

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для проведення практичних занять і самостійної роботи
за курсами «Системи виробництва та розподілу енергоносіїв»,
«Системи енергозабезпечення підприємств» для студентів спеціальності
144 «Теплоенергетика» усіх форм навчання

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 1 від 16.02.2023

Харків

НТУ «ХПІ»

2023

Методичні вказівки для проведення практичних занять і самостійної роботи за курсами «Системи виробництва та розподілу енергоносіїв», «Системи енергозабезпечення підприємств» для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» усіх форм навчання/ уклад.: М. О. Тарасенко, О. М. Тарасенко. – Харків: НТУ «ХПІ», 2023. – 27 с.

Укладачі: М. О. Тарасенко
 О. М. Тарасенко

Рецензент С. В. Угольніков

Кафедра теплотехніки та енергоефективних технологій

ВСТУП

Курс «Системи виробництва та розподілу енергоносіїв» (СВРЕ) складається з вивчення основних характеристик енергоємних виробництв; різних видів балансів та методів складання та визначення; методів і практичних навичок розрахунку і аналізу теплових характеристик тепломасообмінних установок; особливості схем виробництва та розподілу енергоносіїв, обладнання і функціонування різних типів обладнання промислових підприємств.

Об'єктом вивчення СВРЕ є системи теплоенергопостачання промислових підприємств (СТЕП).

Мета вивчення дисципліни – формування понять і знань про призначення і склад СТЕП, види і параметри енергоносіїв, енергетичні характеристики енергоємних виробництв, освоєння теоретичними і практичними знаннями про методи розрахунків потреб підприємств в енергоносіях і виборі оптимального теплоенергетичного обладнання систем.

В результаті вивчення дисципліни у студента з'являються навички з:

- визначення та коригування потреби промислового підприємства в енергоносіях для промислових теплотехнологій;
- вибір раціональних видів енергоносіїв, станцій для централізованого постачання технологій, складу обладнання та режимів його роботи;
- визначення витрат енергетичних, матеріальних та людських ресурсів у системах енергопостачання підприємств та вироблення шляхів зниження цих витрат.

Більшість підприємств використовують у технологічних процесах різні види енергоносіїв, але при цьому генерується (виготовляється) інші види енергетичних ресурсів.

Функціонування підприємства забезпечується роботою СТЕП завданням якої є безперебійне постачання споживачам енергоносіїв заданої якості (параметрами) відповідно до графіка споживання.

До складу систем СТЕП входять:

- 1) Будівлі, споруди та установки, що забезпечують прийом та переробку енергоносіїв (паливні склади, мазутосховища)
- 2) Станції та підстанції, що забезпечують виробництво енергоносіїв за рахунок використання, як правило електричної енергії або енергії палива. (Компресорна станція, котельня, кисневі станції, холодильні установки)
- 3) Утилізаційні установки (котел – утилізатор, СВО)
- 4) Транспортувальна система (Трубопроводи, балони – за мінімальних витрат).

Тема 1. Енергоносії та їх класифікація.

Енергоносіями називають речовини, що володіють певною енергією та властивостями, які використовуються в різних технологічних процесах.

На великих підприємствах використовуються у технологічних процесах такі енергоносії:

1) *Паливо* (Газоподібне, рідке, тверде). Паливо буває природним (кам'яне вугілля, сланці, природний газ та ін.) і штучним, тобто отримане паливо або в результаті переробки природного палива (кокс; бензин, мазут), або як попутний продукт технологічного процесу (коксівий газ, доменний газ).

Теплотворна здатність твердого палива коливається в досить широких межах, що пояснюється суттєвою відмінністю складу робочої маси палива. (Кам'яне вугілля $Q_n^p = 20 \div 26$ МДж/кг, буре вугілля $Q_n^p = 13 \div 16$ МДж/кг).

Природний газ має менші відмінності у складі, тому в середньому теплотворна здатність природного газу становить $\sim Q_n^c = 34 \div 37$ МДж/м³

Склад штучного газу істотно залежить від способу отримання. Так у коксовому газі $H_2 \sim 55$ %, $CO \sim 10$ %, $CH_4 \sim 20$ %, а його теплотворна здатність $Q_n^c = 15 \div 17$ МДж/м³. Відносно мала теплотворна здатність коксового (та інших штучних газоподібних палив) пояснюється високим вмістом баласту: CO_2 – у коксовому газі; CO_2 , N_2 – у генераторному та доменному. У генераторному газі $H_2 \sim 15$ %, $CO \sim 30$ %, а його теплотворна здатність $Q_n^c = 5 \div 6$ МДж/м³. Доменний газ містить до 70 % азоту, $H_2 \sim 5$ %, $CO \sim 25$ %, а його теплотворна здатність $Q_n^c = 3 \div 4$ МДж/м³.

Серед палив, які використовуються на промислових підприємствах, найбільшу теплотворну здатність має мазут. Теплотворна здатність мазута становить $Q_n^p = 40 \div 43$ МДж/кг..

2. *Водяна пара*. Водяна пара широко застосовується на теплових та атомних електростанціях як робоче тіло для паротурбінних установок. Крім того, вода і водяна пара є найпоширенішими теплоносіями в теплообмінних апаратах, в енергетичних та технологічних системах, а також у системах теплопостачання та опалення. Також, водяну пару застосовують у технологічних цілях, обробка обладнання (харчові підприємства), парові молоти для очищення поверхні.

Джерелом водяної пари на промислових підприємствах є районні та заводські ТЕЦ, промислові котельні та котли-утилізатори. На металургійних

підприємствах широко застосовують системи випарного охолодження, які виробляють насичену водяну пару низьких параметрів.

Найчастіше на підприємствах використовується пара з тиском $P = 6 - 8$ бар та температурою $t = 210 - 250$ °С, тобто слабо перегріта пара.

Для парових турбін використовують перегріту пару високих параметрів $P = 11 - 24$ МПа, $t = 440 - 565$ °С.

3. *Повітря.* Стиснене повітря - один з найбільш поширених енергоносіїв. Він використовується практично на будь-якому підприємстві. Широко застосовується при виробництві металів, для роботи пневмоінструменту, механічного обдування деталей, сушіння і т.д. Також використовують у повітроподільних установках для виробництва N_2 , O_2 та інертних газів. Також повітря використовується як енергоносіє у калориферах для обігріву приміщень.

4. *Гази (Кисень, аргон, азот, вуглекислий газ)*

Вуглекислий газ на підприємствах необхідний для зварювання серед вуглекислого газу, для охолодження заливок з метою збільшення міцності поверхні.

Одержання кисню з повітря полягає у поділі повітря на кисень та азот. Попутно проводиться відділення аргону, застосування якого у спеціальних способах зварювання безперервно зростає, і навіть рідкісних газів, які грають значної ролі у низці виробництв. Кисень використовується для зварювальних операцій, при різанні металу та в сталеплавильних печах ливарного цеху для прискорення процесу плавки. Використання кисню дозволяє знизити споживання значної кількості природного газу, а також зменшує споживання електроенергії.

Азот має деяке застосування у зварюванні як захисний газ, у медицині та інших областях.

Тема 2. Коксохімічне виробництво (КХП)

Коксохімічне виробництво входить до складу підприємств металургійного профілю із повним циклом виробництва. Підприємства з повним циклом виробництва називаються підприємства, які виготовляють готову продукцію у вигляді сталевого прокату відповідних профілів, а вихідною сировиною є залізна руда та паливо. Підприємства цього профілю є найбільшими споживачами енергоресурсів.

КХП призначено для виробництва коксу шляхом термічної обробки коксівного вугілля без доступу кисню. Кокс використовується у доменному

виробництві. В залежності від особливостей виробництва теплотворна здатність коксу становить $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 29 \div 33$ МДж/кг.

Питома витрата вугілля становить середньому 1,3 т. вугілля/т коксу. Питома витрата умовного палива на випалювання коксу у сучасних печах становить 0,085 – 0,1 т. у.п./т. коксу.

Технологічний процес виробництва коксу закінчується видачею його з печей з температурою 950 – 1100 °С. Щоб запобігти горінню розпеченого коксу після вивантаження з печі, а також зробити кокс придатним для транспортування та зберігання, необхідно знизити його температуру до 250 – 100 °С, при якій виключається самозаймання.

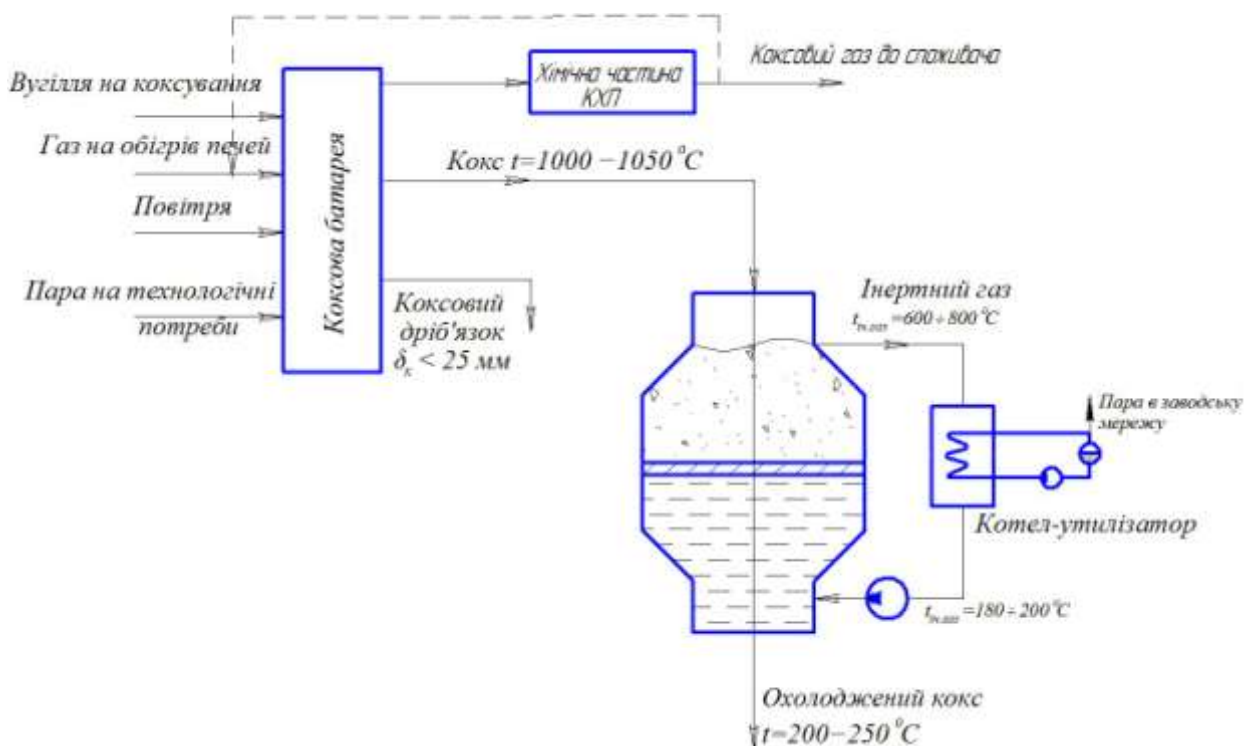


Рисунок 1 – Спрощена схема коксохімічного виробництва

Як видно зі схеми КХП (рис. 1) споживає одні, а видає інші види енергоресурсів (коковий газ, водяна пара), значна частина яких не може бути ефективно використана в межах КХП. Наприклад, на обігрів батареї може бути використано лише 40 – 45 % кокового газу, що виробляється (за умови, що обігрів здійснюється коковим газом). Тому КХП вимагає проведення економічного аналізу з метою оцінки виходу та раціонального використання енергоресурсів.

Використання всіх енергоресурсів у цьому виробництві може призвести до нераціонального використання ресурсів з огляду на цінність кокового газу для хімічного виробництва. Коксовий газ використовують при

випуску різних полімерів, азотних добрив, синтетичні миючі засоби, пестициди, лікарські препарати та багато іншого.

Спалювання коксової дрібниці у топках котлів невеликої продуктивності є малоефективним.

Коксові батареї, як показала тривала практика, можуть працювати і на доменному газі, ресурси якого на металургійних заводах великі і через низьку теплоту згоряння не придатний у чистому вигляді для багатьох споживачів. Однак на доменному газі коксові батареї виходять складніші (т.к. потрібно регенеративний підігрів палива) і дорогими. Дещо збільшується приблизно на 8 – 10 % у цьому випадку і питома витрата палива на опалення коксових батарей. При цьому можливе зниження потреби заводу в природному газі шляхом часткової заміни на коксовий. Ці переваги перебивають подорожчання та ускладнення коксових батарей під час переведення їх на доменний газ.

Приклад розв'язання задач

Коксова батарея забезпечує коксом доменну піч у кількості $G_k = 900000$ т/рік . Питома витрата на коксування $g_y = 1,25$ т. вугілля/т. коксу. Визначити витрату вугілля на коксування, а так само річну та годинну витрату коксо-доменної суміші для отримання даної кількості коксу, якщо питома витрата умовного палива $b_{y.т.} = 0,1$ т.у.т/т коксу. Теплота згоряння палива $Q_{нкд}^c = 8$ МДж/м³ . Час роботи коксової батареї $T_p = 6000$ год/рік.

Розв'язання

1. Визначити витрату вугілля на коксування, т/рік:

$$G_y = G_k \cdot g_y = 900 \cdot 10^3 \cdot 1,25 = 1125 \cdot 10^3 \text{ т/рік}$$

2. Визначити річну витрату умовного палива, т.у.п/рік

$$B_{y.п.} = b_{y.п.} \cdot G_k = 0,1 \cdot 900 \cdot 10^3 = 90 \cdot 10^3$$

3. З рівняння теплового балансу визначаємо витрату коксодом'яної суміші, м³/год:

$$B_{y.п.} \cdot Q_{ny.п.}^c = B_{кд} \cdot Q_{нкд}^c$$
$$B_{кд} = \frac{B_{y.п.} \cdot Q_{ny.п.}^c}{Q_{нкд}^c} = \frac{90 \cdot 10^6 \cdot 29,33}{8} = 330 \cdot 10^6$$

4. Визначити годинну витрату коксу-доменної суміші, м³/год:

$$V_{\text{кд}}^{\text{год}} = \frac{V_{\text{кд}}}{T} = \frac{330 \cdot 10^6}{6000} = 55 \cdot 10^3$$

Задачі для самостійної роботи

Задача 1. Визначити річні витрати вугілля на коксування для батареї продуктивністю по коксу $\Pi = 400000$ т / рік, якщо питома витрата вугілля становить $G_y = 1,25$ т. вуг / т.кокса. Визначити витрату умовного палива і коксового газу $Q_{\text{нк}}^c = 17,3$ МДж/м³ на опалення батареї, якщо питома витрата умовного палива складає $b = 0,141$ т у т / т коксу. Час роботи коксової батареї $T = 5000$ год / рік.

Задача 2. Визначити річні витрати доменного газу на опалення коксової батареї продуктивністю $\Pi = 130000$ т / рік, якщо питома витрата палива на 1 т.кокса становить $G_r = 0,142$ т.у.т / т. кокса. Теплотворна здатність доменного газу $Q_{\text{нд}}^c = 3,8$ МДж/м³. Визначити годинну витрату доменного газу, якщо час роботи коксової батареї $T = 5600$ год / рік.

Задача 3. Визначити необхідну витрату пара для коксохімічного виробництва потужністю $\Pi = 1000000$ т / рік якщо питома витрата тепла $q = 1,09$ ГДж / т.кокса. Визначити теплову потужність котельні по пару, річну та часову витрату палива (коксівий газ $Q_{\text{нк}}^c = 16,1$ МДж/м³) при $\eta_{\text{кв}} = 0,91$ якщо тиск насиченої пари $P_{\text{п}} = 0,13$ МПа, температура живильної води $t_{\text{к}} = 105$ °С . Тривалість роботи $T = 4200$ год / рік.

Тема 3. Доменне виробництво.

Доменне виробництво є основним виробництвом на металургійних підприємствах та забезпечує виплавку чавуну для виробництва сталі. Чавун виробляється шляхом відновлення оксидів заліза, що містяться в руді. Для сталеплавильного виробництва використовується рідкий чавун із температурою вище 1100 °С. Також доменні печі можуть виробляти чавун у вигляді чушок.

Доменна піч являє собою вертикально розташовану шахтну піч безперервної дії. Кокс є компонентом шихти, що забезпечує газопроникність її високого шару. При вигорянні забезпечує проходження газоподібних

продуктів реакції через шар шихтових матеріалів. Руда містить оксиди заліза, які при взаємодії з середовищем, що відновлює, у вигляді C , CO та H_2 забезпечує виробництво чавуну.

У процесі доменної плавки утворюється значна кількість доменного (колошникового) газу до $2500 \div 2800 \text{ м}^3$ на 1 т чавуну. Склад цього газу залежить від умов плавки, дуття, але в середньому має наступний склад: $28 \div 32 \% CO$; $10 \div 20 \% CO_2$; $45 \div 60 \% N_2$; $0,4 \div 0,6 \% CH_4$; $1 \div 5 \% H_2$. Теплотворна здатність газу $Q_n^p = 3 \div 4 \text{ МДж/м}^3$. Доменний газ – цінна енергетична сировина, яка використовується як паливо, у нагрівальних печах, коксових батареях, у доменних повітрянагрівачах, на ТЕЦ металургійних комбінатів.

Продуктивність доменних печей залежить в основному від їхнього корисного об'єму та коефіцієнта використання корисного об'єму (Квко).

Квко – це відношення корисного об'єму печі в кубічних метрах до добової виплавки чавуну в тоннах, чим менше Квко, тим продуктивніше працює піч, а отже, менший об'єм доменної печі припадає на виплавку 1 т чавуну на добу. Розмір Квко перебуває у діапазоні $0,48 - 0,65$. Визначається дослідним шляхом виходячи з експлуатації доменної печі.

Найчастіше застосовують доменні печі з об'ємом $V = 1033; 1719; 2000; 3000 \text{ м}^3$. Нині максимальний обсяг доменних печей складає $5000 - 5500 \text{ м}^3$.

Доменна піч споживає кокс у кількості $g = 0,4 - 0,5 \text{ т/т. чавуну}$.

Загальна витрата коксу на доменну піч $G = g \cdot \Pi$. т. коксу/добу.

В даний час спостерігається дефіцит коксівного вугілля, що підвищує ціну коксу, тому проводяться енергозберігаючі заходи спрямовані на зниження споживання коксу. Дрібно подрібнене вугілля подається безпосередньо в домену піч.

У межах доменного цеху доменний газ використовується для обігріву доменних повітропідігрівачів у кількості $22 - 27 \%$ його виходу. Так як доменний газ має порівняно низьку температуру згоряння, то при температурах підігріву дуття $1100 - 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ газ, що йде на горіння, часто збагачують добавкою природного або коксового газу.

Кількість природного газу, що вдмухується в доменні печі, коливається від 70 до 180 м^3 на 1 т чавуну і пов'язано зі ступенем збагачення дуття киснем (що більший відсоток збагачення, тим більше газу вдувають).

Нині у зв'язку із зростанням цін на енергоносія різко збільшилася енергетична складова у собівартості чавуну. Тому подача природного газу доменну піч практично відсутня, що призвело до зниження продуктивності доменної печі т.к температура гарячого дуття знизилася на $100 - 200 \text{ }^\circ\text{C}$.

Охолодження печі. Температура всередині доменної печі досягає 2000 °С, щоб його корпус не прогорів його необхідно безперервно охолоджувати для чого потрібна величезна кількість води.

Для забезпечення тривалої роботи футерування та створення такого захисту кожуха від високих температур, при якому піч могла б працювати навіть при великих місцевих пошкодженнях кладки.

Сучасна доменна піч – повністю водоохолоджуваний агрегат. Існують дві системи охолодження доменних печей: водяне та випарне.

Випарне охолодження дозволяє використовувати скриту теплоту пароутворення і має наступні переваги в порівнянні з охолодженням технічною водою: зменшуються витрати води, витрата енергії та залежність системи охолодження від перерв у постачанні енергією (при природній циркуляції охолоджувальної води), що сприймається тепло у вигляді пари, застосування хімічно очищеної води виключає відкладення у системі охолодження накипу, що збільшує термін служби охолоджувальних елементів.

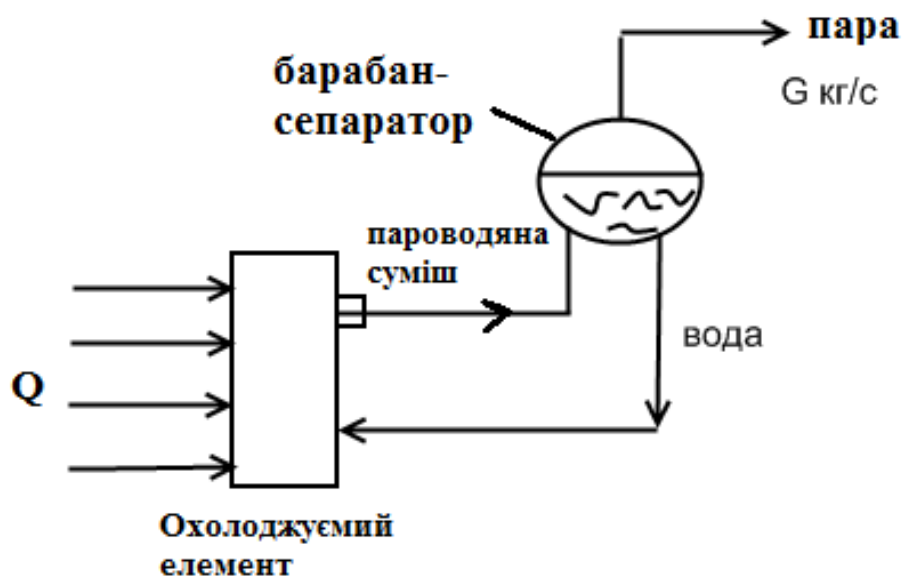


Рисунок 2 – Схема системи випарного охолодження (СВО)

Таблиця 1 – Схема потоків основних енергоносіїв в доменному виробництві

Споживання енергоресурсів	Вихід енергоресурсів
Агломерат	Доменний газ 150 – 350 °С, 0,25 – 0,35 МПа, 4,5 – 5,5 ГДж/ т. чавуну
Кокс 0,45 – 0,5 т/т. чавуну	Рідкий чавун
Природний газ 70 – 180 м ³ / т. чавуну	Рідкі шлаки
Кисень технічний 130 – 160 м ³ / т. чавуну	Пар від СВО 0,3 – 0,8 МПа, 0,2 т/т. чавуну
Стиснений (0,55 МПа), підігрітий (~ 1200 °С) та збагачений киснем (30 – 35 % O ₂) повітря 830 – 900 м ³ / т. чавуну	Димові гази доменних повітропідігрівників 250 – 300 °С
Вода	
Пар на допоміжні потреби 0,4 – 0,8 МПа, 10 – 15 т/год	

Приклад розв'язання задач

Визначити економію умовного палива при використанні пари СЮ об'ємом $V = 2000 \text{ м}^3$, Квко = 0,55, якщо вихід пари становить $d_{\text{п}} = 0,2 \text{ т.парі/т. чавуну}$, тиск пари $P_{\text{п}} = 4 \text{ бар}$. Температура живильної води $t_{\text{жв}} = 105 \text{ °С}$, ККД котла $\eta_{\text{к}} = 0,91$.

Розв'язання

1. Визначаємо продуктивність печі:

$$\Pi = \frac{V}{\text{Квко}} = \frac{2000}{0,55} = 3636 \text{ т/добу} = 1,52 \text{ т/год.}$$

2. Витрата пари:

$$D_{\text{п}} = d_{\text{п}} \cdot \Pi = 0,2 \cdot 152 = 30,3 \text{ т/год.}$$

3. За допомогою $I - S$ діаграми визначаємо ентальпію насиченої пари при $P=4 \text{ бар}$.

$$i_{\text{н}} = 2740 \text{ кДж/кг.}$$

$$i_{\text{жв}} = C_{\text{рв}} \cdot t_{\text{жв}} = 4,19 \cdot 105 = 440 \text{ кДж/кг.}$$

4. З рівняння теплового балансу котла знаходимо годинну витрату палива

$$B_{y.p} \cdot Q_{ny.p}^c \cdot \eta_k = D_{п} (i_1 - i_{жв}),$$

$$B_{y.p} = \frac{D_{п} (i_1 - i_{жв})}{Q_{ny.p}^c \cdot \eta_k} = \frac{30,3 \cdot 10^3 (2740 - 440)}{29,33 \cdot 10^3 \cdot 0,91} = 2611 \text{ кг/год} = 26 \text{ т/год.}$$

Задачі для самостійної роботи

Задача 1. Визначити економію умовного палива при використанні пари СЮ доменної печі об'ємом $V = 3200 \text{ м}^3$, коефіцієнт використання об'єму $K_{вко} = 0,6$ якщо питомий вихід пари становить $d_{п} = 0,2 \text{ т.парі/т. чавуну}$. Тиск пари $P = 0,6 \text{ МПа}$. Параметри котельні: ККД котла $\eta_k = 90 \%$, температура живильної води $t_{жв} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$.

Задача 2. Система випарного охолодження (СВО) виробляє суху насичену водяну пару з тиском $P = 0,26 \text{ МПа}$. Продуктивність по пару : $D = 2,72 \text{ т/год}$. Визначити річну витрату природного газу, необхідного для вироблення даної кількості пари в паровому котлі, якщо $\eta_{кy} = 0,91$. Паливо – природний газ із теплотою згоряння $Q_H^c = 35,8 \text{ МДж/м}^3$. Час роботи печі становить $T = 5100 \text{ год/рік}$. Визначити річну економію природного газу та економію витрат на паливо, якщо базова ціна природного газу становить – $30000 \text{ грн за } 1000\text{м}^3$.

Тема 4. Виробництво сталі.

Виробництво сталі є другим за значенням на металургійних підприємствах з повним циклом. Основною сировиною для її виробництва є чавун, що одержується в доменних печах, і металобрухт.

В даний час є кілька пріоритетних методів виробництва сталі. До них відносяться киснево-конверторний, мартенівський та електросталеплавильний способи виробництва сталі. В основі всіх цих способів лежить окисний процес, спрямований на зниження вмісту в чавуні деяких речовин.

Киснево-конверторне виробництво. В даний час цей спосіб забезпечує більше 70 % виплавки сталі в Україні. Широке впровадження цього способу

одержання стало одержано після створення потужних кисневих станцій. Процес одержання сталі пов'язаний з подачею окислювача в розплав чавуну.

Застосування повітря як окислювача не дозволяло отримати якісну сталь через шкідливий вплив азоту на структуру сталі.

При використанні в продуванні чистого кисню (99,5 %) стало можливим отримувати в конвертерах практично всі сорти стали, зокрема, і леговані.

У конвертарах під час продування сталі киснем вигоряють марганець, кремній і вуглець у результаті виділяється значна кількість теплової енергії. Витрата кисню становить 60 – 80 м³/т сталі.

Отримання сталі у конвертарах відрізняється високою продуктивністю. Тривалість плавки становить 35 – 45 хв. Процес плавки відбувається в 3 етапи: завантаження продування та зливу сталі. В результаті конвертер місткістю 200 т може забезпечити продуктивність $\Pi = 5000000$ т/рік. Місткість конвертера зазвичай становить 200 – 300 тонн.

Електропечі. Даний спосіб виробництва сталі використовують для отримання високоякісної легованої сталі та феросплавів.

Плавка в електропечах має ряд переваг перед плавкою в конвертерах та мартенівських печах. Висока температура дозволяє застосовувати сильноосновні шлаки, вводити велику кількість флюсів і досягати максимального видалення сталі сірки і фосфору. Для плавки в електропечі не потрібне повітря; окислювальна здатність печі невисока, тому кількість FeO у ванні незначна, сталь виходить досить розкислена і щільна. Завдяки високій температурі в печі можна отримати леговані сталі з тугоплавкими елементами: вольфрамові, молібденіві та ін.

Тривалість плавки від 3 – 6 год. Електрична потужність 6 – 22 МВт. Питома витрата електроенергії від 600 до 8000 кВт·год/т сталі. Гази, що відходять, електропечей мають температуру на виході з печі 900 – 1000 °С. Їхню фізичну теплоту доцільно використовувати для попереднього підігріву шихти. При цьому питома витрата е/е може бути знижена на 30 %

Таблиця 2 – Основні техніко-економічні показники методів виробництва сталі.

Показник	Спосіб виробництва сталі		
	Киснево-конверторний	Мартенівський	Електро-дуговий
Місткість плавильного агрегату, т	250 – 400	400 – 600	1 – 300
Тривалість плавки, год	0.55 – 1	6 – 14	3 – 6
Витрата технологічного палива на 1 т сталі.			
• Умовне паливо, кг		90 – 120	
• Кисень, м ³	60 – 70	40 – 50	8 – 17
• Електроенергія, кВт · год			500 – 700
Питома вага металобрухту у шихті, %	20 – 25	30 – 60	до 100

Тема 5. Прокатне виробництво.

Прокат є кінцевим продуктом на металургійних підприємствах із повним циклом виробництва. Прокатне виробництво характеризується значним споживанням енергоресурсів у вигляді електричної енергії та палива.

Прокатка – це виготовлення металевих виробів відповідної форми шляхом пластичної деформації металу на прокатному таборі за допомогою рухомих приводних валків.

Енергія, необхідна здійснення деформації, передається через валки, з'єднані з двигуном прокатного стану. Тіло, що деформується, можна простягати і через непривідні (холости) валки, але це буде не процес прокатки, а процес волочіння.

Прокатка відноситься до основних способів обробки металів тиском. Прокаткою отримують вироби (прокат) різноманітної форми та розмірів. Як і

будь-який інший спосіб обробки металів тиском прокатка служить не тільки для отримання потрібної форми виробу, але і для формування у нього певної структури та властивостей.

Спосіб поздовжньої прокатки є найпоширенішим. При поздовжній прокатці смуга підводиться до валків, що обертаються в різні боки, і втягується в проміжок між ними за рахунок сил тертя на контактній поверхні.

Великі прокатні стани мають у своєму складі велику кількість печей, призначених для нагріву заготовок, відпалу та термічної обробки. В якості палива застосовують коксодоменну суміш або природний газ.

У разі використання низькокалорійного палива ускладнюється конструкція печей за рахунок встановлення теплообмінного обладнання для підігріву повітря. При температурах підігріву повітря до 800 – 1000 °С використовують регенеративні підігрівачі. У металевих рекуператорах температура обігріву обмежена температурою 300 – 400 °С.

Для утилізації тепла відхідних газів, печі обладнуються котлами-утилізаторами кількість яких може становити більше 8.

Котли утилізатори (КУ) великих станів можуть забезпечити виробництво перегрітої пари з тиском 3,8 – 4,5 МПа у кількості до 300 т/год.

Стиснене повітря та кисень використовується на обробку виробів, різання металу. Гаряча вода та пара витрачаються у значних кількостях на опаленні та вентиляцію.

Електрична енергія використовується на привід електродвигунів прокатних станів. Потужність електродвигуна прокатного стану до 30 МВт. Питома витрата електричної енергії 130 кВт·год/т.

Таблиця 3 – Схема основних потоків енергоносіїв в прокатному виробництві

Споживання енергоресурсів	Вихід енергоресурсів
Умовне паливо для печей 0,07 – 0,15 т/т. сталі	Пар от КУ 1,8 – 4,5 МПа, 0,15 – 0,2 т/т.сталі
Теплота гарячої сталі ~ 700 °С	Теплота остигаючої продукції 700 – 750 °С
Кисень технічний	Пар від СВО ~ 0,3 ГДж/т. сталі
Стиснене повітря 0,6 – 0,8 МПа	
Вода та пар	
Електрична енергія	

Тема 6. Системи паропостачання промислових підприємств.

Системи паропостачання промислових підприємств є комплекс установок, що забезпечують виробництво, транспорт і споживання пари.

Джерела паропостачання. Залежно від параметрів пари (тиск, температура) в якості джерел паропостачання можуть виступати: ТЕЦ, ТЕС; промислові котельні, котли- утилізатори та системи випарного охолодження.

Вся складність систем паропостачання полягає у підтримці необхідної витрати пари при відповідності тиску та температурі протягом усього періоду експлуатації технологічного обладнання.

Забезпечення парою з ТЕЦ потребує узгодження графіків роботи ТЕЦ та споживачів. Найчастіше великі споживачі пари металургійні заводи, нафтопереробник, хімічні підприємства мають заводські ТЕЦ.

Вибір джерела паропостачання визначається шляхом розрахунку потреби пари, з урахуванням питомої витрати пари на продукцію, що випускає:

$$D_{\text{п}} = d_{\text{п}} \cdot \text{П},$$

де $d_{\text{п}}$ – питома витрата пари, кг/од. продукції;

П – продуктивність, од. продукції/на рік.

Витрата палива можна визначити із рівняння теплового балансу котла:

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{к}} \cdot B = D_{\text{к}} (i_{\text{пп}} - i_{\text{жв}}),$$

$$B = \frac{D_{\text{к}} (i_{\text{пп}} - i_{\text{жв}})}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{к}}}, \text{ кг/с (м}^3\text{/с)}.$$

Тепловий баланс та витрата палива котла з врахуванням продувки

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{к}} \cdot B = D_{\text{к}} (i_{\text{пп}} - i_{\text{жв}}) + D_{\text{пр}} (i_{\text{кв}} - i_{\text{жв}}),$$

$$B = \frac{D_{\text{к}} (i_{\text{пп}} - i_{\text{жв}}) + D_{\text{пр}} (i_{\text{кв}} - i_{\text{жв}})}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{к}}}, \text{ кг/с (м}^3\text{/с)}.$$

де $i_{\text{кв}}$ – ентальпія котлової води, яка визначається для умов стану насичення при тиску в барабані котла, кДж/кг.

ККД котла брутто

$$\eta_{\kappa} = 100 - \sum q = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6), \%$$

Отриманий ККД не враховує витрат електричної енергії на власні потреби котла, тому цей ККД називають ККД брутто.

У сучасних котлах рівень або значення ККД становить 85 – 93 %. Велике значення відноситься до котлів високої паропроодуктивності, що працює на газоподібному паливі і менше значення до котлів малої продуктивності при спалюванні твердого палива шаровим способом.

Котел, що працює, вимагає витрат енергії на власні потреби:

- споживання електроенергії живильним насосом;
- на подачу повітря вентилятором;
- видалення продуктів згоряння;
- підготовка палива.

Якщо врахувати витрати електричної енергії на власні потреби отримаємо ККД нетто який на 3 – 7 % нижче ККД брутто.

Транспортування водяної пари. Водяна пара транспортується зазвичай на невеликі відстані.

Парові мережі промислових підприємств складаються з трубопроводів, теплової ізоляції, запірної та регулювальної арматури, компенсаторів теплових подовжень, дренажних та повітрозпускних пристроїв. В даний час парові мережі виконуються переважно двотрубними (паропровід і конденсатопровід).

Котельні. При невеликих теплових навантаженнях коли потрібна пара з низькими параметрами споруджується промислова котельня до складу яких входить парові котли, хімічна водоочистка, обладнання для регулювання параметрів пари і повернення конденсату.

Частина пари направляється в мережевий підігрівач, де відбувається нагрівання води для системи теплопостачання.

Системи паропостачання об'єднують генеруючі установки та споживачі пари за допомогою трубопроводів.

Підігрівачі хімічної води забезпечують зниження витрати палива в котельні. Ефективність роботи промислової котельні знижується за рахунок наявності великих втрат конденсату у споживача. У ряді випадків конденсат забруднений маслом і використати його в котлах неможливо.

Приклад розв'язання задач

1. В топковій камері котла спалюється природний газ з теплотворною здатністю $Q_n^p = 36,78 \text{ МДж/м}^3$. Втрати теплоти: з відхідними газами $q_2 = 6,1 \%$; з хімічною неповнотою згорання $q_3 = 0,5 \%$; від зовнішнього охолодження котла $q_5 = 0,2 \%$.

Визначити ККД-брутто котла; витрату палива, якщо витрата теплоти на турбоустановку становить $Q_{\text{ту}} = 645 \text{ МВт}$.

Розв'язання

ККД котла брутто:

$$\eta_{\text{к}}^{\text{бп}} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) = 100 - (6,1 + 0,5 + 0,2) = 93,2\% .$$

Витрата палива котла, $\text{м}^3/\text{год}$:

$$B = 3600 \frac{Q_{\text{ту}}}{Q_n^p \cdot \eta_{\text{к}}^{\text{бп}}} = \frac{645}{36,78 \cdot 0,932} \cdot 3600 = 67738 .$$

2. Промислова котельня постачає перегріту водяну пару з тиском $P = 2 \text{ МПа}$ з температурою $t = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ споживачам на протязі $T = 180 \text{ діб}$. Визначити добові втрати водяної пари в атмосферу із паропроводу через отвір діаметром $d = 5 \text{ мм}$, який утворився в процесі експлуатації.

Знайти добову перевитрату природного газу в котельні на виробництво втраченої кількості пари. ККД котла прийняти $\eta_{\text{кв}} = 92,1 \%$, температура живильної води $t_{\text{жв}} = 105 \text{ }^\circ\text{C}$. Паливо - природний газ із теплотою згорання $Q_n^c = 34,8 \text{ МДж/м}^3$.

Розв'язання

Відношення тисків:

$$\beta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{1}{20} = 0,05 < \beta_{\text{кр}} = 0,546 ,$$

де $P_2 = 1 \text{ бар}$ – атмосферний тиск;

$\beta_{\text{кр}} = 0,546$ – для перегрітої пари.

$\beta \leq \beta_{\text{кр}}$, отже режим витікання критичний.

Критичний тиск:

$$P_{кр} = P_1 \cdot 0,546 = 10,92 \text{ бар.}$$

Критична швидкість витікання:

$$w_{кр} = 44,76 \sqrt{i_1 - i_{кр}} = 44,76 \sqrt{3025 - 2885} = 530 \text{ м/с}$$

де $i_1 = 3025 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ - ентальпія перегрітої пари;

$i_{кр} = 2885 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ - ентальпія перегрітої пари при $P_{кр}$.

Прохідний переріз пошкодження у паропроводі:

$$f = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,005^2}{4} = 1,96 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

Масова витрата перегрітої пари, що втрачається:

$$G = w_{кр} \cdot \rho \cdot f = 530 \cdot 5 \cdot 1,96 \cdot 10^{-5} = 0,052 \text{ кг/с} = 187,2 \text{ кг/год.}$$

Об'ємна витрата:

$$V = G / \rho = 187,2 / 5 = 37,44 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Годинна перевитрата палива:

$$B^r = \frac{D \cdot i_{кр}}{Q_H^c \cdot \eta_{пг}} = \frac{0,052 \cdot 2885}{34800 \cdot 0,921} = 16,85 \text{ м}^3 / \text{год} = 404,4 \text{ м}^3 / \text{добу.}$$

Річний перевитрата палива:

$$B = T \cdot B^r = 180 \cdot 404,4 = 72792 \text{ м}^3 / \text{рік.}$$

Задачі для самостійної роботи

Задача 1. Визначити втрати теплоти та палива, якщо у паропроводі є тріщина розміром 2×10 мм, через яку витікає перегріта пара. Паропровід знаходиться під тиском 0,6 МПа (6 атм). *Вихідні дані:* відношення тисків зовнішнього середовища до тиску в паропроводі, для перегрітої пари - $\beta_{кр} = 0,546$; теплота згоряння природного газу $Q_H^c = 35615 \text{ кДж/м}^3$; ККД спалення природного газу для створення пари $\eta = 0,92$; вартість 1 м^3 природного газу, $k = 39 \text{ грн./м}^3 \text{ газу}$.

Задача 2. Промислова котельня постачає перегріту водяну пару з тиском $P = 1,3 \text{ МПа}$ з температурою $t = 280 \text{ }^\circ\text{C}$ споживачам на протязі

$T=180$ діб. Визначити добові втрати водяної пари в атмосферу із паропроводу через отвір діаметром $d = 10$ мм, який утворився в процесі експлуатації. Знайти добову перевитрату природного газу в котельні на виробництво втраченої кількості пари. ККД котла $\eta_{\text{кв}}=92,1\%$, температура живильної води $t_{\text{ж.в.}}=105^\circ\text{C}$. Паливо—природний газ із теплою згоряння $Q_{\text{н}}^{\text{с}}=34,8$ МДж/м³.

Задача 3. Визначить витрату умовного палива при переведенні котла з твердого палива на суміш коксового та доменного газу. ККД котла при роботі на вугіллі $\eta_1 = 87\%$, парі роботі на коксодоменній суміші $\eta_2 = 91\%$. Тривалість роботи агрегату $T = 8000$ год/рік. Тепло згоряння вугілля та коксодоменної суміші відповідно $Q_{\text{н}}^{\text{с}} = 24000$ кДж/кг, $Q_{\text{н}}^{\text{с}} = 10500$ кДж/м³, тиск пари $P_{\text{пп}} = 15$ бар, температура живильної води $t_{\text{ж.в.}} = 105^\circ\text{C}$. Паровидатність котла $D = 25$ т/год.

Задача 4. Визначити витрату палива парового котла паропродуктивністю $D = 15$ т/год. В топковій камері котла спалюється кам'яне вугілля з теплотворною здатністю $Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 19$ МДж/кг. Параметри пари $t_{\text{пп}} = 400^\circ\text{C}$; $P_{\text{пп}} = 15$ бар; $t_{\text{ж.в.}} = 100^\circ\text{C}$. ККД котла при роботі на вугіллі $\eta_1 = 88\%$.

Визначити економію палива (у тоннах умовного палива) при переведенні котла на природний газ $Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 34$ МДж/м³. ККД котла при роботі на природньому газі $\eta_2 = 93\%$.

Тема 7. Системи повітропостачання.

Система повітропостачання призначена для централізованого забезпечення різних промислових споживачів стисненим повітрям необхідних параметрів (тиск, температура, витрата, вміст вологи) і відповідно до заданого графіка споживання.

Стиснене повітря один з найпоширеніших енергоносіїв. Він використовується практично на кожному промисловому підприємстві.

Головна перевага стисненого повітря як енергоносія – це можливість використання технологічних, малогабаритних та легких пневмоінструментів та пристроїв з високою питомою потужністю.

По транспортабельності повітря поступається лише електриці і набагато перевищує пару, т.к. має малі теплові втрати та відсутність конденсації у трубопроводах.

Але поряд з позитивними якостями та зручністю у використанні стиснене повітря як енергоносіє має й недоліки:

- а) великі втрати через різні витоки (можуть досягати 10 – 40 %);
- б) висока собівартість стиснутого повітря через велику енергоємність його виробництва.

Питома витрата енергії під час використання електроприводу становить від 80 до 140 кВт·год/(1000 м³) та 17 – 20 кг умовного палива на 1000 м³ при паротурбінному приводі.

Зі сказаного видно, що скорочення втрат енергії та зниження витрат при виробництві стиснутого повітря є важливим і актуальним завданням служби головного енергетика будь-якого підприємства.

Структура та схеми систем повітропостачання. Система повітропостачання включає: компресорну станцію; мережу стисненого повітря; розподільний пристрій (споживачі).

Компресорна станція (КС) включає до свого складу: пристрої для забору повітря та очищення його від пилу та крапельної вологи; компресори та приводні двигуни; теплообмінники для охолодження повітря та мастила; допоміжне обладнання, призначене для додаткової обробки повітря (осушка, очищення, акумуляція); контрольно-вимірювальні прилади та автоматику; запірну та запобіжну арматуру.

Компресор із приводним двигуном та всім спорядженням, необхідним для його роботи, називають компресорною установкою (КУ).

Залежно від необхідних споживачам значень витрати повітря та його тиску станції обладнуються поршневыми, гвинтовими та відцентровими компресорами. На КС можуть розміщуватись компресори як з електроприводом (машинобудівні та хімічні підприємства), так і з паротурбінним приводом (зазвичай для доменного дуття).

Розглянемо найбільш характерні схеми повітропостачання різних споживачів:

При повітропостачанні від поршневих компресорів в лінії стисненого повітря встановлюють ресивери 6. Ресивери – це циліндричні ємності, які виконують завдання акумуляторів повітря при відмінності витрат подачі та споживання і забезпечують зниження коливання повітря в тракці нагнітання. Об'єм ресивера залежить від продуктивності КМ. При значній нерівномірності споживання використання акумуляторів стисненого повітря забезпечує значну економію за рахунок відключення КМ при зниженні навантаження у споживача.

При потребах у повітрі підвищеного тиску (9) встановлюють компресор, що дотискає 10.

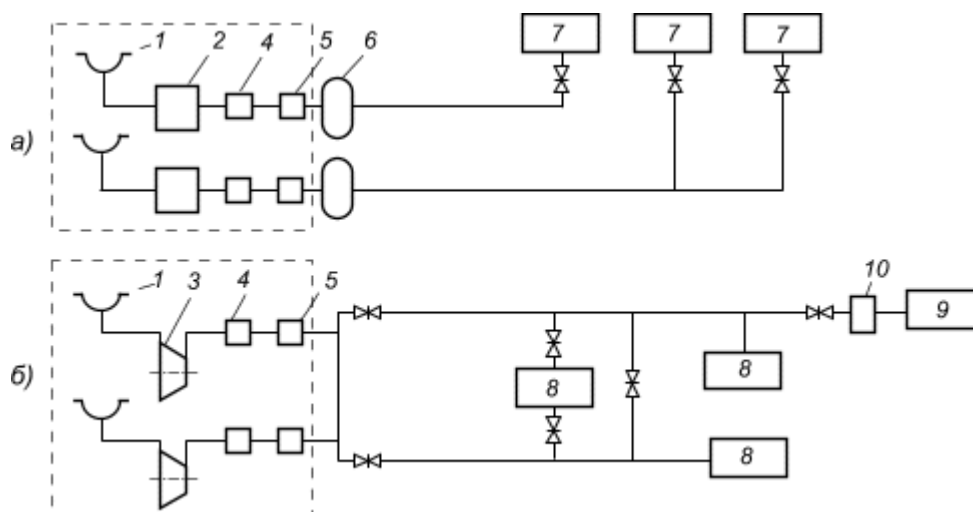


Рисунок 3 – Схеми систем повітропостачання:

а) компресорна станція з поршневыми компресорами та радіальними повітропроводами (комунікаціями); б) компресорна станція з турбокомпресорами (ТК) та кільцевими ділянками мережі: 1 – повітрозабірні пристрої; 2, 3 – компресорні установки; 4 – пристрої вологомасловідділення; 5 – пристрої осушування повітря; 6 – повітрозбірники (ресивери); 7 – споживачі стисненого повітря від поршневих компресорів; 8 – споживачі стисненого повітря від турбокомпресорів; 9 – споживач повітря високого тиску 10 – компресор, що дотискає.

Області застосування стисненого повітря та енергоємність його виробництва. Найбільшим серед галузей споживачем повітря є чорна металургія. У ній зосереджені найбільші технологічні блоки, що використовують стиснене повітря: доменні печі, конвертори, мартенівські печі, прокатні стани.

У цій галузі найбільший відсоток турбокомпресорів із загальної кількості компресорних машин, а частка поршневих машин становить близько 20 % і є тенденція до її зменшення. Частка енерговитрат виробництва стиснутого повітря тут становить 5 – 7 % від загальної витрати енергії виробництва основного продукту.

Порівняним за масштабами споживання повітря є кольорова металургія. Тут немає таких великих одиничних споживачів повітря як доменні печі, але потрібна велика різноманітність нагнітачів з різними тисками нагнітання. Частка енергоспоживання на стиск повітря в галузі коливається від 8 – 10 % до 60% у шахтних виробках та копальнях.

Великим споживачем стиснутого повітря машинобудування. Велике розмаїття дрібних споживачів, індивідуалізація режимів роботи визначають

складні графіки повітроспоживання зі значної добової і тижневої нерівномірністю. На підприємствах цієї галузі витрати електроенергії на привід компресорів досягають 20 – 25 % загального енергоспоживання.

Дуже великими споживачами стисненого повітря є гірничодобувна та вугільна промисловість. Частка енергоспоживання систем повітропостачання у цій галузі сягає приблизно 25 % загальної витрати енергії у ній.

Тема 8. Системи газопостачання.

Україна належить до держав, які задовольняють свої потреби в природному газі за рахунок імпорتنих поставок.

Основними споживачами газу є промисловість та комунальне господарство. Природний та штучні гази є джерелом теплової енергії, а також використовується на хімічних комбінатах як сировина.

Система газопостачання – складний комплекс споруд, технічних пристроїв та трубопроводів, що забезпечує подачу та розподіл газу між промисловими, комунальними та побутовими споживачами відповідно до їх попиту.

Складається з наступних основних елементів: газових мереж низького, середнього та високого тиску, газорегуляторних станцій (ГРС), газорегуляторних пунктів (ГРП) та газорегуляторних установок (ГРУ), системи контролю та автоматизованих управлінь, диспетчерської служби та системи експлуатації. Їх завданням є зниження тиску газу, що надходить з магістральних трубопроводів, очищення газу від механічних домішок, забезпечення сталості тиску.

Потоки природного газу надходять магістральними газопроводами через газорозподільні станції до міських газових мереж. На газорозподільній станції тиск газу знижується клапанами автоматичних регуляторів та підтримується постійне на необхідному для міста рівні. З ГРС газ газовими мережами надходить до споживачів.

По газопроводах низького тиску транспортують та розподіляють газ по житлових та громадських будівлях та підприємствах побутового обслуговування. У газопроводах житлових будівель дозволяється тиск до 3 кПа, а підприємств побутового обслуговування та громадських будинках — до 5 кПа. Зазвичай у мережах підтримують низький тиск до 3 кПа, і всі зазначені будівлі та підприємства приєднують до газової мережі безпосередньо без регуляторів тиску газу.

Газорегуляторний пункт (ГРП) призначений для:

1. Прийом природного газу з міської мережі та розподіл газу по заводській мережі;
2. Зниження тиску газу, що надходить із міської газової мережі;
3. Підтримка постійного тиску;
4. Вимірювання витрати газу для комерційного обліку.

Технологічна схема газорозподільного пункту наведена рис. 4.

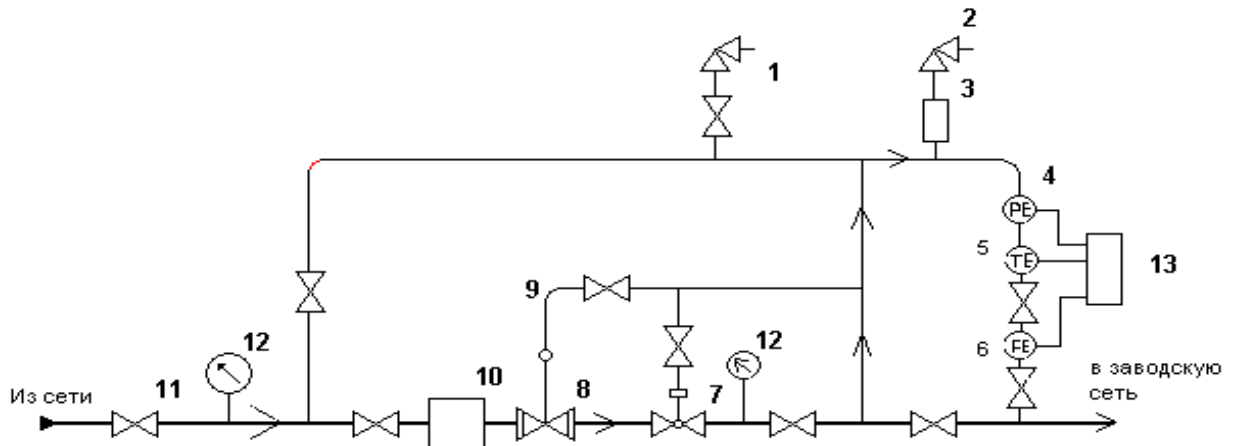
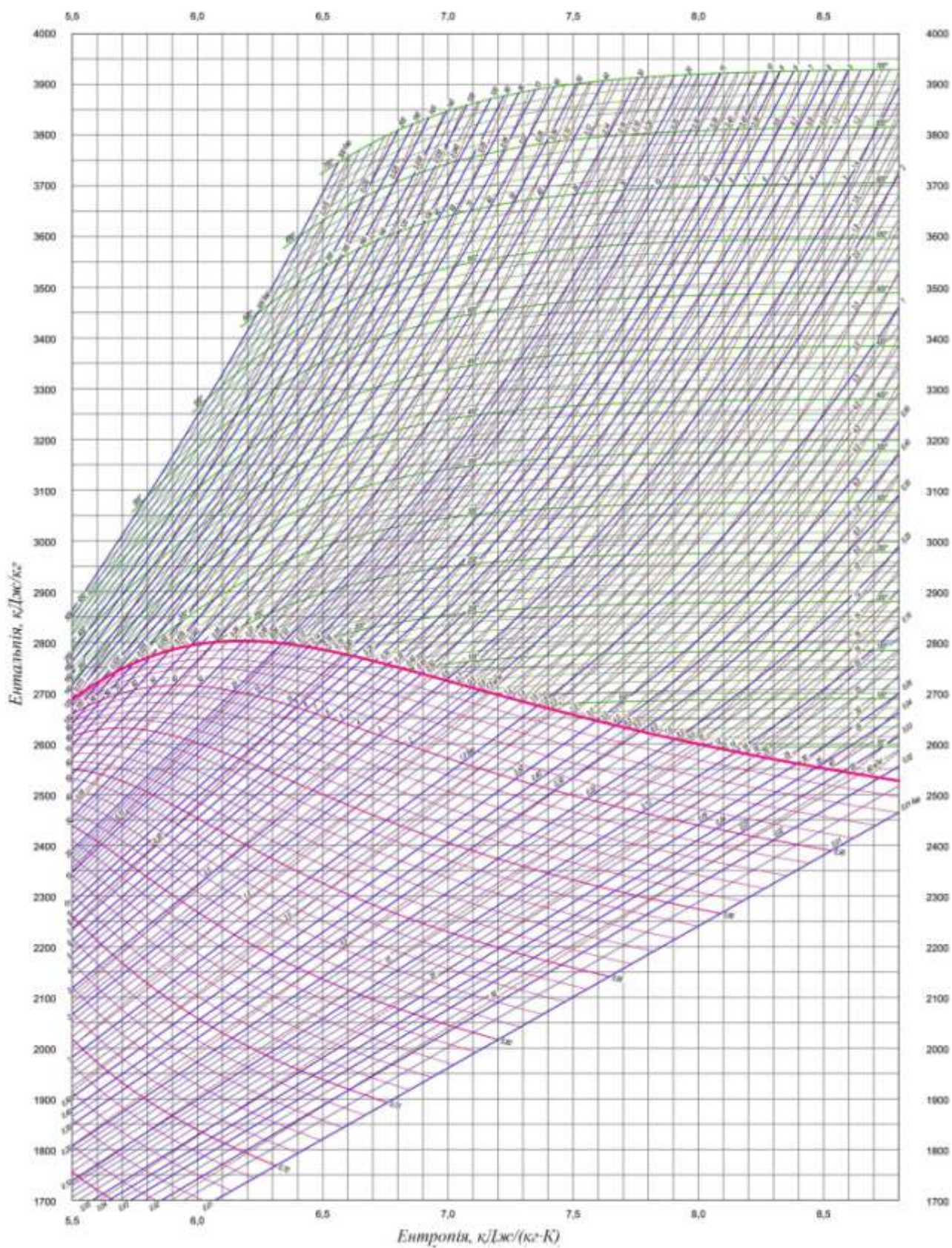


Рисунок 4 – Схема газорозподільного пункту:

- 1 – продувна свічка; 2 – скидна лінія від запобіжного клапана; 3 – запобіжний скидний клапан; 4 – лічильник; 5 – рідинний манометр; 6 – термометр; 7 – регулятор тиску; 8 – запобіжно-запірний клапан; 9 – імпульсна лінія; 10 – фільтр; 11 - засувка або кран; 12 - манометр

ДОДАТКИ

Рисунок Д. 1 – $I - S$ діаграма водяної пари



СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 року // Інформаційно-аналітичний бюлетень. Відомості Міністерства палива та енергетики України. Спеціальний випуск. – Київ, 2012. – 118 с.
2. Ткаченко О. О. Високотемпературні процеси та установки. Ч. 1. : підручник / Ткаченко О. О. – [2-ге вид.]. – Х. : "Ранок", 2008. – 336 с.
3. Ткаченко О. О. Високотемпературні процеси та установки. Ч. 2. : підручник / Ткаченко О. О. – [2-ге вид.]. – Х. : "Ранок", 2008. – 160 с.
4. Бондаренко Г. А., Кирик Г. В. Компресорні станції / Г. А. Бондаренко, Г. В. Кирик. Підручник. – Суми: СумДУ, 2016. – 385 с.
5. Степанов Д.В. Котельні установки промислових підприємств: навч. посібник/ Д. В. Степанов, Є.С. Корженко, Л.А. Боднар.– Вінниця: ВНТУ, 2011. – 120 с.
6. Літвінов О. С. Фактори енергоємності продукції промислового підприємства / Літвінов О. С. – Одеса, 2006. – 242 с.
7. Резидент, Н. В. Експлуатація промислового теплоенергетичного устаткування : навчальний посібник / Резидент Н. В., Ткаченко С. Й., Чепурний, М. М. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 101 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для проведення практичних занять і самостійної роботи
за курсами «Системи виробництва та розподілу енергоносіїв», «Системи
енергозабезпечення підприємств» для студентів спеціальності
144 «Теплоенергетика» усіх форм навчання

Укладачі: ТАРАСЕНКО Микола Олексійович

ТАРАСЕНКО Олександр Миколайович

Відповідальний за випуск

проф. Микола КУНДЕНКО

Роботу до видання рекомендував

проф. Валерій СУБОТОВИЧ

В авторській редакції

План 2023 р., поз. 118

Підп. до друку 16 . 02 . 2023. Формат 60×84 1/16. Папір офсетний.

Riso-друк. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1.4.

Наклад 50 прим. Зам. №_____. Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

61002, Харків, вул. Кирпичова, 2
