

ЕНЕРГОЄМНІСТЬ ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ЯК СКЛАДОВА ПОВНОЇ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Розглянуто існуючі підходи до визначення енерговитрат на захист навколишнього середовища. Запропоновано методику визначення енергоємності заходів з охорони навколишнього середовища, за якою проведено розрахунок для цементного виробництва.

Ключові слова: показники енергетичної ефективності, енергоємність продукції, енергоємність заходів з охорони навколишнього середовища, цемент.

Одним з поширених показників енергетичної ефективності є енергоємність виробництва продукції, яка є одним з основних факторів, що впливає на собівартість продукції і, зрештою, на конкурентоспроможність. На сьогодні використовується кілька видів енергоємності виробництва продукції, означення та методи визначення яких наведено в ДСТУ: повна [1]; цехова, повна цехова, заводська (наскрізна) [2]; технологічна [3]. У публікаціях використовується також термін пряма енергоємність [4].

Екологічні нормативи постійно стають жорсткішими, вартість енергоносіїв та платежі за забруднення навколишнього середовища зростають, тому питання визначення енерговитрат на охорону навколишнього середовища набувають більшого значення.

Згідно з ДСТУ 3682–98 та ГОСТ Р 51750 енергоємність заходів з охорони навколишнього середовища є складовою повної та технологічної енергоємності продукції [1, 3]. У ДСТУ 3740–98 зазначається, що витрати на охорону навколишнього середовища мають входити до балансу енергоносіїв підприємства [2]. Проте у згаданих вище стандартах немає методики конкретного визначення зазначених енерговитрат.

Тому метою цієї статті є розробка методики визначення повної енергоємності заходів з охорони навколишнього середовища у промисловому виробництві.

До завдань дослідження слід віднести аналіз існуючих методичних підходів до визначення енерговитрат на охорону навколишнього середовища на підприємстві; модифікацію методики визначення повної енергоємності охорони навколишнього природного середовища для практичного застосування та проведення розрахунків за нею.

Науковою новизною роботи є методика визначення повної енергоємності заходів з охорони навколишнього середовища у промисловому виробництві, яка передбачає використання більш доступних та наявних на підприємствах вихідних даних.

Методика визначення повної енергоємності продукції, робіт та послуг (ПРП) визначає повну енергоємність ПРП за виразом [1]:

$$e = e_E + e_m + e_\phi + e_p + e_o, \quad (1)$$

де e_E – повна енергоємність енергоресурсів, необхідних для виробництва ПРП; e_m – повна енергоємність вихідної продукції, сировини та матеріалів, необхідних для виробництва ПРП; e_ϕ – повна енергоємність основних виробничих фондів, амортизованих при виробництві ПРП; e_p – повна енергоємність відтвореної робочої сили при виробництві ПРП; e_o – повна енергоємність заходів з охорони навколишнього середовища під час виробництва ПРП.

Розрахунок останніх трьох складових, як правило, не проводять у зв'язку із недосконалістю розрахункових формул та обмеженістю інформації для розрахунку; особливо це стосується екологічної складової повних енерговитрат [5]. Якщо для розрахунку енергоємності трудовитрат та основних виробничих фондів запропоновано формули [1, 3], хоча ними складно користуватись, то для визначення енергоємності заходів з охорони навколишнього середовища існують лише вирази у загальному вигляді. У роботі [6] було викладено методичні підходи до визначення складових повної енергоємності продукції, які б виправили зазначені недоліки.

“Повна енергоємність охорони навколишнього середовища від шкідливого впливу неворотних відходів виробництва” згідно з ДСТУ

3682–98 обчислюють за формулою

$$e_o = \sum_i a_{oi} e_{oi}, \quad (2)$$

де a_{oi} – коефіцієнт утворення неповоротних відходів виробництва i -го виду, т/н.о. ПРП; e_{oi} – повна енергоємність усунення наслідків негативного впливу на навколишнє природне середовище тонни неповоротних відходів виробництва i -го виду, МДж/т.

У згаданому вище стандарті не наведено формули для розрахунку величини e_{oi} , тому неможливо використовувати вираз (2) для визначення енергоємності заходів з охорони навколишнього середовища на виробництві.

Для врахування прямого або опосередкованого впливу промислового об'єкта на навколишнє середовище у російському ГОСТ Р 51750 пропонується використовувати енергоекологічний індекс $J_{\text{ЭОС}}$, який визначається як “фактична частка витрат паливно-енергетичних ресурсів на керування захистом навколишнього середовища” [3]:

$$J_{\text{ЭОС}} = \frac{\text{ЗЦЕВ}}{\mathcal{E}_4 + \mathcal{E}_5 + \mathcal{E}_7 + \mathcal{E}_8 + \mathcal{E}_9}, \quad (3)$$

де ЗЦЕВ – загальноцехові витрати, які визначаються як сума енерговитрат на: технологічні процеси (основний та допоміжні) – \mathcal{E}_1 ; опалення – \mathcal{E}_2 ; освітлення – \mathcal{E}_3 ; вентиляцію з уловлюванням викидів – \mathcal{E}_4 ; кондиціонування – \mathcal{E}_5 ; транспортування готової продукції – \mathcal{E}_6 ; транспортування та зберігання відходів – \mathcal{E}_7 ; підтримку пожежної системи – \mathcal{E}_8 ; перекачку стічних вод – \mathcal{E}_9 ; зберігання готової продукції – \mathcal{E}_{10} . Напрями $\mathcal{E}_4, \mathcal{E}_5, \mathcal{E}_7, \mathcal{E}_9$ належать до заходів з охорони навколишнього техногенного середовища.

Очевидно, що вираз (3) визначає не частку витрат ПЕР на керування захистом навколишнього середовища, як заявлено в стандарті, а відношення загальноцехових витрат до витрат на заходи з охорони навколишнього середовища. Вирази для розрахунку складових формули (3) у стандарті відсутні. Крім того, незрозуміло, чому знаменник зазначеного виразу містить складову \mathcal{E}_8 , якщо цей напрям не належить до заходів з охорони навколишнього середовища.

В ДСТУ 3740–98 зазначається, що у балансі енергоносіїв повинні бути враховані всі види палива, електроенергія та похідні енергоносії (у тому числі вторинні), які використовують

прямо або опосередковано у виробництві, включаючи витрати на охорону навколишнього середовища, проте у стандарті не наведено формул для визначення енергетичних витрат на охорону навколишнього середовища.

Питанням оцінки витрат на природоохоронні цілі займалися вітчизняні та закордонні науковці, проте в основному увага приділялась економічній оцінці. Найбільше досліджень було присвячено оцінці витрат в газоочистці. Фахівці в зазначеній галузі відобразили питання економічної оцінки очищення газів тією чи іншою мірою в літературі. Набагато менше досліджень присвячено енергетичній оцінці роботи очисного обладнання на підприємстві – це дослідження Г.Г. Панченко, Н.І. Ватіна, Є.О. Штокман, М.І. Шилиєва.

У роботі [8] проводилось дослідження енергоекологічної ефективності систем газоочистки. У ролі кількісної характеристики енергоекологічної досконалості системи по парникових газах пропонується показник безрозмірної витрати енергії на гіпотетичне видалення CO_2 після очисних пристроїв, який визначається з порівняння енерговитрат, необхідних для видалення CO_2 та H_2O зі складу досліджуваних викидів до рівня фонові концентрації в атмосфері.

У вираз для визначення ступеня енергоекологічності i -го очисного пристрою входить величина E_a – сумарна енерговитрата на видалення парів води і діоксиду вуглецю з заданого складу та кількості викидів, що визначається за формулою [8]:

$$E_a = E_a^q + E_{a\text{H}_2\text{O}}^{dn} + E_{a\text{CO}_2}^{dn}, \quad (4)$$

де E_a^q , $E_{a\text{H}_2\text{O}}^{dn}$, $E_{a\text{CO}_2}^{dn}$ – енерговитрати на охолодження викидів, конденсацію парів води та діоксиду вуглецю, кВт.

Зі згаданої вище роботи не зрозуміло, що таке “показник безрозмірної витрати енергії” та “гіпотетичне видалення CO_2 ” і які технології можуть бути використані для видалення CO_2 після очисного обладнання. Крім того, з роботи не ясно, як саме визначати доданки у формулі (4).

Отже, можна зробити висновок, що на сьогодні немає дієвого механізму визначення енергоємності заходів з охорони навколишнього середовища при виробництві продукції. Тому виникає необхідність в розробці методики для розрахунку енергоємності заходів з охорони навколишнього середовища або енерговитрат

на роботу очисного обладнання, використовуючи дані, наявні на підприємстві та у літературі.

Методика розрахунку

Проведений аналіз існуючих систем очищення викидів (стаціонарні джерела), стічних вод від шкідливих речовин та поводження з твердими відходами надав можливість запропонувати розраховувати енергоємність заходів з охорони навколишнього середовища як суму трьох складових: енергоємності очищення викидів, стічних вод та знешкодження твердих відходів, тобто:

$$e_o = e^{вик} + e^{сток} + e^{відх},$$

де $e^{вик}$, $e^{сток}$, $e^{відх}$ – відповідно енергоємність очищення викидів, стічних вод та знешкодження твердих відходів, для яких було розроблено алгоритми розрахунку.

Енергоємність очищення викидів пропонується визначати, використовуючи такий вираз:

$$e^{вик} = \beta \sum_k a^{вик} W_k^{вик} / V^{вик} + \beta \sum_i \frac{a^{вик} b_i^{вик} W_i'}{V_i^{вод}} + \sum_r a^{вик} \cdot g_{xp_r} \cdot e_{xp_r} + \sum_z a^{вик} c_{вик_z}^{відх} \left(\frac{\gamma \cdot B_{вик_z}^{відх}}{V_{вик_z}^{відх}} + e_z^{відх} \right)$$

або

$$e^{вик} = \beta \sum_k a^{вик} W_k^{вик'} + \beta \sum_i a^{вик} b_i^{вик} W_i' + \sum_r a^{вик} \cdot g_{xp_r} \cdot e_{xp_r} + \sum_z a^{вик} c_{вик_z}^{відх} \left(\frac{\gamma \cdot B_{вик_z}^{відх}}{V_{вик_z}^{відх}} + e_z^{відх} \right), \quad (5)$$

де β – питома витрата палива на виробництво електричної енергії, т у. п./1000 кВт·год; k – індекс виду обладнання, використаного для очищення; $a^{вик}$ – питомий вихід газів на одиницю продукції, м³/т; $W_k^{вик'}$ – питома витрата електроенергії на роботу очисного обладнання виду k , кВт·год/м³; $W_k^{вик}$ – споживання електроенергії очисним обладнанням виду k , кВт·год; $V^{вик}$ – сумарний об'єм викидів при виробництві продукції, м³; i – індекс виду рідини, що використовується при мокрому очищенні газів; $b_i^{вик}$ – питома витрата рідини виду i на очищення викидів, м³/м³ газу; W_i' – питома витрата електроенергії на підготовку та перекачування (відведення) рідини виду i , кВт·год/м³; W_i – споживання електроенергії обладнанням для підготовки та перекачування (відведення) рідини виду i , кВт·год; $V_i^{вод}$ – сумарна витрата рідини виду i на очищення

викидів, м³; r – вид хімічного реагенту, використаного при очищенні газів; g_{xp_r} – витрата хімічного реагенту виду r при очищенні газів, т/м³; e_{xp_r} – енергоємність хімічного реагенту виду r , т у. п./т; z – індекс виду твердих відходів, що утворилися в процесі очистки газів; $c_{вик_z}^{відх}$ – коефіцієнт утворення відходів виду z при очищенні викидів, т/м³ газу; γ – коефіцієнт переведення моторного палива в умовне, т у. п./т; $B_{вик_z}^{відх}$ – витрати палива на вивезення відходів виду z на полігон, т; $V_{вик_z}^{відх}$ – обсяг відходів виду z , що утворилися при очищенні викидів, т; $e_z^{відх}$ – витрата енергоресурсів на підтримання полігону для відходів у належному стані, т у. п./т відходів (у випадку, якщо полігон знаходиться не на балансі підприємства, то приймається рівною нулю).

Енергоємність очищення стічних вод пропонується розраховувати за формулою

$$e^{сток} = \beta \sum_n \sum_s (b_s^{сток} W_{ns} / V_s^{сток}) + \beta \sum_m \sum_s (b_s^{сток} (W_{ms} + W_{f_{ms}}) / V_s^{сток}) + \sum_l \sum_s b_s^{сток} g_{xp_{ls}} \cdot e_{xp_l}$$

або

$$e^{сток} = \beta \sum_n \sum_s b_s^{сток} W_{ns}' + \beta \sum_m \sum_s b_s^{сток} (W_{ms}' + f_{ms} \cdot W_{f_{ms}}') + \sum_l \sum_s b_s^{сток} g_{xp_{ls}} \cdot e_{xp_l}, \quad (6)$$

де n – індекс виду обладнання, використаного для перекачування (відведення) стічних вод; s – індекс виду стічних вод; $b_s^{сток}$ – коефіцієнт утворення стічних вод виду s на одиницю продукції, м³/т; W_{ns} – споживання електроенергії обладнанням виду n на перекачування (відведення) стічних вод виду s , кВт·год; $V_s^{сток}$ – обсяг стічних вод виду s , м³; W_{sn} – питома витрата електроенергії на перекачування (відведення) стічних вод виду s , кВт·год/м³; m – індекс виду обладнання для очищення стічних вод; W_{ms} – споживання електроенергії очисним обладнанням виду m , що використовується для очищення стічних вод виду s , кВт·год; W_{ms}' – питома витрата електроенергії на роботу очисного обладнання виду m , кВт·год/м³; f_{ms} – витрата повітря (кисню, озону) при очищенні стічних вод виду s на обладнанні виду m , м³/м³ стічних вод; $W_{f_{ms}}$ – споживання електроенергії обладнанням виду m на подачу повітря (вироб-

ництво кисню, озону), кВт·год; $W'_{f_{ms}}$ – питома витрата електроенергії на подачу повітря (виробництво кисню, озону), кВт·год/м³ повітря; l – вид хімічного реагенту, використаного при очищенні стічних вод; g_{xp_l} – витрата хімічного реагенту виду l на очищення стічних вод виду s , т/м³ стічних вод; e_{xp_l} – енергоємність хімічного реагенту виду l , т у. п./т.

Енергоємність знешкодження твердих відходів пропонується визначати за формулою

$$e^{відх} = \sum_p d_p^{відх} \cdot \left(\frac{\gamma \cdot B_p^{відх}}{V_p^{відх}} + e_p^{відх} \right), \quad (7)$$

де p – індекс виду твердих відходів; $d_p^{відх}$ – коефіцієнт утворення твердих відходів на одиницю продукції, т/т прод.; $B_p^{відх}$ – витрати палива на перевезення відходів виду p на полігон, т; $V_p^{відх}$ – обсяг твердих відходів виду p , що підлягають вивезенню, т; $e_p^{відх}$ – витрата енергоресурсів на підтримання полігону для відходів у належному стані, т у. п./т відходів (у випадку, якщо полігон знаходиться не на балансі підприємства, то приймається рівною нулю).

Розрахуємо енергоємність заходів з охорони навколишнього середовища для виробництва цементу сухим способом з використанням запропонованої методики (5)–(7).

Основним впливом цементного виробництва на навколишнє середовище є забруднення атмосферного повітря викидами шкідливих речовин; тверді відходи утворюються у незначній кількості. Основним джерелом викидів є викиди від клінкерної печі, які утворюються при фізико-хімічних реакціях сировини в печі та при спалюванні палива. Основними компонентами газів від печі є пил, оксиди азоту від спалювання повітря, СО₂ від кальцинації і спалювання палива, пари води від процесу спалю-

вання і з сировини та надлишковий кисень. Вид та кількість забруднюючих речовин залежить від різних параметрів, наприклад, від характеристик сировини, виду палива, тощо [9].

Перед викидом в атмосферу газу проходять процес очистки для зменшення забруднюючих речовин у них. Зазвичай, в цементному виробництві використовуються циклони, електрофільтри та рукавні фільтри, що працюють в комбінації з вентиляторами. Очисне обладнання встановлюється після млинів сировини та цементу, печі, клінкерного холодильника, вугільних млинів (якщо як паливо використовується вугілля); вловлювання пилу також відбувається на вузлах переважання сировини. Після клінкерної печі та системи клінкерного охолодження застосовуються циклони у комбінації з рукавним фільтром або електрофільтром [9]. Дані щодо питомої витрати електроенергії очисним обладнанням наведено в таблиці.

Оскільки на цементних підприємствах не використовується мокра очистка газів, то другий доданок у формулі (5) дорівнює нулю.

Вловлений у фільтрах пил повністю або частково використовується для виробництва цементу, якщо містить незначну кількість лужних окислів. Для розрахунків приймемо, що для виробництва цементу використовується половина вловленого пилу, а решта направляється в інше виробництво, яке знаходиться на відстані 60 км.

Утворення димових газів у клінкерній печі при сухому способі виробництва становить 1700–2500 м³/т клінкеру, усереднено під час розрахунків приймається 2300 м³/т кл. Запиленість газів від печі становить 10–60 г/м³, після очистки – 10–30 мг/м³ [9]. Для розрахунку візьмемо усереднені величини витрати електроенергії очисним обладнанням. Питома

Таблиця

Обладнання	Питома витрати електроенергії для роботи очисного обладнання			
	на одиницю продукції, кВт·год/т кл. [9]		на 1000 м ³ газів, кВт·год/1000 м ³ [7]	
	мін.	макс.	мін.	макс.
Електрофільтр	1	4	0,5	1,0
Вентилятор електрофільтра	0,15	1,2	н. д.	н. д.
Тканинний фільтр	0,1	0,2	0,4	0,6
Вентилятор тканинного фільтра	1,5	1,8	н. д.	н. д.
Циклон	н. д.	н. д.	0,2	0,25

витрата палива на відпуск електроенергії, виробленої тепловими електростанціями загально-го користування за даними форми статистичної звітності 11-МТП за 2008 рік, становила 0,399 кг у. п./кВт·год.

Прийmemo, що для вивозу вловленого пилу використовується КамАЗ-5320 вантажопідйомністю 8 т в умовах експлуатації, що не потребують застосування надбавок або знижок. Згідно з нормами витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті, витрата палива розраховується за формулою

$$Q_n = 0,01 \cdot (H_s \cdot S + H_w \cdot G_{ван} \cdot S_{ван}), \quad (8)$$

де H_s – базова лінійна норма витрати палива, л/100 км; S – пробіг автомобіля, км; H_w – норма витрати палива на транспортну роботу, л/100 т·км; $G_{ван}$ – маса вантажу, т; $S_{ван}$ – пробіг з вантажем, км.

У нашому випадку $H_s = 25$ л/100 км; $S = 2\text{--}60$ км; $H_w = 1,3$ л дизельного палива на 100 т·км; $G_{ван} = 8$ т; $S_{ван} = 60$ км. Середній калорійний еквівалент переводу дизельного палива в умовне згідно з формою статистичної звітності 11-МТП за 2008 рік становив 1,439. Тоді витрата палива на перевезення 8 т твердих відходів становитиме 36,2 л або 30,77 кг.

Розрахований обсяг вловленого пилу на 1 т виробленого клінкеру – 80,45 кг/т клінкеру. Витрата електроенергії на очистку димових газів після печі (використовується циклон у комбінації з електрофільтром) становитиме 3,69 кВт·год/т кл., енергоємність очищення викидів, розрахована згідно з (5) – 1,7 кг у. п./т кл.

Під час використання циклона та тканинного фільтра витрата електроенергії на очистку димових газів після печі становитиме 2,32 кВт·год/т кл, енергоємність очищення викидів – 1,15 кг у. п./т кл.

Згідно з [9] при сухому способі виробництва цементу, в основному, відсутні скиди забруднюючих речовин у водні об'єкти, оскільки на заводах встановлено системи оборотного водопостачання, а вода використовується в невеликих обсягах. Тому енергоємність очищення стічних вод прийmemo рівною нулю.

Тверді відходи утворюються в незначній кількості – 0,25–0,6 кг/т (не враховуючи вловлений у фільтрах пил), в основному це пуста порода, яка виділяється з сировини під час приготування сировинної муки і відходи від упа-

ковки та деталі (пластик, метал, папір, тощо) [9]. Приймемо, що при виробництві цементу утворюється 0,4 кг твердих відходів на тонну цементу, які вивозяться на полігон, що знаходиться на відстані 50 км. Витрата палива на вивезення 8 т відходів становитиме 30,2 л або 25,7 кг. Енергоємність знешкодження твердих відходів, розрахована за формулою (7), становить 0,0018 кг у. п./т цементу.

Оскільки немає даних щодо обсягів повітря, що проходить очистку після клінкерного холодильника, млинів сировини та цементу на вузлах перевантаження сировини, для оцінки енерговитрат на очистку газів прийmemo, що енергоємність очистки газів на згаданих вище об'єктах сумарно вдвічі перевищує енерговитрати на очистку димових газів після печі. Таким чином, енергоємність заходів з охорони навколишнього середовища при виробництві цементу становитиме 5,1 кг у. п./т цементу (використовується циклон з електрофільтром) або 3,4 кг у. п./т цементу (використовується циклон з тканинним фільтром), у тому числі витрата електроенергії на очистку газів становитиме 11 та 7 кВт·год/т цементу відповідно.

Питоме електроспоживання при виробництві цементу сухим способом становить 90–150 кВт·год/т цементу [9]. Отже, при виробництві цементу на очистку газів витрачається від 4,5 до 12% всього електроспоживання. У масштабі галузі при виробництві 10 млн т цементу в рік ця величина оціночно становитиме 90 млн кВт·год/рік.

За розробленою методикою у [10] було визначено енергоємність знешкодження викидів при виробництві чавуну, яка за даними 2005 р. становила 11,67 кВт·год/т чавуну та майже дорівнювала прямим витратам електроенергії у доменному виробництві (витрати на дуття, подача води на охолодження печі, та ін.).

Вловлений пил у більшості випадків використовується далі в даному або іншому виробництві, тому у майбутньому необхідно розробити метод розподілення витрат на природоохоронні заходи і на утворення вторинних матеріальних ресурсів.

ВИСНОВКИ

На сьогодні поширеними показниками енергетичної ефективності є різні види енергоємності продукції, які відрізняються набором скла-

дових, розрахувати деякі з них (енергоємність заходів з охорони навколишнього середовища, основних виробничих фондів, трудовитрат) за існуючими формулами складно або й неможливо через відсутність даних або алгоритмів розрахунку.

Розроблено методику визначення енерговитрат на роботу очисного обладнання на підприємстві, яка надає можливість розрахувати зазначені витрати як під час використання існуючого обладнання, так і при модернізації підприємства або заміні очисного обладнання, використовуючи наявні дані.

На прикладі виробництва цементу сухим способом із застосуванням запропонованої методики розраховано енергоємність заходів з охорони навколишнього середовища, яка становить, залежно від виду очисного обладнання, 3,4 та 5,1 кг у. п./т цементу.

Методика може використовуватись для будь-якого виробництва всіх галузей промисловості та видів економічної діяльності.

1. ДСТУ 3682–98 (ГОСТ 30583–98). Енергозбереження. Методика визначення повної енергоємності продукції, робіт та послуг. – К.: Держстандарт України, 1998. – 11 с.
2. ДСТУ 3740–98. Енергозбереження. Методи аналізу та розрахунку зниження витрат палива та енергії на металургійних підприємствах. – К.: Держстандарт України, 1999. – 33 с.
3. ГОСТ Р 51750. Энергосбережение. Методика определения энергоёмкости при производстве продукции и оказании услуг в технологических энергетических системах. Общие положения. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. – 27 с.
4. Маляренко Е.Е., Тесленко А.И. Применение метода полной энергоёмкости продукции для анализа энергетической эффективности производства //

Проблеми загальної енергетики. – 2010. – Вип. 3 (23). – С. 19–24.

5. Маляренко О.Є. Показники енергоекономічного аналізу для визначення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів у багатопродуктових виробництвах промислової продукції // Проблеми загальної енергетики. – 2010. – Вип. 1 (21). – С. 40–46.
6. Розробка методів визначення та обрахування показників енергетичної ефективності енергоємних технологій промисловості на базі використання методів повної енергоємності, енергетичного та ексергетичного аналізу: Звіт про НДР “Показники”. ДР№0107U001055 / Кер. В.Д. Білодід. – Київ: Інститут загальної енергетики НАН України, 2009. – 220 с. – ДОН№0210U000163.
7. Ватин Н.И., Стрелец К.И. Очистка воздуха при помощи аппаратов типа циклон. – Санкт-Петербург, 2003. – 65 с.
8. Ерёмкин А.И., Зиганшин М.Г. Совершенствование оценки санитарно-гигиенической и энергоэкологической эффективности систем очистки // Известия КазГАСУ. – 2007. – № 2 (8). – С. 117–121.
9. Draft reference document on best available techniques in the cement, lime and magnesium oxide manufacturing industries. – European Commission, 2009. – 459 p.
10. Станиціна В.В., Симборський А.І., Маляренко О.Є. Визначення показників екологічної ефективності енергозберігаючих заходів, що впроваджуються у промислових технологіях на різних рівнях управління економікою // Екологія і здоров'я людини. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов: Сб. науч. ст. к XVII Междунар. науч.-практ. конф. – 2009. – Т. 1. – С. 55–62.

Надійшла до редколегії: 04.10.2011