ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Seria: ENERGETYKA z. 28

1968 Nr kol. 210

ANDRZEJ PIOTROWICZ Katedra Energetyki Cieplnej

BILANS ECTERGETYCZNY WYTWORNICY ACETYLENOWEJ

> <u>Streszczenie</u>. Dla wytwornicy stałej typu "karbid do wody" zestawiono bilanse substancjalny, energetyczny i egzergetyczny. Obliczono wskaźniki materiałowe i zbadano doskonałość termodynamiczną procesu.

1. Wstęp

W pracy przedstawiono zastosowanie analizy egzergetycznej do procesu typowo chemicznego. Celem pracy jest spopularyzowanie egzergetycznej metody badania doskonałości procesów w dziedzinie, w której tradycyjnie bilanse cieplne zestawia się w oparciu o efekty cieplne reakcji. Bilanse podane w pracy zestawiono na podstawie tablicowych wartości entalpii dewaluacji i egzergii normalnej zamieszczonych w [6].

Acetylen techniczny używany w przemyśle jest przeważnie produktem reakcji węglika wapnia z wodą

$$CaC_{2} + 2 H_{2}O \longrightarrow C_{2}H_{2} + Ca(OH)_{2}$$
 (1)

Ponieważ węglik wapnia występuje tu nie jako substancja jednorodna, lecz jako składnik karbidu technicznego, równolegle z reakcją (1) przebiega lasowanie drugiego składnika karbidu - tlenku wapnia

$$CaO + H_2O - Ca(OH)_2$$
. (2)

Reakcje (1) i (2) przebiegają w komorach reakcyjnych wytwprnic acetylenowych. Istnieje wiele typów wytwornic - w zależnoności od parametrów pracy, sposobu doprowadzania substratów i odprowadzania produktów oraz od konstrukcji. Zagadnienie systematyki wytwornic acetylenowych omówiono w [2].

Pomiary niezbędne do wykonania obliczeń przeprowadzono w warunkach ruchowych dla wytwornicy Sirius - Ideal III. Według [2] jest to wytwornica niskociśnieniowa, mokra, stała tzw. typu "karbid do wody". Wydajność nominalna wynosi 120 m_n^3/h . Schemat wytwornicy z oznaczeniem punktów pomiarowych pokazano na ryg.1.

Omawiana wytwornica składa się z dwu zasadniczych ogniw: komory reakcyjnej i płuczki wodnej. Substraty do komory reakcyjnej doprowadza się periodycznie (karbid techniczny) i ciągle (woda reakcyjna). Główny produkt procesu, acetylen techniczny odpływa z komory do płuczki wodnej, gdzie traci unoszone wapno pokarbidowe i część wilgoci. Produkt uboczny - wapno pokarbidowe w głównej części odpływa w postaci zawiesiny w wodzie nadmiarowej, tworząc wraz z nią tzw. mleko wapienne.

Parametry termiczne w komorze reakcyjnej są stałe. Temperaturę reguluje ilość doprowadzanej wody reakcyjnej, ciśnienie zaś - ilość podawanego karbidu uzależniona od poziomu klosza w zbiorniku kloszowym acetylenu (poza płuczką).

2. Założenia

Podstawę obliczeń stanowią dwie grupy wielkości: wyniki pomiarów i wielkości przyjęte z literatury. Zestawiono je w tablicach 1 i 2. Wielkości grupy drugiej zaczerpnięto głównie z [5] i [1] oraz z danych uzyskanych w PPH "Gazy Techniczne" i w BPPSCh "Prosynchem". Przyjęto ponadto następujące założenia upraszczające:

- substraty i produkty są roztworami doskonałymi,
- doprowadzanie substratów i odprowadzanie produktów odbywa się w sposób ciągły,
- mleko wapienne i woda płuczkowa są nasycone acetylenem, przy czym na ilość rozpuszczonego acetylenu wpływa wyłącznie tempetatura rozpuszczalnika (ciśnienie nad zwierciadłem wody w komorze reakcyjnej i w płuczce jest niskie),
- przepływ acetylenu z komory reakcyjnej poprzez płuczkę jest izobaryczny.





Tablica 1

Parametr	Punkt na rys. 1	Symbol	Wartość liczbowa	Uwagi
Ciéniania	in <u>-</u> pease	Pot	1,01	Z
bar	3	pa	1,062	Z
	4	pa	1,062	P
	-	tot	20	Z
	1	tk	20	P
Tempera-	2	tw	15	Z
tura	3	ta	60	Z
°C	4	t _a .	40	Z
	5	· t _n	60	Z
	6	tc	15	Z
	7	to	30	Z
Wilgotność %		fot	80	Z

Parametry zmierzone (Z) i przyjęte (P)

Skład chemiczny karbidu przyjęto na podstawie [5], zakładając, że domieszki umownie nie uczestniczące w reakcjach stanowią czysty SiO₂.

Przyjęto, że woda żeakcyjna pochodząca z sieci wodociągowej jest czystą H₂O.

Zużycie energii elektrycznej na 1 kmol C₂H₂ obliczono z danych statystycznych PPG "Gazy Techniczne".

Pozostałe założenia przytoczono w tekście obliczeń. Wielkości odnoszące się do poszczególnych materiałów oznaczono indeksami:

k - karbid techniczny,

- w woda reakcyjna,
- m mleko wapienne,

- a acetylen przy wylocie z komory,
- a acetylen przy wylocie z płuczki,
- p wapno pokarbidowe,
- c woda czysta przy dopływie do płuczki,
- b woda brudna (płuczkowa) przy wypływie z płuczki.

W celu obliczenia nie zmierzonych ilości substancji i udziałów substancjalnych wykorzystano równania bilansów substancjalnych komory reakcyjnej i płuczki, zależności pomiędzy udziałami oraz bilans energetyczny płuczki. Bilanse substancjalne komory reakcyjnej zestawiono dla pierwiastków aktywnych: węgla, wapnia, tlenu i wodoru oraz dla domieszek. Wykorzystanie bilansu energetycznego komory reakcyjnej nie jest możliwe, gdyż nie jest znana strata ciepła komory do otoczenia. Bilans substancjalny płuczki składa się z równań bilansu wody, acetylenu i wapna pokarbidowego. Sporządzanie bilansów pierwiastków dla płuczki nie jest celowe, gdyż przebiegają w niej tylko procesy fizyczne. Małe straty ciepła płuczki do otoczenia mogą być pominięte, dzięki czemu bilans energetyczny płuczki może służyć do obliczenia zużycia wody. Znany udział wapna pokarbidowego zawartego w wodzie płuczkowej pozwala obliczyć ilość wapna unoszonego z komory reakcyjnej przez acetylen.

3. Obliczenia udziałów substancjalnych

Dla mleka wapiennego wykorzystano warunki

$$S_{H_20 m} + S_{C_2H_2 m} + S_{p m} = 1$$
 (3)

$$g_{p m} = g_{Ca(OH)_{2}} m + g_{dom m}$$
 (4)

gdzie:

5 m - zmierzony udział wapna pokarbidowego.

195

1.1.8

Przyjęto wg [5], że w temperaturze $t_m = 60^{\circ}C$ w mleku wapiennym rozpuszcza się acetylen w ilości:

- wodzie: 37 . $10^{-5} m_n^3 C_2 H_2 / kg H_2 0$
- w wapnie: 148 . $10^{-5} \text{ m}_{n}^{3} \text{ C}_{2}\text{H}_{2}/\text{kg}$ wapna .

Pozwala to obliczyć udziały acetylenu rozpuszczonego w wodzie

$$\mathbf{S_{C_2H_2}^{H_2}} = 0,00037 \frac{M_{C_2H_2}}{\Phi_n} \mathbf{S_{H_20}} = 0,00043 \mathbf{S_{H_20}} = (5)$$

i w wapnie pokarbidowym

$$g_{C_2H_2}^{m} = 0,00148 \frac{g_2H_2}{\Phi_n} g_{pm} = 0,00172 g_{pm}.$$
 (6)

Podstawiając sumę wyrazów (5) i (6) do równania (3) otrzymujemy

$$g_{H_20 m} = 1 - 1,00172 g_{p m} - 0,00043 g_{H_20 m}$$
 (7)

a stąd

$$g_{H_20 m} = 0,8494, \qquad g_{C_2H_2 m} = 0,0006.$$

Udziały wodorotlenku wapnia i domieszek wyznacza się z równania (4) wykorzystując dodatkowo fakt, że stosunek udziałów wodorotlenku wapnia i donieszek jest taki sam w mleku wapiennym jak w wapnie pokarbidowym

$$\frac{g_{Ca(OH)_2 m}}{g_{dom m}} = \frac{1 - g_{dom p}}{g_{dom p}} .$$
(8)

Udział g_{dom p} domieszek w wapnie pokarbidowym wynika z równań bilansu substancjalnego.

Bilans eggergetyczny wytwornicy acetylenowej

Dla <u>acetylenu</u> obliczono liczbę kilomoli v substancji przypadających na 1 kmol C₂H₂

a) Przy wylocie z komory reakcyjnej

Ilość unoszonej wilgoci obliczono podług [5]

$$v_{\rm H_20} = 0.8 \ {\bf X_a^n} = 0.8 \ {p_{a} - p_{aa}},$$
 (9)

gdzie:

- p_a ciśnienie bezwzględne acetylenu przy wylocie z komory reakcyjnej,
- p_{sa} ciśnienie nasycenia pary wodnej w temperaturze acetylenu $t_s = 60^{\circ}C_{\circ}$

Liczbę kilomoli wodorotlenku wapnia i domieszek obliczono z zależności

$$^{\mathrm{V}}\mathrm{Ca(OH)}_{2^{\mathrm{a}}} = \frac{1 - \mathbf{g}_{\mathrm{dom } \mathbf{p}}}{\mathbf{M}_{\mathrm{Ca(CH)}_{2}}} \Delta \mathbf{m}_{\mathrm{p}}$$
(10)

$$v_{\text{dom a}} = \frac{B_{\text{dom } p}}{M_{\text{SiO}_2}} \Delta m_p, \qquad (11)$$

gdzi3:

<u>Amp</u> - liczba kilogramów warna pokarbidowego unoszonego z komory reakcyjnej przez acetylen, wynikająca z równań bilansu substancjalnego.

b) Przy wylocie z płuczki

$$v_{\rm H_20 a'} = X''_{a} = \frac{p_{\rm sa'}}{p_{\rm a} - p_{\rm sa'}},$$
 (12)

gdzie:

 $p_{sa'}$ - ciśnienie nasycenia pary wodnej w temperaturze acetylenu $t'_a = 40^{\circ}C_{\circ}$.

Dla wody płuczkowej brudnej wykorzystano warunki analogiczne jak dla mleka wapiennego

$$g_{H_20b} + g_{C_2H_2b} + g_{pb} = 1$$
 (13)

$$g_{\rm pb} = g_{\rm Ca(OH)_{2}b} + g_{\rm dom b}, \qquad (14)$$

gdzie:

Sp b - zmierzony udział wapnia pokarbidowego.

Przyjęto, że udział acetylenu wchłoniętego przez wapno pokarbidowe jest znikomy, gdyż $g_{p,b}$ jest małe. Stąd udział acetylenu w wodzie płuczkowej w temperaturze t = $30^{\circ}C$ [5]:

$$\mathbf{g}_{C_2H_2} = 0,00084 \frac{\mathbf{m}_{C_2H_2}}{\Phi_n} \mathbf{g}_{H_20} = 0,00098 \mathbf{g}_{H_20}$$
 (15)

Z równań (13) i (15) otrzymuje się

$$g_{\rm H_20\ b} \cong 0,994, g_{\rm C_2H_2\ b} \cong 0,001$$

Udziały wodorotlenku wapnia i domieszek wyznacza się z równania (14), z zależności analogicznej do (8)

$$\frac{g_{Ca(OH)_2 b}}{g_{dom b}} = \frac{1 - g_{dom p}}{g_{dom p}}$$
(16)

oraz z równań bilansowych (punkt 4).

4. Bilans substancjalny komory reakcyjnej

W bilansie substancjalnym komory reakcyjnej ilość substancji odniesiono do 1 kilomola acetylenu płynącego do płuczki wodnej. Wykorzystano następujące równania:

Bilanse pierwiastków aktywnych

- bilans wegla

$$\frac{g_{CaC_2 k}}{M_{CaC_2}} m_k = 1 + \frac{g_{C_2 H_2 m}}{M_{C_2 H_2}} m_m$$
(17)

- bilans wapnia

$$\left(\frac{\overset{g}{\text{CaC}_{2}} k}{\overset{k}{\text{T}_{caC}_{2}}} + \frac{\overset{g}{\text{CaO}} k}{\overset{m}{\text{T}_{caO}}}\right) m_{k} = \frac{1 - 6_{\text{dom } p}}{\overset{M}{\text{Ca(OH)}_{2}}} \Delta m_{p} + \frac{\overset{g}{\text{Ca(CH)}_{2}} m}{\overset{M}{\text{Ca(OH)}_{2}}} m_{m} (18)$$

- bilans tlenu

$$\frac{1}{2}\left(\frac{\mathbf{s}_{Ca0}}{\mathbf{M}_{Ca0}}\mathbf{m}_{\mathbf{k}} + \frac{\mathbf{m}_{\mathbf{w}}}{\mathbf{M}_{H_20}}\right) = \frac{1}{2} \nabla_{\mathbf{H}_20} \mathbf{a} + \frac{1 - \mathbf{s}_{dom} \mathbf{p}}{\mathbf{M}_{Ca(OH)_2}} \Delta_{\mathbf{m}_p} + \frac{\mathbf{m}_{\mathbf{w}}}{\mathbf{M}_{Ca(OH)_2}} + \frac{\mathbf{m$$

+
$$(\frac{1}{2} - \frac{g_{H_2Om}}{M_{H_2O}} + \frac{g_{Ca(OH)_2m}}{M_{Ca(OH)_2}}) m_{m}$$
 (19)

- bilans wodoru

$$\frac{M_{W}}{M_{H_{2}}(1)} = 1 + v_{H_{2}} \circ a + \frac{1 - g_{dom p}}{M_{Ca} \circ H_{2}} \Delta m_{p} +$$

$$+\left(\frac{{}^{6}H_{2}^{0} m}{{}^{M}H_{2}^{0}} + \frac{{}^{6}C_{2}^{H_{2}} m}{{}^{M}C_{2}^{H_{2}}} + \frac{{}^{6}Ca(OH)_{2} m}{{}^{M}Ca(OH)_{2}}\right) m_{m}$$
(20)

W grupie równań (17) ÷ (20) tylko trzy równania są od siebie wzajemnie niezależne, gdyż jedynym substratem wnoszącym wodór do reakcji jest woda reakcyjna. Bilans domieszek

$$\mathbf{g}_{\text{dom }k} \mathbf{m}_{k} = \mathbf{g}_{\text{dom }m} \mathbf{m}_{m} + \mathbf{g}_{\text{dom }p} \Delta \mathbf{m}_{p} \cdot$$
(21)

5. Bilans substancjalny i energetyczny płuczki

Ponadto wykorzystano równania bilansu substancjalnego i onergetycznego płuczki, w których ilości substancji odniesiono do 1 kilomola acetylenu płynącego do zbiornika kloszowego.

Bilans substancjalny płuczki

- bilans wody

$$(1 + \Delta n) v_{H_20} a - v_{H_20} a' = \frac{g_{H_20} b}{M_{H_20}} - \frac{m_c}{M_{H_20}}$$
 (22)

- bilans acetylenu

$$\Delta n = \frac{E_{C_2H_2}}{M_{C_2H_2}} m_b$$
 (23)

- bilans wapna pokarbidowego

$$(1 + \Delta n) \Delta m_p = (g_{Ca(OH)_2 b} + g_{dom b}) m_b.$$
 (24)

Bilans energetyczny płuczki (układ wyodrębniony na rys. 1. osłoną bilansową II)

$$(1 + \Delta n) \left\{ \Delta(Mi)_{C_2H_2} \Big|_{t_{ct}}^{t_a} + v_{H_2O_a} \Delta(Mi)_{H_2O} \Big|_{t_{ot}}^{t_a} \right\}$$

+
$$\Delta m_p \left[(1-g_{dom p}) \Delta i_{Ca(OH)_2} \Big|_{t_{ot}}^{t_a} + g_{dom p} \Delta i_{SiO_2} \Big|_{t_{ot}}^{t_a} \right] +$$

+
$$\mathbf{m}_{c}(\Delta \mathbf{i}_{H_{2}0} \Big|_{\mathbf{t}_{ot}}^{\mathbf{t}_{c}} - \mathbf{r}) = \Delta(\mathbf{M}\mathbf{i})_{C_{2}H_{2}} \Big|_{\mathbf{t}_{ot}}^{\mathbf{t}_{a'}} + \nabla_{H_{2}0} a^{\Delta(\mathbf{M}\mathbf{i})}_{H_{2}0} \Big|_{\mathbf{t}_{ot}}^{\mathbf{t}_{a'}}$$

+
$$m_b \left[g_{Ca(OH)_2 b^{\Delta i}Ca(OH)_2} \right]_{t_{ot}}^{t_b}$$
 + $g_{dom b} \Delta i_{SiO_2} \left|_{t_{ot}}^{t_b}\right]$

+
$$\mathbf{g}_{C_2H_2} \mathbf{b} \Delta \mathbf{i}_{C_2H_2} \Big|_{\mathbf{t}_{ot}}^{\mathbf{t}_{b}} + \mathbf{g}_{H_2O} \mathbf{b} (\Delta \mathbf{i}_{H_2O} \Big|_{\mathbf{t}_{ot}}^{\mathbf{t}_{b}} - \mathbf{r}),$$
 (25)

gdzie:

- ∆n liczba kilomoli C₂H₂ rozpuszczonego w wodzie płuczkowej przypadająca na 1 kmol C₂H₂ odpływającego z płuczki do zbiornika kloszowego,
 - m liczba kilogramów substancji oznaczonej indeksem przypadająca na 1 kmol C₂H₂,
 - M · równoważnik masy drobinowej składnika,
 - r entalpia parowania wody w temperaturze tot.

Entalpię fizyczną składników wyznaczono dla C_2H_2 z tablic [4], dla $Ca(OH)_2$ i SiO₂ wg [3].

W równaniu (25) nie uwzględniono entalpii chenicznej acetylenu i wapna pokarbidowego, gdyż w płuczce zachodzą procesy czysto fizyczne. Entalpię chemiczną uwzględniono na wykresie Sankeya. Z układu ośmiu niezależnych równań bilansowych oraz równań (4), (8), (14), (16) obliczono dwanaście niewiadomych:

^g Ca(OH) ₂ m	"k	¢™⊅
g _{dom m}	m.	Δn
Eca ^(OH) 2 b.	™ w	
^g dom b	^m c	
gdom p	m _b	

Wartości g,vi m zestawiono w tablicach 2, 3 1 4.

Tablica 2

Udziały gramowe składników substancji: Z - zmierzone, P - przyjęte, O - obliczone

Substancia	Składnik	Udziały	Trant	
Substantoja		Symbol	Wartość liczbowa	Uwagi
	CaC2	gcac2k	0,725	P
karbid techniczny	CaO	^g CaO k	0,173	P
	dom.	^g dom k	0,102	P
	H ₂ 0 (1)	^g H ₂ 0 m	0,8494	0
mleko wapienne	Ca(OH) ₂	gCa(OH)2	m 0,137	$0 g_{pm} = 0,150$
	dom.	^g dom m	0,013	0
	C2H2	^g c ₂ H ₂ ™	0,0006	0
	H ₂ 0 (1)	^g H ₂ 0 ъ	0,994	0
woda płuczkowa	Ca(OH) ₂	Eca(OH)2	ъ 0,0046	0 g _{pb=2} 0,005
brudna	dom.	gdom b	0,0004	0
	C2H2	BC2H2 D	0,001	0

Tablica 3

Liczba kilomoli składnika przypadająca na 1 kmol C_2H_2

Składnik	Symbol	Wartość liczbowa	Uwagi
H ₂ 0 (g)	VH20 a	0,1846	przy wylocie z ko-
Ca(OH)2	^V Ca(OH) ₂ a	0,0059	mory rearchinel
dom.	[∨] doma	0,0006	
H ₂ 0 (g)	VH20 a	0,0746	przy wylocie z płucz- ki

Wskaźniki materiałowe Tablica				
Lp.	Wskaźnik	Wartość liczbowa		
1	<u>™</u> k	89,90		
2	m	637,11		
3	^m w min	41,64		
4	m' min	44,97		
5	o ^m در	0,482		
6	^m w k	7,09		
7	m p	6,07		
8	λ	15,30		
9	mc	94,24		
10	ш _р	96,80		
11	۵n	3,56.10 ⁻³		

U	Wa	ga	:
---	----	----	---

Pozycje	1-5 w	kg/kmol	C2H2	odpływającego	z	komory,
97	6,7	11	=	odpływającego	Z	komory lub
				płuczki		
97	9, 10	11	77	odpływającego	Z	płuczki,
pozycja	11		**	**		88

Obliczono ponadto

- minimalną ilość wody reakcyjnej potrzebną do produkcji acetylenu suchego przy całkowitym zlasowaniu tlenku wapnia

$$\mathbf{H}_{w \min} = \mathbf{H}_{w} - \mathbf{g}_{H_{2}} \circ \mathbf{m}^{m} - \mathbf{M}_{H_{2}} \circ \mathbf{h}_{2} \circ$$

- minimalną ilość wody reakcyjnej potrzebną do produkcji acetylenu wilgotnego przy całkowitym zlasowaniu tlenku wapnia

$$\mathbf{n}'_{\mathbf{w}} \min = \mathbf{m}_{\mathbf{w}} - \mathbf{g}_{\mathrm{H}_{2}\mathrm{O} \ \mathbf{m}} \mathbf{m}_{\mathrm{m}}$$
(27)

- zużycie wody reakcyjnej na 1 kg karbidu

$$\mathbf{m}_{\mathbf{w}\ \mathbf{k}} = \frac{\mathbf{m}_{\mathbf{w}}}{\mathbf{m}_{\mathbf{k}}} \tag{28}$$

- zużycie wody reakcyjnej na 1 kg wapna pokarbidowego

$$\mathbf{m}_{\mathbf{w}} \mathbf{p} = \frac{\mathbf{m}_{\mathbf{w}}}{\mathbf{m}_{\mathbf{p}}}$$
(29)

oraz stosunek nadmiaru wody reakcyjnej

$$\lambda_{w} = \frac{m_{w}}{m_{w}} . \tag{30}$$

Wielkości te zebrano w tablicy 4.

Wskaźniki materiałowe m z wyjątkiem m_{wk}, m_{wp}, m_c i m_b odniesione są do 1 kmol C_2H_2 opuszczającego komorę reakcyjną i płynącego do płuczki. Dla otrzymania wartości odniesionych do 1 kmol C_2H_2 odpływającego z płuczki do zbiornika, należy obliczone wartości m pomnożyć przez (1 + Δn)

6. Bilans energetyczny komory reakcyjnej

Jako temperaturę odniesienia przy zestawieniu bilansu energetycznego przyjęto temperaturę otoczenia $t_{ot} = 20^{\circ}C$. Wszystkie pozycje bilansu obliczono w odniesieniu do 1 kmnl C_2H_2 odpływającego z płuczki do zbiornika. Bilansowany układ wyodrębniono na rys. 1 osłobą bilansową I.

Równanie bilansu energetycznego komory reakcyjnej ma postać

$$I_{k} + I_{w} + E_{el} = I_{a} + I_{m} + Q_{ot} , \qquad (31)$$

gdzie:

I - entalpia substancji oznaczonej indeksem, E_{el} - zużycie energii elektrycznej, Q_{ot} - ciepło tracone do otoczenia.

Entalpię I obliczano jako sumę entalpii fizycznej I_f i chemicznej I_{ch}

$$I = I_f + I_{ch} . \tag{32}$$

Dla karbidu, wody reakcyjnej i mleka wapiennego zastosowano równania

$$\mathbf{I}_{f} = (1 + \Delta \mathbf{n}) \mathbf{m} \sum_{i} \frac{\mathbf{g}_{i}}{\mathbf{M}_{i}} \Delta(\mathbf{M}_{i})_{i} \Big|_{t_{ot}}^{t}$$
(33)

$$\mathbf{f}_{ch} = (1 + \Delta n) \mathbf{m} \sum_{i}^{\prime} \frac{\mathbf{g}_{i}}{\mathbf{M}_{i}} (\mathbf{M} \mathbf{d}_{n})_{i}, \qquad (34)$$

gdzie: m

 liczba kilogramów substancji przypadająca na 1 kmol C₂H₂ odpływającego z komory reakcyjnej do płuczki,

(Md_n)_i - właściwa entalpia dewaluacji jednorodnego składnika.

Dla acetylenu składniki wzoru (3~) mają postać:

$$I_{f} = (1 + \Delta n) \sum_{i} v_{i} \Delta (Mi)_{i} \Big|_{t_{ot}}^{t}$$
(35)

$$I_{ch} = (1 + \Delta n) \sum_{i} v_{i} (Md_{n})_{i},$$
 (36)

gdzie:

V₁ - liczba kilomoli substancji jednorodnej przypadająca na 1 kmol C₂H₂ odpływającego z komory reakcyjnej do płuczki.

Wartości entalpii fizycznej wyznaczono dla C_2H_2 i $H_2O(g)$ z tablic [4], dla Ca(OH)₂ i domieszek (umownie SiO₂) wg [3], a wartości entalpii dewaluacji z tablic [6].

Frzy obliczaniu wartości I_{ch} pomija się entalpię dewaluacji domieszek, która w rozpatrywanym przypadku jest równa zeru ($d_n SiO_n = 0$).

Entalpię chemiczną wody reakcyjnej cblicza się uwzględniając tylko tę część wody, która jest niezbędna do produkcji acetylenu wilgotnego i do całkowitego zlasowania tlenku wapnia. Entalpia dewaluacji wody ciekłej co do bezwzględnej wartości równa jest entalpii parowania w temperaturze otoczenia

$$(Ma_n)_{H_2O(1)} \cong (Ma_{ot})_{H_2O(1)} = - (Mr)_{ot}.$$
 (37)

Konsekwentnie przy cbliczaniu entalpii chemicznej mleka wapiennego nie uwzględnia się wody nadmiazowej.

Zużycie energii elektrycznej zgolnie z danymi statystycznymi wynosi

$$E_{a1} \cong 400 \text{ kJ/kmol } C_2^{H_2}$$
.

Ilość ciepła traconego do otoczenia wyznacza się z równania (31) jako pozycję zamykającą bilans komory

$$Q_{ot} = 16 970 \text{ kJ/kmol } C_2 H_2$$
.

Jest to wartość zgodna z obliczoną orientacyjnie wg zasad przepżywu ciepła.

Bilans energetyczny wytwornicy (komory i płuczki) pokazano graficznie na wykresie pasnowym Sankeya (rys. 2a). Na wykresie tym uwzględniono entalpię chemiczną acetylenu przy wylocie z płuczki, entalpię chemiczną wapna pokarbidowego unoszonego z wodą płuczkową oraz entalpię chemiczną tej części wody płuczkowej, która pochodzi z wykroplenia części wilgoci acetylenu

$$g_{H_20b}^{\prime} = g_{H_20b} - \frac{m_c}{m_b}$$
 (38)

W tablicy 5 zestawiono bilans energetyczny w wartościach bezwzględnych i względnych.

Tablica 5

Lp.		Wyszczególnienie	Bilans energetyczny		
			kJ/kmol C2H2	%	
	1	2	3	4	
	1	Karbid techniczny			
P		- część fizyczna	0	0,00	
ch		- część chemiczna	1 618 410	99,98 100,00%	
22	2	Energia elektryczna	400	0,02	
14	3	Woda reakcyjna			
		- część fizyczna	- 13 380	-0,83	
		- część chemiczna	- 110 720	-6,84	
	4	Woda do płuczki			
		- część fizyczna	- 1 970	-0,12	
		- cz ęś ć chemiczna	0	0,00	
		Suma	1 492 740	92,21	

Zestawienie bilansu energetycznego wytwornicy acetylenowej

Andrzej Piotrowicz

				cu. tabi. 9	
1		2	3	4	
	5	Acetylen techniczny			
		– część fizyczna	970	0,06	
		- część chemiczna	1 256 460	77,62	
•	6	Mleko wapienne		1.1	
		- część fizyczna	104 470	6,45	
6d		- cześć chemiczna	109 820	6,78	
zch	7	Woda płuczkowa			
Ro		- część fizyczna	4 020	0,25	
		- część chemiczna	30	0,00	
	8	Strata do otoczenia	16 970	1,05	
		Suma	1 492 740	92,21	

Przy obliczaniu wartości względnych poszczególne wielkości odniesiono do sumy zużycia energii elektrycznej i entalpii chemicznej karbidu. Jeżeli za efekt użyteczny będziemy uważali entalpię chemiczną (wartość opałową) acetylenu, to sprawność termiczna procesu wynosi

$$\eta_t = \frac{I_{ch a'}}{I_{ch k} + E_{el}} = 77,62\%$$

7. Bilans egzergetyczny

Bilans egzergetyczny opracowano analogicznie jak energetycznyoddzielnie dla komory reakcyjnej i oddzielnie dla płuczki. Przyjęto parametry otoczenia

$$t_{ot} = 20^{\circ}C$$
, $p_{ot} = 1,01$ bar, $\varphi_{ot} = 80\%$.

Wszystkie pozycje bilansu odniesiono do 1 kmol C₂H₂ odpływającego z płuczki do zbiornika.

7.1. Bilans egzergetyczny komory reakcyjnej

Bilansowany układ wyodrębniono na rys. 1 osłoną bilansową I. Równanie bilansu egzergetycznego komory reakcyjnej zapisano w postaci

$$B_{t} + B_{w} + E_{el} = B_{e} + B_{m} + \delta B_{ot} + \delta B_{1}$$
, (39)

gdzie:

- B egzergia substancji oznaczonej indeksem,
- OB_{ot} strata egzergii na skutek odpływu ciepła do otocze-nia,
- δB₁ wewnętrzna strata egzergii spowodowana nieodwracalnością procesów przebiegających w komorze reakcyjnej.

Wartość egzergii B obliczano jako sumę egzergii fizycznej B_f i chemicznej B_{ch}

$$B = B_f + B_{ch} \tag{40}$$

przy czym B_f i B_{ch} obliczono wg [6] dla tych ilości substancji, dla których w punkcie 6 obliczono odpowiednie wartości entalpii.

Wartości właściwych przyrostów entropii wyznaczono dla C_2H_2 i $H_2O(g)$ z tablic [4], dla Ca(OH)₂ i domieszek wg [3], a wartości egzergii normalnej z tablic [6].

Przy obliczaniu egzergii chemicznej pominięto egzergię domieszek.

Stratę egzergii spowodowaną odpływem ciepła do otoczenia obliczono ze wzoru

$$\delta B_{ot} = Q_{ot} \frac{T_a - T_{ot}}{T_a} , \qquad (41)$$

gdzie:

T_a - temperatura przestrzeni tracącej ciepło (wnętrza komory) w ^OK.

209

Drugi składnik wewnętrznej straty egzergii B₁ wyznaczono z równania (39) jako pozycję zamykającą bilans.

7.2. Bilans egzergetyczny płuczki wodnej

Bilansowany układ wyodrębniono na rys. 1 osłoną bilansową II. Równanie bilansu egzergetycznego płuczki ma postać

$$B_{a} + B_{c} = B_{a'} + B_{b} + \delta B_{2},$$
 (42)

gdzie:

B - egzergia substancji oznaczonej indeksem,

 ^ôB₂ - wewnętrzna strata egzergii spowodowana nieodwracal-nością wszystkich zjawisk procesu płuczkowego.

 Egzergię B substancji obliczono jak w punkcie 7.1.

 Wewnętrzną stratę egzergii ôB₂ wyznaczono z równania (42)
 jako pozycję zamykającą bilans.

Bilans eggergetyczny wytwornicy (komory i płuczki) pokazano graficznie na wykresie pasmowym Grassmanna (rys. 2b).

W tablicy 6 zestawiono bilans egzergetyczny podając wartości bezwzględne i względne. Przy obliczaniu wartości względnych poszczególne wielkości odniesiono do sumy zużycia energii elektrycznej i egzergii chemicznej karbidu. Jeżeli za efekt użyteczny przyjmiemy egzergię hemiczną acetylenu przy wylocie z płuczki, to sprawność egzergetyczna procesu wynosi

$$v_{b} = \frac{B_{ob a'}}{B_{ob k} + E_{el}} = 82,24\%$$

8. Wnioski

Ponieważ efektem iżytecznym procesu jest energia lub egzergia chemiczna acetylenu, z porównania zestawień bilansu energetycznego i egzergetycznego wynika, że sprawność egzergetyczna wytwornicy jest wyższa od termicznej. Wynika to stąd, że egzergia karbidu technicznego jest wyraźnie mniejsza od jego



a) wykres Sankeya bilansu energetycznego

b) wykres Grassmanna bilansu egzergetycznego

Bchk + Eel = 100 %



energii chemicznej, natomiast dla acetylenu - przeciwnie. Sprawność egzergetyczna procesu jest wysoka, co świadczy o tym, że reakcja chemiczna między karbidem i wodą jest obarczona stosunkowo małymi stratami nieodwracalności.

Tablica 6

Zestawienie bilansu egzergetycznego wytwornicy acetylenowej

Lp.		Wyszczególnienie	Bilans egz		ergetyczny	
_		1.4.4	kJ/kmol C ₂ H ₂		%	
1		2	3		4	
	1	Karbid techniczny		-		
		- część fizyczna		0	0,00	
g		- część chemiczna	1 540	580	99,97 100%	
chd	2	Energia elektryczna	10,28	400	0,03	
r z y	3	Woda reakcyjna				
щ		- część fizyczna	-	110	0,01	
		- część chemiczna	1	360	0,09	
	4	Woda do płuczki				
		- część fizyczna		20	0,00	
		- część chemiczna	d'Internet	0	0,00	
		Suma	1 542	470	100,10	
	5	Acetylen techniczny	-			
		- część fizyczna		190	0,01	
		- część chemiczna	1 267	320	82,24	
99	6	Mleko wapienne				
oh		- część fizyczna	6	070	0,40	
Roz		- część chemiczna	98	970	6,43	
н	7	Woda płuczkowa				
		- część fizyczna		50	0,00	
		- część chemiczna	3	880	0,25	
	8	Strata do otoczenia	2	040	0,13	
	9	Wewnętrzna strata eg- zergii				
		- w komorze reakcyjnej	162	410	10,54	
		- w płuczce	1	540	0,10	
		Suma	1 542 470 100,10		100,10	

Autor dziękuje Kierownikowi Katedry Energetyki Cieplnej Panu prof. dr inż. J. Szargutowi za cenne uwagi krytyczne i pomoc przy opracowaniu zagadnienia.

LITERATURA

- [1] KOSTRZEWSKI H.: Technologia produkcji acetylenu rozpuszczonego. Wyd. Komisji Ogólnobranżowej do spraw gazów technicznych, Gliwice 1963, (skrypt).
- [2] Przepisy Dozoru Technicznego DT/A/63: Wytwornice acetylenowe. Wyd. Katalogów i Cenników. Warszawa 1967.
- [3] RYSZKA E., SZARGUT J.: Piece przemysłowe w hutnictwie metali nieżelaznych. WGH, Katowice 1961,
- [4] Sprawocznik maszinostroitiela, tom 2, Meszgiz, Moskwa 1960.
- [5] STRIŻEWSKIJ I.I., GUZOW S.G., KOWALSKIJ W.A.: Acetilenowyje stancji. Maszgiz, Moskwa 1959.
- [6] SZARGUT J., PETELA R.: Egzergia. WNT, Warszawa 1965.

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС АЦЕТИЛЕНОВОГО ГЕНЕРАТОРА

Резрме

На основании результатов измерений и литературы составлено балансы: материальный, энергетический и эксергетический стациомарного ацетиленового генератора системы "карбид в воду". Рассмотрено генератор низкого давления, в котором происходит мокрый процесс газообразования. Эксергетический анализ доказывает, что необратимости процесса получения ацетилена из карбида кальция очень малые. Эксергетический к.п.д. генератора больше термического. THE EXERGY BALANCE OF ACETYLENE GENERATOR

Summary

The substantial, energy and exergy balances of the stationary acetylene generator of "carbide to water" system are presented on the base of measurement data and literature. It concerns the low pressure generator with wet process gas producing. The exergy analysis reveals very small irreversibility of this process. The exergy efficiency of generator appears to be greater than thermodynamic efficiency.

214