

Єтцій А.М., Гончарук А.М. – студенти гр. 184-18-1 ММФ

Науковий керівник: Оксень Ю.І., к.т.н., доцент кафедри гірничої механіки

(Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна)

ЕКСЕРГІЯ ВИХЛОПНИХ ГАЗІВ ГАЗОПОРШНЕВИХ УСТАНОВОК, ЩО СПАЛЮЮТЬ ШАХТНИЙ МЕТАН

На вугільних шахтах України починає впроваджуватися технологія утилізації шахтного метану шляхом спалювання його в газопоршневих установках (ГПУ). Такі установки (JMS 620 фірми GE Jenbacher) вже працюють на шахті ім. О.Ф. Засядько в Донецьку та в шахтоуправлінні «Покровське» в Покровську. Установки працюють за когенераційними технологіями, вироблюючи електричну енергію і вторинну теплоту (від системи охолодження двигуна та вихлопних газів). В умовах шахт, через віддаленість теплових споживачів, велика частка виробленої теплоти скидається в атмосферу. Обґрунтований вибір раціональної схеми утилізації надлишкової теплоти ГПУ може бути здійснений на основі ексергетичного аналізу ефективності перетворення теплоти на інші види енергії (наприклад, на роботу і електроенергію, чи холод для кондиціонування повітря).

Метою даного дослідження є визначення ексергії потоку вихлопних газів, тобто максимальної роботи, яку можна отримати від нього, якщо привести гази в стан рівноваги з атмосферним повітрям, в який вони скидаються.

В ГПУ спалюється метаноповітряна суміш. Компонентами продуктів згорання є сухі гази (азот N_2 , кисень O_2 , двоокис вуглецю CO_2) і водяна пара H_2O . Ці речовини знаходяться також і в атмосферному повітрі. В залежності від температури водяна пара може бути перегрітою, сухою чи вологою насиченою. При температурі нижче температури точки роси вона частково конденсується і її маса в газовій фазі зменшується. Відповідно підвищується концентрація сухих газів в парогазовій суміші.

Ексергія потоку вихлопних газів з конденсатом, віднесена до одиниці маси сухих газів, може бути розрахована за формулами

$$E = e_{sg} + d e_v + d_w e_w, \quad (1)$$

$$e_{sg} = \sum_i g_i h_i - \sum_i g_i h_{i0} - T_0 \left(\sum_i g_i s_i - \sum_i g_i s_{i0} \right) = e_{sg}^{ph} + e_{sg}^{ch}, \quad (2)$$

$$e_{sg}^{ph} = c_{p,sg} (t - t_0) - T_0 \left(c_{p,sg} \ln \frac{T}{T_0} - R_{sg} \ln \frac{p}{p_0} \right), \quad (3)$$

$$e_{sg}^{ch} = T_0 \sum_i g_i R_i \ln \frac{r_i}{r_{i0}}, \quad (4)$$

$$e_v = h_v - h_{v0} - T_0 (s_v - s_{v0}), \quad (5)$$

$$e_w = h_w - h_{w0} - T_0 (s_w - s_{w0}), \quad (6)$$

де e_{sg} , e_v та e_w – питома ексергія сухих газів, водяної пари (в газовій фазі) та крапельної води (конденсату); d – вологовміст газової фази вихлопних газів (відношення маси газової фази водяної пари до маси сухих газів); d_w – маса конденсату водяної пари, що приходить на одиницю маси сухих газів; e_{sg}^{ph} і e_{sg}^{ch} – питома фізична і хімічна ексергія сухих газів в потоці парогазової суміші (перша обумовлена термомеханічною невірноваженістю, за температурою і тиском, а друга – концентраційною невірноваженістю по відношенню до

атмосферного повітря); p і T – абсолютні тиск і температура вихлопних газів; p_0 і T_0 – абсолютні тиск і температура атмосферного повітря; g_i – масова частка компонента в суміші сухих газів; h_i , s_i – питома ентальпія і ентропія компонента при його температурі і парціальному тиску p_i в вихлопних газах; h_{i0} , s_{i0} – питома ентальпія і ентропія компонента в стані рівноваги з навколишнім середовищем (при температурі T_0 і парціальному тиску p_{i0} компонента в атмосферному повітрі); $c_{p\,sg}$ та R_{sg} – масова ізобарна теплоємність та газова стала суміші сухих газів; r_i та r_{i0} – об’ємна концентрація i -го сухого газу в вологих вихлопних газах та в атмосферному повітрі; h_v , s_v – питома ентальпія і ентропія водяної пари при її температурі і парціальному тиску p_v в вихлопних газах; h_{v0} , s_{v0} – питома ентальпія і ентропія водяної пари в при температурі T_0 і її парціальному тиску p_{v0} в атмосферному повітрі; h_w , s_w – питома ентальпія і ентропія конденсату (води).

Розрахунки ексергії вихлопних газів та її складових здійснено при наступних початкових даних. Склад вихлопних газів за молярними частками: $r_{\text{CO}_2} = 0,0493$; $r_{\text{O}_2} = 0,0887$; $r_{\text{N}_2} = 0,7044$; $r_{\text{H}_2\text{O}} = 0,1576$. Тиск вихлопних газів $p = 100$ кПа, тиск температура і відносна вологість атмосферного повітря $p_0 = 100$ кПа, $T_0 = 293$ К, $\phi_0 = 0,6$. Склад сухої частини атмосферного повітря $r_{\text{CO}_2}^{\text{atm}} = 0,0003$; $r_{\text{O}_2}^{\text{atm}} = 0,2099$; $r_{\text{N}_2}^{\text{atm}} = 0,7898$. Результати розрахунків, проведених при різних температурах, приведені на рис. 1 у вигляді графіків залежностей $E = f(t)$, $de_v = f(t)$, $e_{sg}^{ph} = f(t)$, $e_{sg}^{ch} = f(t)$ і $d_w e_w = f(t)$, показаних відповідно лініями 1, 2, 3, 4 і 5.

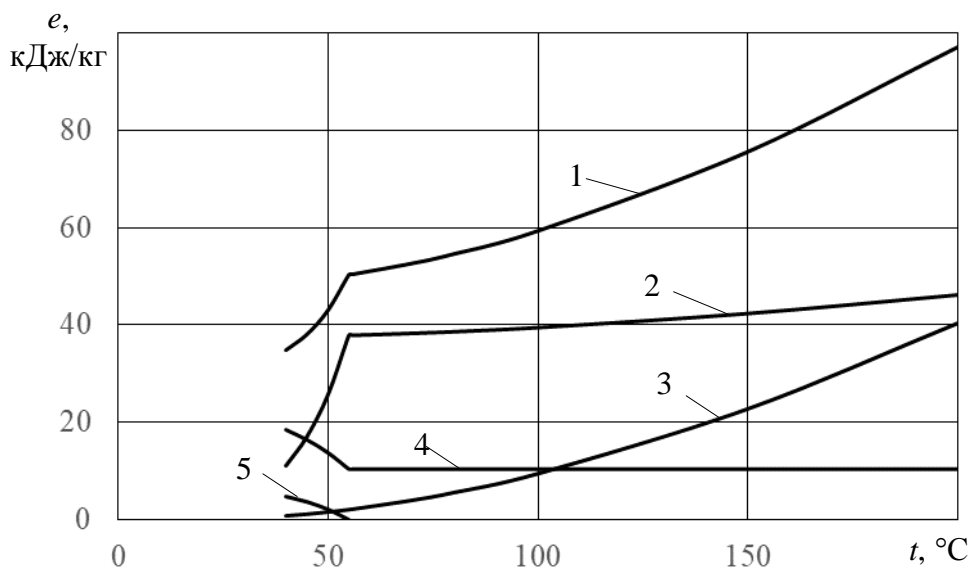


Рисунок 1 – Залежності ексергії потоку вихлопних газів і її складових від температури

З рисунку видно, що можна виділити дві зони з різною поведінкою залежностей – нижче температури точки роси $t_p = 55$ °С і вище неї. При $t > t_p$ хімічна ексергія вихлопних газів не змінюється, оскільки не змінюється їх склад. При $t < t_p$ вона зростає із зменшенням температури, адже при конденсації частини водяної пари зростає концентрація сухих газів і відповідно їх парціальний тиск.

Хімічна ексергія має суттєву частку в загальній ексергії потоку вихлопних газів лише при температурах до 100 °С. При збільшенні температури все більш визначальну роль починає відігравати термічна невірноваженість стану вихлопних газів по відношенню до атмосферного повітря, внаслідок чого ексергія потоку вихлопних газів нелінійно зростає за залежністю, близькою до логарифмічної.