ГЕОЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

УДК 622.727.1.3

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАБРУДНЕННЯ ПИЛОМ РОБОЧИХ ЗОН ПРИ ПОДРІБНЕННІ ГРАНІТНОЇ МАСИ ДРОБАРКАМИ

А. О. Водяник, докт. техн. наук, Л. А. Сербінова, асп. (НТУУ «КПІ»)

Розроблено алгоритм оцінки пилової безпеки при подрібненні гранітних порід дробарками, що включає залежності для розрахунку сумарної інтенсивності виділення пилу дробаркою та для моделювання поширення пилу в робочій зоні при різних технологічних параметрах з урахуванням специфіки розсіювання пилу в ближній зоні та метеорологічних характеристик, що дозволяє отримувати оперативні оцінки концентрацій пилу в залежності від технологічних та метеорологічних параметрів.

Ключові слова: подрібнення гранітних порід, виділення пилу, робоча зона, розсіювання.

Разработан алгоритм оценки пылевой безопасности при дроблении гранитных пород дробилками, включающий зависимости для расчета суммарной интенсивности выделения пыли дробилкой, моделирования распространения пыли в рабочей зоне при различных технологических параметрах с учетом специфики рассеяния пыли в ближней зоне и метеорологических характеристик, что позволяет получать оперативные оценки концентраций пыли в зависимости от технологических и метеорологических параметров.

Ключевые слова: измельчение гранитных пород, выделение пыли, рабочая зона, рассеивание.

Algorithm for evaluating of dust safety during the granite crushing by means of crushers that comprises dependence for calculation of total dust emission rate and simulation of dust dispersal in the working area considering the peculiarities of dust diffusion in the near zone and meteorological characteristics is developed. It allows to receive a rapid assessment of dust concentrations depending on the technological and meteorological parameters.

Keywords: granite crushing, dust emission, work area, diffusion.

Вступ. При експлуатації дробильного устаткування в кар'єрах з видобутку гранітної сировини до атмосферного повітря потрапляє значна кількість гранітного пилу, концентрація якого в робочій зоні може перевищувати гранично допустимі значення в 50 і більше разів. Аспіраційні системи знепилення при подрібненні гірничої маси мають невисоку ефективність (70…80 %). Це зумовлено технологічними труднощами при герметизації устаткування, недостатньою ефективністю фільтрів, а також впливом зовнішніх факторів (наприклад, вітрового навантаження). Ефективність гідрознепилення не перевищує 45…55 % [1]. Тому, незважаючи на заходи, що застосовуються для зниження пиління дробарного обладнання, проблема забруднення пилом робочих зон при механічному подрібненні гранітної маси дробарками залишається актуальною і вимагає розроблення та впровадження додаткових заходів з нормалізації запилення цих зон. Такі заходи необхідно орієнтувати не лише на технічні можливості колективних засобів захисту, а й на організацію виконання робіт з урахуванням метеокліматичних

умов, місця та часу проведення робіт, підготовленості персоналу та обладнання, стану трудової та виробничої дисципліни працівників.

Залучення організаційного фактора для підвищення ефективності знепилення робочої зони вимагає оперативної оцінки пилової обстановки в робочій зоні з урахуванням змін метеокліматичної обстановки та фракційного складу породи, що подається на подрібнення, і кінцевого продукту. Для отримання таких оцінок доцільно використовувати методи, що базуються на математичних моделях утворення пилу та його розсіювання біля джерела пилiння.

Сучасний стан питання та постановка задачі. На цей час відомо багато методів [2–4], призначених для розрахунків об'ємів виділення пилу в атмосферу різними об'єктами гірничодобувної промисловості. Вони дозволяють виконувати розрахунки інтенсивності виділення пилу та визначати його валові викиди в атмосферу при бурінні шпурів і свердловин, при вибухових і навантажувально-розвантажувальних роботах на вузлах пересипки тощо.

Загальний вигляд залежності для визначення інтенсивності виділення пилу Q (г/с) в цих процесах має вигляд:

$$Q = f(G, B, k_n, \text{''} z'' \tag{1}$$

де G – маса породи, що переробляється, т/год; B – коефіцієнт, що враховує висоту падіння матеріалу; k_n – коефіцієнт, що враховує частку пилової фракції в породі, швидкість вітру, вологість матеріалу, фракційний склад матеріалу, місцеві умови та метеоумови; η – ефективність системи пилоочищення в частках одиниці, якщо застосовуються засоби очищення від пилу; z – маса пилу, що виділяється тим чи іншим обладнанням, г/год.

Проте застосовувати залежність (1) для визначення інтенсивності виділення пилу дробарками на сьогодні проблематично, оскільки у відомих методах і методиках відсутні алгоритми, які б описували процес виділення пилу дробарками загалом, включаючи завантаження, подрібнення та вивантаження. Для об'єднання цих процесів необхідно розробити алгоритм, який забезпечить можливість розрахунку інтенсивності виділення пилу дробаркою.

Для отримання характеристик розсіювання дрібнодисперсного пилу після його виділення тим чи іншим джерелом використовуються моделі розсіювання домішок в атмосферному повітрі [2], що базуються на теорії дифузії. Проте відомі на сьогодні параметри дифузійних моделей [3–6] призначені для моделювання процесу розсіювання на віддалях 100 і більше метрів від джерела пилiння. Тому задача встановлення особливостей розсіювання пилу в ближній (робочій) зоні та обґрунтування параметрів моделей для оцінювання розсіювання для віддалей від джерела до 100 м також потребує розв'язання.

Метою роботи є розроблення алгоритму для визначення інтенсивності виділення пилу дробарками та дослідження закономірностей його розсіювання в робочій зоні дробильного обладнання.

Викладення результатів експериментальних та аналітичних досліджень. Для обґрунтування алгоритму визначення інтенсивності виділення пилу дробаркою розглянемо схему утворення пилу дробарками типу Nordberg (рис. 1). З рис. 1 видно, що при подрібненні граніту дробаркою можна виділити три джерела пилiння: приймальний бункер (завантаження гранітної маси), процес подрібнення та вивантаження подрібненої породи на конвеєр.

Отже, для визначення інтенсивності виділення пилу при подрібненні $Q_{др}$ гірничої маси необхідно врахувати три джерела:

$$Q_{др} = Q_{зав} + Q_{подр} + Q_{вив}, \quad (2)$$

де $Q_{зав}$ – інтенсивність виділення пилу при завантаження гірничої маси в приймальний бункер дробарки, г/с; $Q_{подр}$ – інтенсивність виділення пилу під час подрібнення гірничої маси, г/с; $Q_{вив}$ – інтенсивність виділення пилу при вивантаженні подрібненої гірничої маси на конвеєрну стрічку, г/с.

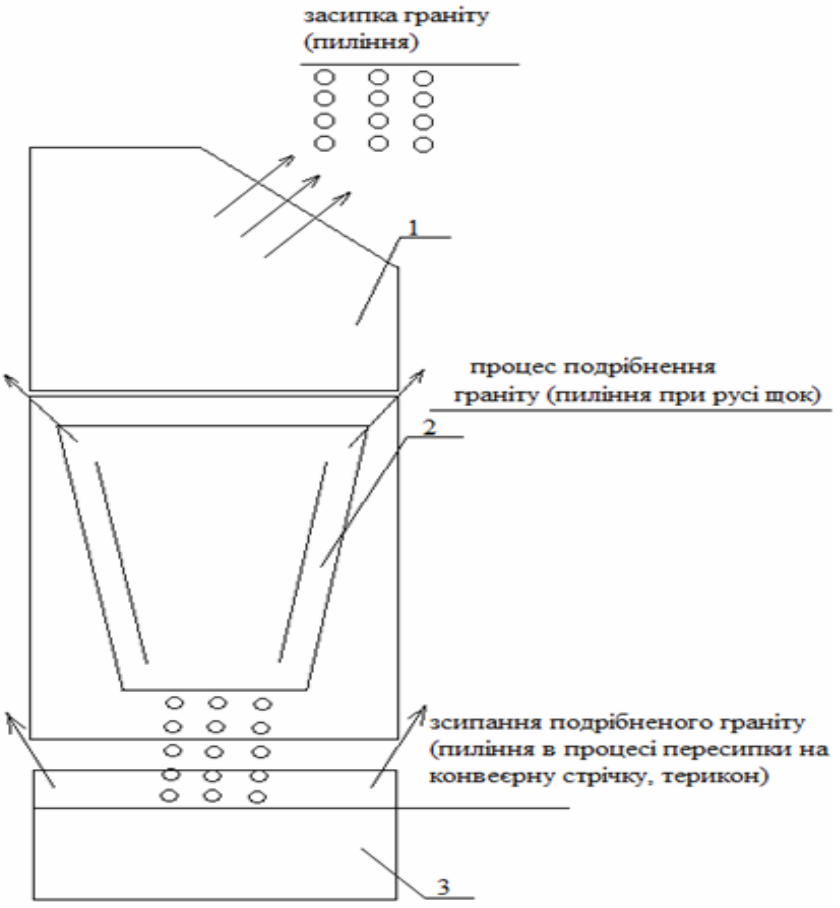

Рис. 1. Схема виділення пилу при подрібненні граніту дробаркою «Nordberg»: *1* – приймальний бункер дробарки; *2* – робоча частина дробарки; *3* – конвеєрна стрічка

Для визначення інтенсивності утворення пилу при завантаженні та вивантаженні гранітної маси використано формулу [3]:

$$Q_{зав} = Q_{вив} = \frac{k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5 \times k_6 \times G \times 10^6 \times \quad /}{3600}, \quad (3)$$

де k_1 – вагова частка пилової фракції в матеріалі (для граніту – 0,02, для щебеню – 0, 04); k_2 – частка пилу, що переходить у аерозоль з розмірами частинок 0–50 мкм відносно всієї кількості пилу в матеріалі (для граніту – 0,04,

для щебеню – 0,02); k_3 – коефіцієнт, що враховує швидкість вітру в робочій зоні; k_4 – коефіцієнт, що враховує місцеві умови (для відкритих з усіх сторін кар'єрів $k_4 = 1$); k_5 – коефіцієнт, що враховує вологість матеріалу (для граніту $k_5 = 1$); k_6 – коефіцієнт, що враховує фракційний склад матеріалу; G – продуктивність дробарки, т/год; B' – коефіцієнт, що враховує висоту падіння матеріалу.

Інтенсивність утворення пилу в процесі подрібнення гранітної маси пропонується розраховувати за формулою

$$Q_{\text{подр}} = \frac{k_{\text{д}} \cdot G \cdot 10^6}{3600}; \qquad k_{\text{д}} = \frac{d_{\text{в}}}{d_{\text{з}}}, \tag{4}$$

де $k_{\text{д}}$ – коефіцієнт подрібнення (відношення діаметра куска подрібненої породи $d_{\text{в}}$ до діаметра куска породи, що надходить в приймальний бункер дробарки для подрібнення $d_{\text{з}}$).

Таким чином, формули (2)–(4) дозволяють розраховувати інтенсивність виділення пилу при подрібненні гранітної маси дробарками, з урахуванням всіх етапів процесу подрібнення – від завантаження гранітної маси в приймальний бункер до вивантаження подрібненої породи на стрічку конвеєра.

Дослідження процесу розсіювання пилу в робочій зоні дробарки виконувались шляхом вимірювання концентрацій пилу в діапазоні віддалей від 1 до 100 м від джерела викиду за напрямком вітру [2–4, 6–9].

Вимірювання концентрацій пилу проводилось при таких умовах: середня швидкість вітру V = 1…11 м/с, вологість повітря w = 86 %; температура навколишнього середовища 10,6 °С, стабільність атмосфери – D (ізотермія – з швидкістю вітру від 3 м/с, в нічний час, при > 50 % хмарності).

Потім для кожної точки вимірювання з урахуванням фактичних значень концентрації пилу в цій точці, швидкості вітру, інтенсивності виділення пилу, висоти джерела та швидкості виділення запиленого повітря з свердловини з використанням відомих формул [9–11] було розраховано коефіцієнти горизонтального σ_y і вертикального σ_z розсіювання. Результати розрахунків коефіцієнтів розсіювання наведено на рис. 2–3.

З рис. 2–3 видно, що в ближній (робочій) зоні дробильного обладнання спостерігаються дві зони з принципово різними значеннями коефіцієнтів горизонтального та вертикального розсіювання. Для коефіцієнта горизонтального розсіювання σ_y чітко виділяється дві зони. В першій зоні (від 0 до 10 м) була відмічена різниця між розрахованими за відомими залежностями [6–8, 10, 11] і виміряним значенням коефіцієнтів майже в 10 разів при однаковому лінійному характері залежності від віддалі до джерела пилоутворення. В другій зоні (15…60 м) характер залежності коефіцієнта σ_y змінюється і стає близьким до логарифмічного рівняння, тобто значення коефіцієнтів горизонтального розсіювання σ_y, отримані з використанням результатів вимірювань і визначені традиційним способом [6–8, 10, 11], розрізняються мало.

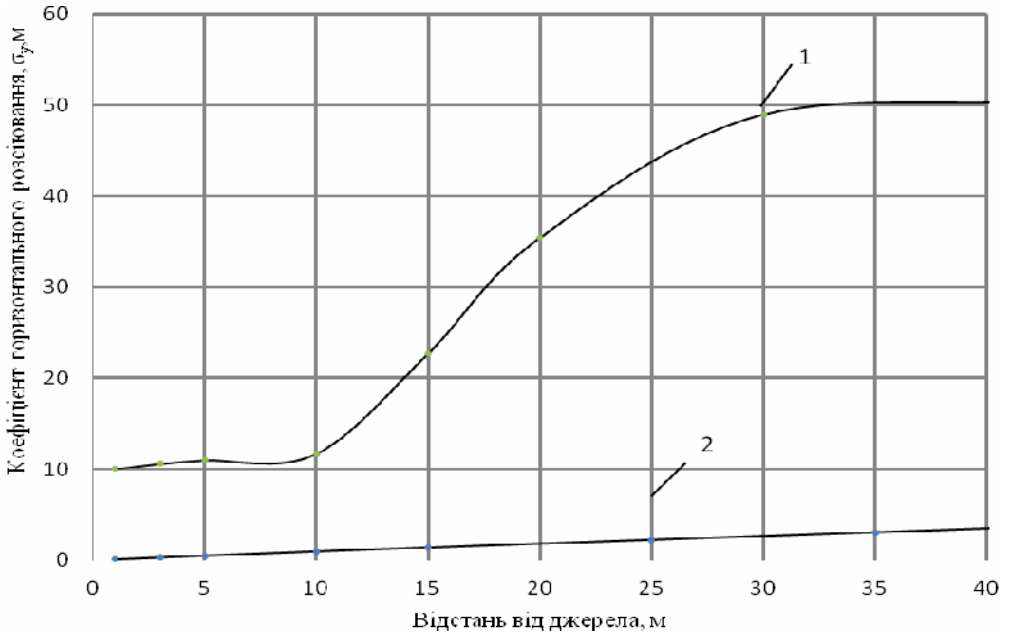

Рис. 2. Залежність коефіцієнта горизонтального розсіювання від віддалі за напрямком вітру: *1* – розраховано за результатами вимірювань; *2* – розраховано за емпіричними формулами [6–8, 10, 11]

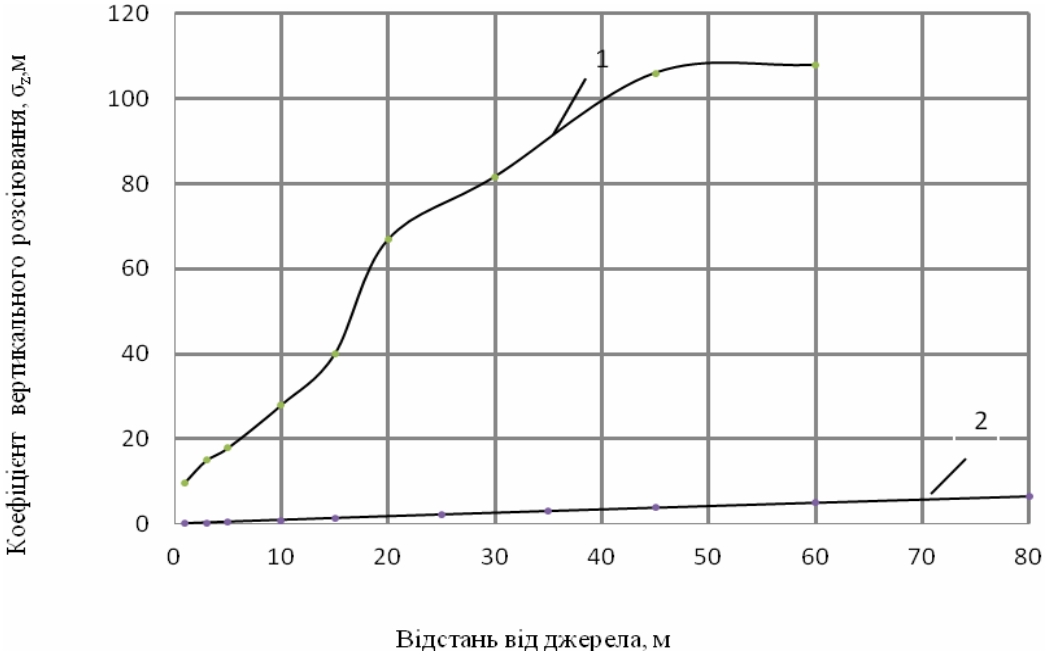

Рис. 3 Залежність коефіцієнта вертикального розсіювання від віддалі за напрямком вітру: *1* – розраховано за результатами вимірювань у першій серії; *2* – розраховано за емпіричними формулами [6–8, 10, 11]

Для коефіцієнта вертикального розсіювання σ_z також можна виділити зони. Перша зона – від 0 до 15 м, де спостерігається різниця між розрахованими за відомими залежностями [6–8, 10, 11] та виміряними значеннями коефіцієнтів майже в 20 разів, при різних характерах залежностей. В другій зоні (15–60 м), характер залежності коефіцієнтів подібний, залежності апроксимуються степеневими рівняннями. Різниця між значеннями коефіцієнтів становить майже 60 разів, тобто коефіцієнти вертикального розсіювання σ_z, отримані за

результатами вимірювань і розраховані, суттєво розрізняються за абсолютними значеннями та за формою залежності від відстані, що істотно впливає на розсіювання пилу в робочій зоні дробильного обладнання.

Нижче наведено залежності коефіцієнтів розсіювання σ_y, σ_z в діапазоні віддалей до джерела пилоутворення 1–100 м:

значення σ_y, σ_z розраховано за емпіричними формулами [5, 8, 9]

$$\sigma_y = 0{,}082x + 0{,}111,\ R^2 = 0{,}999;$$
$$\sigma_z = 0{,}109x^{0.936},\ R^2 = 1; \qquad (5)$$

експериментальні значення σ_y, σ_z:

$$\text{до 10 м:}\ \ \sigma_y = 0{,}179x + 9{,}975,\ R^2 = 0{,}969;$$
$$\text{до 15 м:}\ \ \sigma_z = 2{,}103x + 7{,}824,\ R^2 = 0{,}996;$$
$$\text{10–60 м:}\ \ \sigma_y = 25{,}81\ln(x) - 45{,}18,\ R^2 = 0{,}953;$$
$$\text{15–60 м:}\ \ \sigma_z = 16{,}83x^{0{,}465},\ R^2 = 0{,}954. \qquad (6)$$

На рис. 4 видно, що значення, отримані в результаті вимірювань і розраховані за допомогою уточнених коефіцієнтів розсіювання, майже збігаються, що підтверджує правильність отриманих уточнених значень коефіцієнтів розсіювання. При розрахунку залежності концентрацій пилу від віддалі при подрібненні гранітної маси з уточненими коефіцієнтами розсіювання σ_y, σ_z, використано формули (2)–(4), що підтверджує їх адекватність та можливість використання для розрахунку інтенсивності викиду при подрібненні гірничої маси дробарками.

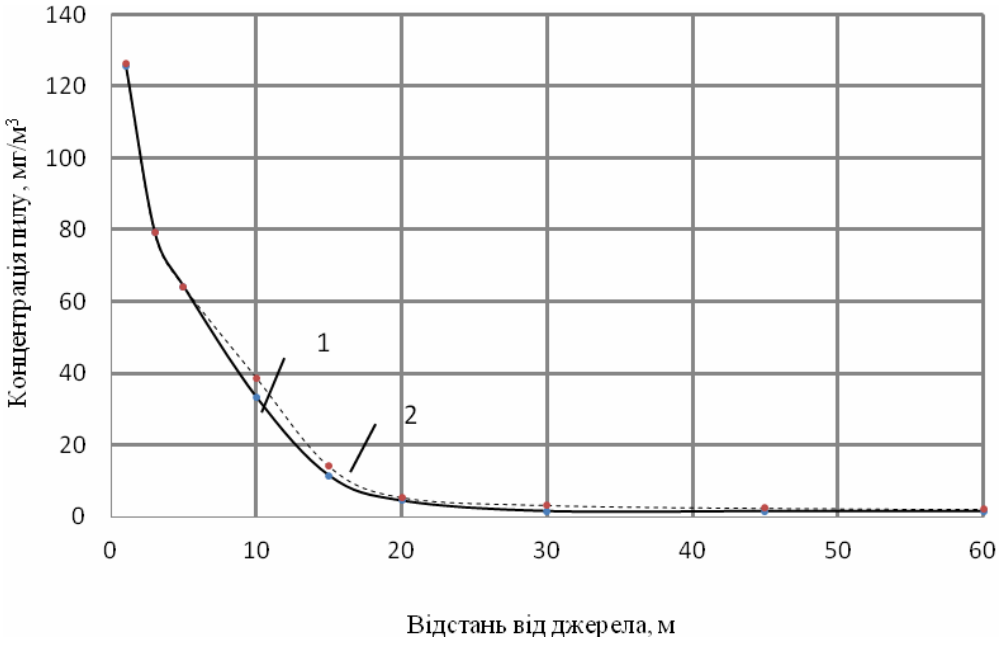

Рис. 4. Залежності концентрацій пилу від віддалі при подрібненні гранітної маси: *1* – значення вимірювань; *2* – розраховані за методом Гауса з урахуванням уточнених коефіцієнтів розсіювання σ_y, σ_z

Висновки. Отримано алгоритм оцінки пилової безпеки при подрібненні гранітних порід дробарками, який включає формули для розрахунку сумарної

інтенсивності виділення пилу дробаркою (2)–(4) та відому модель розсіювання домішок в атмосферному повітрі з урахуванням специфіки розсіювання пилу в робочих (ближніх) зонах, що забезпечує отримання оперативних оцінок концентрації пилу в залежності від технологічних та метеорологічних параметрів. Це в свою чергу дозволяє управляти процесами утворення та розсіювання пилу біля дробарки.

1. *Калмыков А. В.* Обеспыливание дробильных цехов / А. В. Калмыков. – М.: Недра, 1976. – 207 с.

2. *Методическое пособие* по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов. – Минстройматериалов. – 1985. – 37 с.

3. *Методическое пособие* по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов. – Новороссийск: ЗАО «НИПИОТСТРОМ». – 2000. – 41 с.

4. *Сборник методик* по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. – Л.: Гидрометиздат, 1986. – 183 с.

5. *Гурін А. О.* Аерологія гірничих підприємств / А. О. Гурін, П. В. Бересневич, А. А. Немченко. – Кривий Ріг: Видавництво КТУ, 2007. – 462 с.

6. *Generic Models* and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases. Exposures of critical groups. IAEA Safety Series N 57. – Vienna: IAEA, 1982. – 217 p.

7. *Pasquill F.* Atmospheric diffusion. – 2-nd ed. – NJ: John Wiley and Sons, 1975. – 98 p.

8. *Gifford F.* Statistical properties of a fluctuation plume model // Adv. Geophys. – 1959. – 117 p.

9. *Водяник А. О.* Специфіка моделювання розсіювання пилу при бурінні підривних свердловин у кар'єрі / А. О. Водяник, Л. А. Сербінова // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. – Вип. 21. – С. 137–143.

10. *Берлянд М. Е.* Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере / М. Е. Берлянд. – Л.: Гидрометиздат, 1983. – 328 с.

11. *Briggs G.* 1969 Plume rise. – USA EC Division of Tech. Information Extension (TID-25075). – 76 p.

Надійшло до редакції 15.10.2012 р.

Рекомендовано до друку докт. техн. наук О. Є. Лапшиним