

сударственный стандарт. – М., 1997. 3. ГОСТ 30319.3-96. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств по уравнению состояния. Межгосударственный стандарт. – М., 1997. 4. Бэр Г.Д. Техническая термодинамика. Теоретические основы и технические применения. – М., 1977. 5. Пістун Є., Матіко Ф., Лесовий Л. та ін. Розрахунок коефіцієнта стискуваності природного газу при вимірюванні витрати на автомобільних газонаповнювальних компресорних станціях // Матеріали доповідей 1-ї міжнар. наук.-практ. конф. "Системи транспортування, контролю якості та обліку енергоносіїв". – Львів, 1998. С.150.

УДК 662.61

Мисак Й., Івасик Я., Кравець Т.

ДУ "Львівська політехніка", кафедра теплотехніки і теплових електростанцій

## ВПЛИВ ЯКОСТІ ПАЛИВА НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

© Мисак Й., Івасик Я., Кравець Т., 2000

**Analytical and graphic relationships for determining economic operation of boiler installation with the change of fuel quality are given.**

Внаслідок погіршення гірничо-геологічних умов видобутку, переходу на проходку тонких шарів вугілля (<1,0м) складної структури із збільшенням видобутку гірської маси зростала зольність і зменшувалась теплота згорання вугілля. Так, за останні 20 років зольність вугілля збільшилась з 26 до 35-38 %, а його теплотворна здатність зменшилась з 21-22 МДж/кг до 17-19 МДж/кг\*.

Негативним наслідком зменшення теплотворної здатності вугілля стала неможливість його спалювання без використання додаткових високореакційних палив – природного газу та мазуту, частка яких у загальному паливному балансі вугільних ТЕС сягає 20-35 %\*.

Під час роботи на вугіллі з характеристиками, які близькі до розрахункових, котли працюють з високою надійністю і економічністю. Внаслідок зниження теплоти згорання палива виникають проблеми при експлуатації основного і допоміжного обладнання, а також обладнання паливоподачі. Характерним для палива, яке використовується на ТЕС України, є постійне зниження його якості. Великі труднощі у тому зв'язку виникають також під час роботи пилосистем котлів. Через різке погіршення якості вугілля номінальне навантаження котла може бути забезпечене при більшій витраті вугільного пилу, а це, у свою чергу, пов'язано з перевантаженням системи пилоприготування, димососів і вентиляторів.

Неоптимальний топковий режим, який викликаний змінними характеристиками палива, його підвищеною вологістю і зольністю, негативно впливає на роботу поверхонь нагріву. У міру погіршення якості палива збільшується пошкодженість поверхонь нагріву (екрани і топки, конвективний пароперегрівник, водяний економайзер).

\* Корчевой Ю.П., Майстренко А.Ю., Шидловский А.К. и др. Современное состояние угольных электростанций Украины и перспективы их развития // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1996. – № 3. – С.3-8.

Топкові екрани пошкоджуються в основному через високотемпературну газову корозію, а поверхні нагріву, які розміщені в конвективній шахті, насамперед, через, золотий знос.

З погіршенням якості палива погіршується економічність роботи котлоагрегатів за рахунок підвищення втрат з механічним недопалом і втрат з відхідними газами (через зростання забруднення котлів).

Зниження теплоти згорання палива призводить до зниження температури факела. Зниження пірометричного рівня в топці, яке спостерігається також при понижених навантаженнях котла, частково за рахунок недостатньої продуктивності пилосистем призводить до погіршення умов вигорання вугілля і втрати стійкості спалахування. Стабілізувати спалахування можна, збільшуючи тепловиділення поблизу устя пальника. Цього досягають за рахунок добавки до вугілля погіршеної якості у вигляді підсвітки визначеної частки рідкого або газоподібного палива, яке має значно більшу теплоту згорання.

Основними критеріями палива, які характеризують його якість, є калорійність, вміст золи і вологість. Вміст вологи, золи і значення калорійності залежать від виду палива, його геологічних характеристик, методів видобутку і, як показала практика експлуатації котлів, змінюються в доволі широких діапазонах.

Названі параметри палива певною мірою впливають на надійність і економічність роботи котельної установки.

Вологість і зольність є баластом палива і знижують його калорійність, погіршують умови підготовки і спалювання палива, а також умови роботи поверхонь нагріву котла. Зміна вмісту золи в паливі тягне за собою зміну витрати палива на котел, температурних характеристик факела, динаміки шлакування топки і поверхонь нагріву, а також витрати електроенергії на механізми власних потреб котла. Збільшення вмісту вологи в паливі призводить до зростання затрат тепла на його сушку, зниження температури факела, збільшення об'єму димових газів, втрат тепла з вихідними газами і витрат електроенергії на механізми власних потреб котла.

Калорійність палива визначає його енергетичну цінність і її зниження призводить до збільшення витрати палива на котел, витрати тепла і електроенергії на його підготовку, погіршення характеристик спалювання, зміни умов теплообміну в котлі, а також до переважень механізмів паливоподачі і пилоприготування і збільшення інтенсивності зносу елементів і механізмів котельної установки, збільшення забруднення доквілля.

До показників економічної роботи котельної установки належать втрати тепла з відхідними газами ( $q_2$ ), хімічним недопалом ( $q_3$ ), механічним недопалом ( $q_4$ ), з охолодженням огороджуючих поверхонь ( $q_5$ ) і шлаком ( $q_6$ ).

Зміна параметрів якості палива впливає переважно на втрати тепла з відхідними газами, з механічним недопалом і шлаком.

Зміну втрат тепла з вихідними газами необхідно враховувати при зміні вмісту золи в паливі  $\Delta A \geq 6,0\%$ . При менших значеннях зольності неврахування останньої практично не призводить до збільшення похибки визначення втрат тепла з відхідними газами.

Зміна втрат тепла з відхідними газами ( $q_2$ ) визначають за формулою:

$$\Delta q_2 = \frac{\Delta I_{зл}}{(Q_H^p)_0} 100\%, \quad (1)$$

де  $\Delta I_{зл}$  – зміна ентальпії ккал/кг:

$$\Delta I_{зл} = 0,29_{відх} \frac{a_{уН}}{100} \Delta A^p, \quad (2)$$

де  $\vartheta_{\text{вдх}}$  – температура відхідних газів, °C;  $a_{\text{ун}}$  – частка золи, яка виноситься з котла димовими газами;  $\Delta A^p$  – зміна вмісту золи в паливі, %, яка визначається як зміна вмісту золи у фактичному  $A^p$  (яке прогнозується) паливі і вихідному,  $A_0^p$  – (базовому):

$$\Delta A^p = A^p - A_0^p \quad (3)$$

Зміну втрат тепла з механічним недопалом ( $\Delta q_4$ ), при умові незмінного вмісту горючих в уносі і шлаку, знаходять з виразу:

$$\Delta q_4 = q_{40} \left[ \frac{(Q_H^p)_o A^p}{Q_H^p A_0^p} - 1 \right], \% \quad (4)$$

де  $q_{40}$  – втрати тепла з механічним недопалом при вихідному (базовому) паливі, %;  $(Q_H^p)_o$  – теплотворна здатність вихідного палива, ккал/кг;  $Q_H^p$  – теплотворна здатність палива при зміненому вмісті золи (вологи), ккал/кг.

Зміна втрат тепла із шлаком ( $\Delta q_6$ ) при зміні зольності палива визначається як:

$$\Delta q_6 = \frac{a_{\text{шл}} c_{\text{шл}} \vartheta_{\text{шл}} \Delta A^p}{Q_H^p} \% \quad (5)$$

де  $a_{\text{шл}} = 1 - a_{\text{ун}}$  – частка золи, яка виводиться із котла зі шлаком;  $c_{\text{шл}}$  – теплоємність шлаку ( $\vartheta_{\text{шл}} = 600^\circ\text{C}$  – при сухому шлаковидаленні;  $\vartheta_{\text{шл}} = t_{\text{н.ж}}$  – при рідкому шлаковидаленні;  $t_{\text{н.ж}}$  – температура нормального рідкого стану шлаку, °C).

При зміні зольності палива змінюється і його калорійність. Зміну калорійності ( $\Delta Q_H^p$ ) в ккал розраховують за формулою:

$$\Delta Q_H^p = (Q_H^p)_o \left( \frac{100 - A^p}{100 - A_0^p} - 1 \right) \quad (6)$$

У разі зміни зольності палива ( $\Delta A^p \geq 6,0\%$ ) змінюється запиленість потоку димових газів ( $\mu_{\text{зл}}$ ), що призводить до зміни теплообміну в топці і температури димових газів на виході із топки, а також зростає золовий занос поверхонь нагріву. Ці фактори призводять до зміни опору газового тракту котла і, отже, затрат електроенергії на привід димососів. Встановити залежність між зміною зольності палива, золовим заносом поверхонь нагріву і зв'язаного з цим опором газового тракту котла практично неможливо.

Зміна температури відхідних газів може бути незначною (для практичних розрахунків) при підтримці поверхонь нагріву котла в експлуатаційно чистому стані.

Відносна зміна навантаження приводу димососів ( $\delta N_d$ ), викликана зміною запиленості газового потоку, може бути визначена за формулою:

$$\delta N_d \cong \Delta \mu_3, \quad (7)$$

де зміна запиленості газового потоку ( $\Delta \mu_3$ ) може бути визначена за формулою:

$$\Delta \mu_3 = \frac{\Delta A^p a_{\text{ун}}}{100 \gamma_{\Gamma}^o \nu_{\text{ср}}^{\Gamma}}, \quad (8)$$

де  $\gamma_{\Gamma}^0$  – питома вага димових газів при стандартних умовах,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\nu_{\text{ср}}^{\Gamma}$  – середній (для газового тракту) питомий об'єм димових газів (на кілограм палива),  $\text{м}^3/\text{кг}$ .

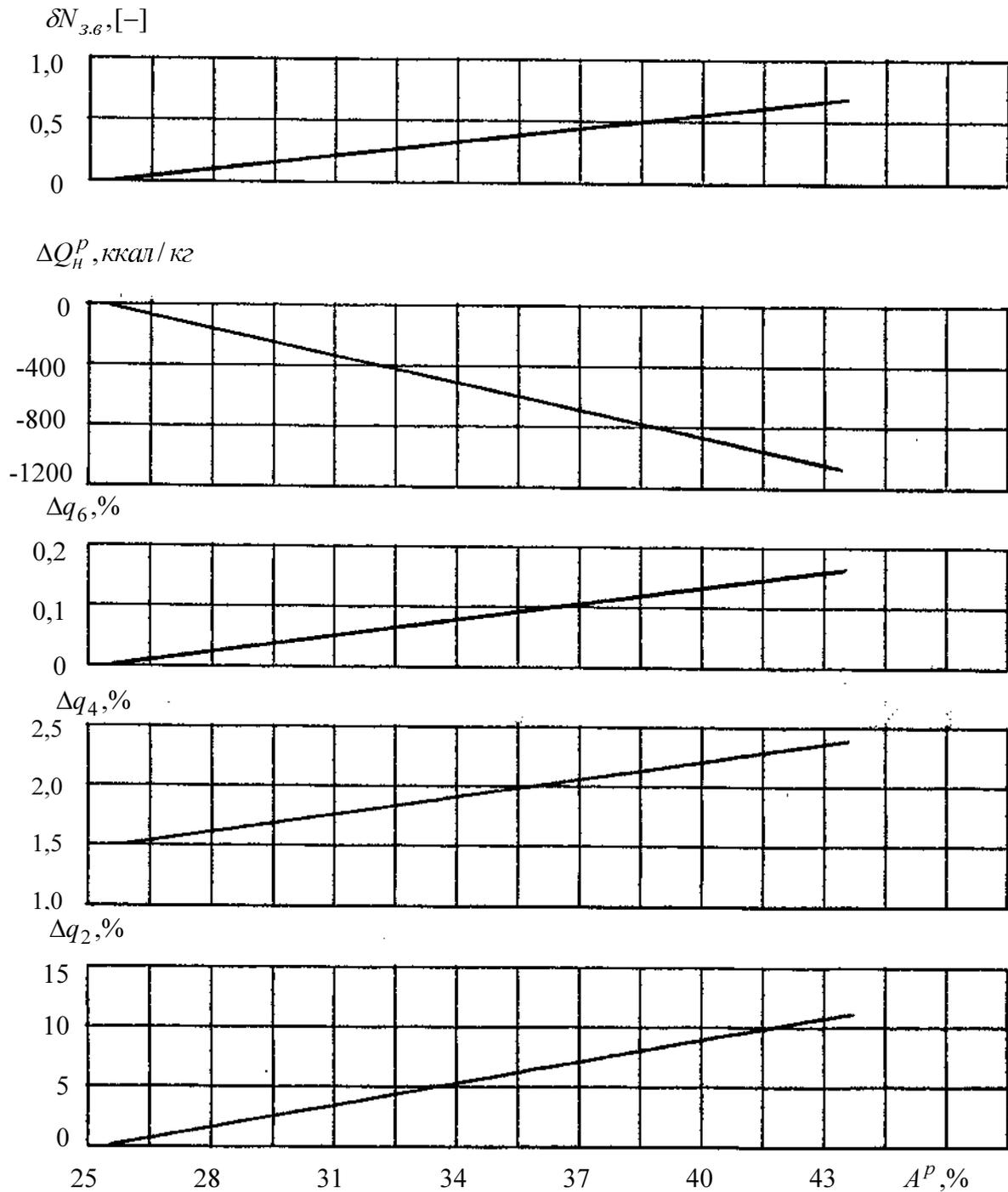


Рис.1. Вплив зміни зольності палива на показники роботи котла ТП-92:

$\delta N_{3.6}$  – зміна потужності приводів механізмів золовидалення;  $\Delta Q_H^P$  – зміна калорійності палива;  $\Delta q_6$  – зміна втрат тепла із шлаком;  $\Delta q_4$  – зміна втрат тепла з механічним недопалом;  $\Delta q_2$  – зміна втрат тепла з відхідними газами

Зміна потужності приводів механізмів золовидалення ( $\delta N_{з.в}$ ) (без електрофільтрів), викликана зміною зольності палива, може бути визначена за формулою:

$$\delta N_{з.в} = \frac{\Delta A^p}{\Delta A_0^p}. \quad (9)$$

На рис.1 показано, як впливає зміна зольності палива на показники роботи котла ТП-92 Добротвірської ТЕС. В базовому режимі у котлі спалюється вугілля Львівсько-Волинського басейну із такою характеристикою:  $(Q_H^p)_0 = 4702$  ккал/кг,  $A_0^p = 25,5$  %, а при зміненому вмісті золи:  $Q_H^p = 3048$  ккал/кг,  $A^p = 43,5$  %.

Зміна вологості палива призводить до зміни об'єму димових газів, з чим зв'язана також зміна опору газового тракту. Це призводить до зміни втрат тепла з відхідними газами і витрати електроенергії на привід димососів.

Із урахуванням цих двох факторів (опору газового тракту і об'єму димових газів) зміна витрат електроенергії на привід димососів ( $\delta N_d$ ) визначають з достатньою точністю за формулою:

$$\delta N_d = 3 \frac{\Delta V_\Gamma}{V_\Gamma}, \quad (10)$$

де питомий об'єм (на кілограм палива) димових газів ( $V_\Gamma$ ) в м<sup>3</sup>/кг знаходять з виразу:

$$V_\Gamma = V_\Gamma^0 + (\alpha_{відх} - 1)V^0. \quad (11)$$

Точна формула розрахунку зміни втрат електроенергії на привід димососів ( $\delta N_d$ ) має вигляд:

$$\delta N_d = 3 \frac{\Delta V_\Gamma}{V_\Gamma} + \left( \frac{\Delta V_\Gamma}{V_\Gamma} \right)^2 + \left( \frac{\Delta V_\Gamma}{V_\Gamma} \right)^3. \quad (12)$$

Зміна вологості палива призводить до зміни об'єму димових газів, а останній – до зміни втрат тепла з відхідними газами:

$$\Delta q_2 = \frac{\Delta V_\Gamma c_{H_2O} \vartheta_{відх}}{(Q_H^p)_0} 100 \%, \quad (13)$$

де  $\Delta V_\Gamma$  - зміна об'єму димових газів, м<sup>3</sup>/кг визначається за формулою:

$$\Delta V_\Gamma = 0,0124 \Delta W^p, \quad (14)$$

де  $\Delta W^p = W^p - W_0^p$  – зміна вологості палива ( $W^p$  – фактичний вміст вологи, %;  $W_0^p$  – “базовий” вміст вологи, %);  $c_{H_2O}$  – теплоємність водяних парів при температурі  $\vartheta_{відх}$ ,

$$\frac{\text{ккал}}{(\text{нм}^3 \cdot \text{град})}.$$

Прийнявши середню для інтервалу температур відхідних газів 150-200 °С теплоємність водяних парів, формула (13), можна привести до вигляду:

$$\Delta q_2 = \frac{0,00552 \Delta W^p \vartheta_{відх}}{(Q_H^p)_0} 100 \%. \quad (15)$$

Як показують результати розрахунків і випробувань котлів, зміна температури димових газів на виході із топки на 10 °С для котлів блоків 200-800 МВт призводить до зміни температури відхідних газів в межах 0,2-0,3 °С.

Зміну втрат тепла з механічним недопалом ( $\Delta q_4$ ) при зміні вологості палива розраховують так:

$$\Delta q_4 = q_{4o} \left[ \frac{(Q_H^p)_o}{Q_H^p} - 1 \right] \% \quad (16)$$

Зміну калорійності палива ( $\Delta Q_H^p$ ) в ккал/кг при зміні його вологості визначають за формулою:

$$\Delta Q_H^p = \left[ (Q_H^p)_o + 6W_o^p \right] \frac{100 - W^p}{100 - W_o^p} - 6W^p - (Q_H^p)_o \quad (17)$$

При зміні калорійності палива і визначенні втрат тепла відносно базового значення калорійності вноситься поправка до величини втрат тепла з вихідними газами, механічним недопалом і шлаком у вигляді коефіцієнта  $K_Q$ , який розраховують за формулою:

$$K_Q = \frac{(Q_H^p)_o}{Q_H^p} - 1 \quad (18)$$

Відповідно втрати тепла дорівнюватимуть:

$$\Delta q_i = q_{io} K_Q \% \quad (19)$$

де  $i = 2, 4, 6$  – індекс втрат тепла.

Зміна вмісту води і золи в паливі призводить до зміни сушильної і розмельної продуктивності пилосистем, а також витрат електроенергії на привід механізмів власних потреб.

Для практичних розрахунків техніко-економічних показників роботи пилосистем вплив зміни вологості палива на розмельну продуктивність млинів можна не враховувати.

Зміна зольності палива може призводити і до зміни розмельних характеристик палива. У такому разі змінюється коефіцієнт розмельності ( $K_{ло}$ ), що призводить до зміни розмельної продуктивності ( $\delta B_M^p$ ) пилосистем, яку визначають за формулою:

$$\delta B_M^p \cong \frac{K_{ло}}{(K_{ло})_o} - 1 \quad (20)$$

де  $K_{ло}$ ,  $(K_{ло})_o$  – коефіцієнт розмельності палива відповідно при зміненому і “базовому” вмісті золи.

При зміні тонини розмелу палива зміну розмельної продуктивності млинів ( $\delta B_M^p$ ) знаходять із виразу:

$$\delta B_M^p = \sqrt{\frac{R_{90}}{(R_{90})_o} - 1} \quad (21)$$

де  $R_{90}$  і  $(R_{90})_o$  – тонина помелу відповідно при зміненому і “базовому” складі палива, %.

Зміну втрат електроенергії на привід млинових вентиляторів ( $\delta N_{м.в}$ ) при наявності регулювання витрати сушильного агента (димових газів і суміші димових газів і повітря), викликану зміною вологості палива, і незмінній вологості пилу розраховують за формулою:

$$\delta N_{M.B} = \frac{0,0124 \cdot \Delta W^p \cdot B_M}{V_{M.B}^0}, \quad (22)$$

де  $V_{M.B}^0$  – витрата димових газів за млиновим вентилятором при “базовій” вологості палива,  $m^3/год$ ;  $B_M$  – продуктивність млина,  $t/год$ .

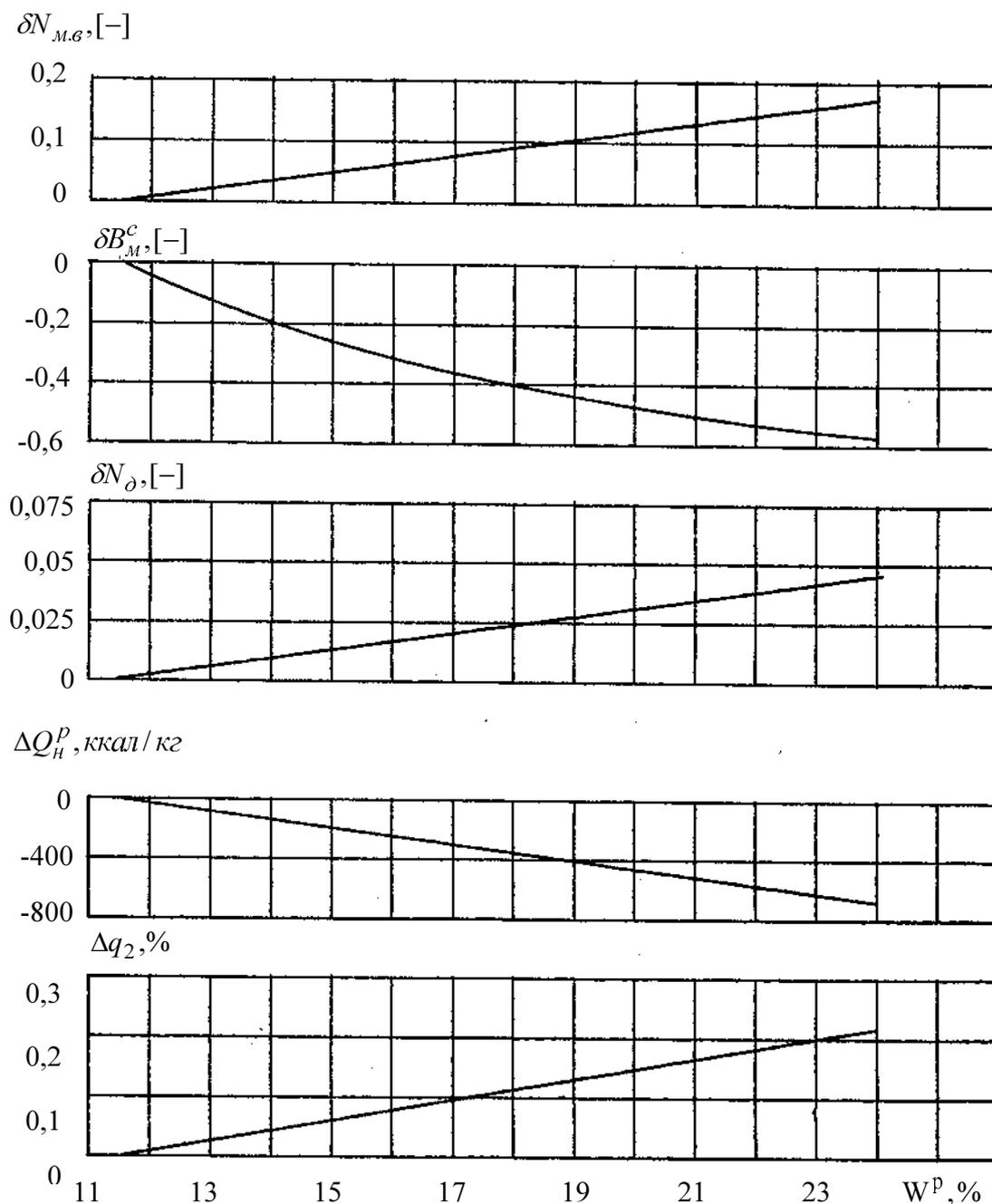


Рис.2. Вплив зміни вологості палива на показники роботи котла ТП-92:

$\delta N_{M.B}$  – зміна витрат електроенергії на привід млинових вентиляторів;  $\delta B_M^c$  – зміна сушильної продуктивності;  $\delta N_{\partial}$  – зміна витрат електроенергії на привід димососів;

$\Delta Q_H^p$  – зміна калорійності палива;  $\Delta q_2$  – зміна втрат тепла з відхідними газами

Зміну сушильної продуктивності ( $\delta B_M^c$ ), викликану зміною вологості палива, обчислюють так:

$$\delta B_M^c = \frac{1}{1 + \frac{\Delta W^p}{W_0^p - W_{пл0}}} - 1, \quad (23)$$

де  $W_{пл0}$  – вологість пилу після пиросистем при “базовому” складі палива, %.

На рис.2 показано як впливає зміна вологості палива на показники роботи котла ТП-92 Добротвірської ТЕС. У базовому режимі у котлі спалюється вугілля Львівсько-Волинського басейну із такою характеристикою:  $(Q_H^p)_0 = 4702$  ккал/кг;  $A_0^p = 25,5$  %;  $W_0^p = 11,6$  %, а при зміненому вмісті води –  $Q_H^p = 3048$  ккал/кг;  $A^p = 43,5$  %;  $W^p = 12,9$  %.

### Висновки

1. З підвищенням зольності і вологості спалюваного вугілля економічність знижується, переважно, за рахунок збільшення втрат тепла з відхідними газами, механічним недопалом і фізичним теплом шлаку.

2. Збільшення зольності палива від 25,5 % до 43,5 % призводить до збільшення потужності приводів механізмів золовидалення на ~70 %, втрати тепла зі шлаком на ~0,17 %, втрати тепла з механічним недопалом на ~2,4 %, втрати тепла з відхідними газами на ~12% і зменшення калорійності палива на 1100 ккал/кг.

3. Збільшення вологості палива від 11,6 % до 24,0 % призводить до збільшення: витрати електроенергії на привід млинових вентиляторів на ~18 %, витрати електроенергії на привід димососів на ~4,8%, втрати тепла з відхідними газами на ~0,22% і зменшення: сушильної продуктивності на ~57%, калорійності палива на ~700 ккал/кг.

4. Збільшення зольності палива спричиняє перевантаження систем пилоприготування котлів, ерозійний знос поверхонь нагріву, підвищення аварійності енергоблоків, втрату маневрових властивостей, погіршення економічних показників, збільшення потреб в золовідвалах. Внаслідок цього більшість пиловугільних блоків не можуть розвинути проектну потужність. Ще одним негативним наслідком зменшення теплотворної здатності вугілля стала неможливість його спалювання без використання додаткових високореакційних палив – природного газу та мазуту, частка яких у загальному паливному балансі вугільних ТЕС сягає 20-35 %.

5. Враховуючи на перспективу погіршення якості палива, яке буде використовуватися в топках котлів, а водночас і техніко-економічних показників роботи обладнання, можна дійти висновку про нагальну потребу розроблення методики оптимізації експлуатації всього котельного обладнання і зокрема топкового пристрою.