: 1 – резервуар для газу; 2 – теплові труби

У цьому процесі теплота виділяється в результаті екзотермічної реакції між воднем і оксидом вуглецю в присутності нікелю у якості каталізатора. Завдяки системі з тепловою трубою усувається необхідність в складних системах регулювання.

....2. Теплообмінники з проміжним (рідким) теплоносієм

Їх ще називають іноді кільцевими змійовиками. Вони складаються з двох теплообмінних агрегатів, які зв'язані між собою системою циркуляції рідкого теплоносія. Основний принцип роботи такого теплообмінника показаний на рис.29.

Рис. 29 Принцип роботи теплообмінника з проміжним теплоносієм: 1 – фільтр; 2 – насос

При застосуванні такого теплообмінника в СКП, коли має місце невелика різниця робочих температур теплоносія, в якості теплоносія використовують розчин гліколю у воді.

Основна перевага системи Ecoterm, як її називають виробники, полягає в тому, що можна розташувати всмоктуючий і витяжний канали на віддаленій відстані. Споживання електроенергії насосом складає $\approx 1\%$ від утилізованої енергії.

Термічний ККД теплообмінника цього типу визначається як

$$\eta_T = \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1}$$

де t_1 – температура повітря, що надходить, на вході;

t_2 – температура повітря на виході;

t_3 – температура відпрацьованого повітря на вході.

η_T складає $45 \div 65\%$ і залежить також від вмісту вологи у відпрацьованому повітрі і співвідношення потоків повітря, що надходить і відпрацьованого.

В якості теплоносія можна використовувати рідини Dautherm чи Thermex (суміш дифенілу і діфенілоксиду), якщо температура теплоносія необхідна вища за ту, при якій доцільно застосовувати воду.

Період окупності цієї системи – 1,28 року

.... 3. Теплообмінники з проміжним (газовим) теплоносієм

Така система (рис. 30), коли не вимагається повітря чи газопровода великої

довжини, може виявитись економічно більш ефективною.

Рис. 31 Використання теплообмінника газ-газ при віддалених один від одного джерелах і споживачах теплоти: 1 – димохід; 2 – рекуператор; 3 – піч (процес 1); 4 – сушарка (процес 2); 5 – вентилятор; 6 – додаткові нагрівачі

.... 4. Обертові регенератори

Рис.31

Рис. 32

Обертові регенератори з'єднують дві прилягаючі труби, по одній з яких рухається відпрацьований газ, а по іншій – потік газу, який необхідно нагрівати. Гази надходять протитечією. В процесі обертання регенератора теплота абсорбується з гарячого потоку і передається холодному.

Більшість ротаційних регенераторів приводяться у рух за допомогою електродвигунів, потужність яких при самому великому діаметрі 4 м складає майже 0,5 кВт. Для досягнення оптимального переносу теплоти частота обертання складає 20 c^{-1} . Зі зниженням цієї частоти знижується термічний коефіцієнт корисної дії, і, таким чином, зміна швидкості може бути використано для регулювання

теплового навантаження. Можна також регулювати кількість повітря, що надходить, з допомогою демпферів і байпасної системи.

Максимальне значення ККД (70÷75%) обертові регенератори досягають при частоті обертання 16 с^{-1} . ККД зростає по мірі того як співвідношення мас потоків відпрацьованого і повітря, що надходить, знижується з 1,0 до 0,5.

.... 5. Пластинчаті теплообмінники

Робота теплообмінника цього типу показана на рис. 33.

Рис. 33 Принцип роботи пластинчатого теплообмінника: а) тип 1; б) тип 2; в) тип 3.

Потоки рідини розділені тонкою гофрованою металевією мембраною. В результаті турбулізації потоку досягається підвищення коефіцієнту теплопередачі.

Кожна пластина оснащена прокладкою, яка забезпечує повну ізоляцію нагріваючої охолоджуючої рідини.

Продуктивність пластинчатого теплообмінника може бути змінена шляхом зміни кількості пластин. Одна збірка може забезпечити пропускну здатність максимум $1000 \text{ м}^3/\text{год}$ рідини при робочій температурі $\approx 300^\circ\text{C}$. Пластини за звичай виконані з неіржавіючої сталі, але для спеціальних типів використовуються сталі такі матеріали, як титан, гастрелой, алюміній, тантал та інші.

За допомогою пластинчатих теплообмінників можна утилізувати 90% і більше теплоти, зберігши придатні розміри теплообмінника.

При порівнянні пластинчатих і кожухотрубних теплообмінників – бачимо різницю в матеріалах. В пластинчатих – неіржавіюча сталь та інші дорого вартісні матеріали, що визначається вимогами їх застосування.

.... 6. Економайзери

Економізатори застосовуються для утилізації теплоти ухідних газів в котлах, зараз застосовуються і в інших процесах, в яких газу можуть бути використані для нагрівання води чи одержання пари.

Рис. 34

Рис. 35

На рис. 34 і рис. 35 показані дві схеми, які покращують роботу економізатора з метою підвищення його надійності при достатній глибині утилізації теплоти газів.

Перша схема рис. 34 дозволяє виключати пароутворення на гарячому кінці економізатора і пов'язані з цим гідравлічні удари. Частина живлячої води відводиться у випаровувач, при цьому одержують близько 5% пари продуктивності котла і заощаджуються 15% конденсату.

Друга схема (рис. 35) дозволяє за рахунок рециркуляції частини живлячої води виключати конденсації газу на холодному кінці економізатору і пов'язану з цим корозію.

На рис. 36 схематично показано застосування економізатора для нагрівання води газами після регенератора газової турбіни. Впорскування води в камеру згоряння газової турбіни веде до значного скорочення подачі повітря і в результаті цього до зменшення чутливості зміни тиску, а також дозволяє регулювати початкову температуру газу перед турбіною.

Рис. 36 Застосування економайзера для газової турбіни: 1 – економайзер; 2 – регенератор; 3 – компресор; 4 – газова турбіна; 5 – генератор

.... 7. Котли-утилізатори

Використання фізичної теплоти газів для одержання пари має цілий ряд переваг порівняно, наприклад, з газовими теплообмінниками:

1. оскільки процес кипіння пов'язаний з високим коефіцієнтом теплопередачі, котел-утилізатор є одним з найбільш компактних типів агрегату з утилізації теплоти;

2. ці установки у більшості випадків вимагають менших капітальних витрат, ніж інші установки утилізації теплоти такого ж призначення;

3. котли-утилізатори можуть витримувати високотемпературні потоки відпрацьованого газу, і не існує проблем вибору матеріалів і терміну їх служби, тому що завдяки високим коефіцієнтам теплопередачі в трубках підтримується порівняно низька температура, близька до температури насичення при відповідному тиску;

4. маневреність котла-утилізатора висока, навантаження можна змінювати шляхом регулювання робочого тиску пари;

5. не вимагається точного регулювання витрати газу і води.

Проте якщо на заводі є жорсткі вимоги до якості пари, то необхідно застосовувати відповідну хімічну підготовку живильної води, що пов'язано з додатковими капітальними і експлуатаційними витратами. Крім того, сам котел-утилізатор у ряді випадків не може утилізувати достатню кількість теплоти, щоб знизити температури газу до необхідного рівня, і для утилізації може стати потрібним додаткове обладнання.

Класифікація котлів-утилізаторів:

- I. Газотурбінні.
- II. Водотрубні;
- III. Модульні.

В газотрубному котлі-утилізаторі димові гази проходять всередині труб поверхонь нагріву, а вода і пароводяна суміш – ззовні. Конструктивно тиск пари у цих котлах обмежується приблизно 70 МПа. Якщо температура утилізованого газу дуже висока, то трубна дошка на вході газу часто виходить з ладу, і це веде до скорочення міжремонтного терміну.

Що стосується переваг, то газотурбінний котел зазвичай найбільш дешевий з цих систем, і через те, що він менш піддатливий до забруднень з боку газу, то його можна використовувати при сильно забруднених скидних газах. Якщо і відбулось сильне забруднення, то легше чистити труби з внутрі, ніж чистити зовнішні поверхні на близько розташованому пучку труб. У випадку, коли тиск газу дуже високий (5 МПа), газотрубний котел має і ту перевагу, що газ знаходиться у середині труб. Проте ККД його може бути низьким, якщо охолоджуючий газ має невисоке значення коефіцієнту теплопередачі.

Водотрубний котел-утилізатор відрізняється від газотрубного котла тим, що вода знаходиться в трубах, а відпрацьований газ проходить по зовнішній поверхні труб. Область застосування водотрубних котлів значно ширше, особливо якщо вимагається пара високого тиску. ККД його значно вищий, ніж газотрубного котла, через те, що зовнішня поверхня нагріву може бути збільшена без особливих труднощів. Особливо це важливо у тих випадках, коли коефіцієнт тепловіддачі від газу до стінок труб низький або швидкість газу через високі опори невисока.

Надійність водотрубних котлів зазвичай вища, ніж газотрубних, але схильність до забруднення, а також трудність очищення є їх недоліком.

Застосування модульних котлів для утилізації теплоти пов'язане з особливостями двигунів, які охолоджуються водою (дизельні і поршневі, що працюють на природному газі). В цьому котлі теплота скидних газів і теплота від охолоджуючої сорочки двигуна використовується для одержання пари, при цьому охолоджуюча сорочка діє, по суті, як підігрівач живильної води.

При виборі котла-утилізатора необхідно звертати увагу користувача, яким буде направлятися пара, одержана в котлі і технологічне призначення котла. В останньому випадку повинні розглядатися такі можливості:

1. газ безпосередньо скидається. В цьому випадку єдиним призначенням котла-утилізатора є зведення до мінімуму теплових втрат до скиду газу в атмосферу;

2. газ потребує охолодження для подальшого використання. Разом з виробкою пари в даному випадку котел виконує корисну функцію охолодження газу;

3. газ потребує охолодження, але стабільність процесу залежить від швидкості охолодження. В цьому випадку робота котла-утилізатора є невід'ємною частиною технологічного процесу. Область застосування котлів для цієї мети є, наприклад, холодильники крекінг-газу, установки по виробництву етилену.

Основними областями використання пари котлів-утилізаторів є:

1. використання безпосередньо в технологічному процесі чм для цілей опалення. В цьому випадку одержують пару порівняно низького тиску;

2. використання для вироблення електроенергії чи електроенергії і теплоти комбінованим способом. У цьому випадку вимагається пара високого тиску і зазвичай перегрітий;

3. застосування в якості відпарюючого середовища в технологічному процесі (низький рівень утилізації).

Котли-утилізатори газових турбін

Вже підкреслювалось необхідність повністю використовувати системи утилізації теплоти для того, щоб підвищувати економічну ефективність виробки електроенергії на заводі, застосування двигунів для приводу компресорів та іншого схожого обладнання.

ККД газової турбіни складає усього 25%. Системи утилізації дозволяють використовувати 75% теплоти відхідних газів турбіни і підвищити їх ККД до 80%. Застосування котла-утилізатора за газовою турбіною для одержання пари високого тиску дозволяє утилізувати 65% скидної теплоти і досягти загальний ККД системи біля 72%.

В котлі-утилізаторі газової турбіни передбачено додаткове спалювання палива. Можна збільшити паропродуктивність котла порівняно з котлами без додаткового спалювання палива на 200%.

Рекуператори

Рекуператор являє собою теплообмінник типу газ-газ, що використовується для утилізації теплоти скидних гарячих газів.

Найбільшого поширення рекуператор отримав у якості підігрівача повітря, яке подається у котли і печі. В таких випадках він є прямим конкурентом обертових регенераторів і у меншому ступені – теплообмінників з тепловими трубами.

Переваги застосування рекуператорів:

- скорочення потреби у паливі;
- зменшення кількості надлишкового повітря;
- можливість досягнення більш високої температури факелу;
- зменшення хімічного недопалу палива;
- збільшення швидкості горіння;
- зменшення окислення технологічного продукту.

Існують два основних типи рекуператорів:

1. конвективні
2. радіаційні

Конвективні рекуператори

Ці рекуператори застосовуються, коли температура газу нижча ніж 1000°C, хоча допустимі і більш високі температури, якщо застосовані спеціальні матеріали і способи виготовлення. Першопочатково використовувались керамічні матеріали, але виникали серйозні проблеми витоків, і зараз вони у більшості випадків замінені металевими.

Як і у багатьох інших теплообмінників, в конвективних рекуператорах застосовуються чавунні і сталеві труби, змонтовані у пучках.

Рекуператори зі збірними трубами застосовуються виключно як теплообмінники конвективного типу для утилізації теплоти газів з температурою до 950°C.

Газотурбінні рекуператори, які схожі на кожухотрубчасті теплообмінники, застосовуються у випадку забруднення газів, і через те що труби легше чистити з середини, брудний відпрацьований газ проходить всередині труби.

Радіаційний рекуператор має форму двох концентрично розташованих циліндрів, при цьому повітря, яке повинне нагріватися, проходить по зовнішньому кільцевому каналу, а відпрацьовані гази проходять по центральному каналу. Він монтується таким чином, що труби розташовані між двома колекторами.

Радіаційний рекуператор – найбільш надійний і має самий довгий термін роботи.

Застосування їх на печах дає зниження витрати палива на 26%