

УДК 625.032.43

В.Є. Лютенко<sup>1</sup>, к.т.н., доц.,А. А.Копитов<sup>1</sup>, магістрант

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

## РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РУЧНОГО ВІБРОКОТКА ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ ТА ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ

**АНОТАЦІЯ.** *Наведено результати досліджень розробленого ручного віброкотка для ущільнення ґрунтів та дорожніх покриттів.*

*Визначені основні конструктивні параметри ручного віброкотка. Створена математична модель віброкотка з приводом від електродвигуна, а також виконано експериментальне дослідження для визначення вібропереміщень та віброшвидкостей при різних швидкостях обертання дебалансного валу і різних масах дебалансів.*

*За результатами теоретичних досліджень та конструкторських розроблень виготовлений ручний віброкоток.*

**Ключові слова:** *вібрація, віброущільнення, віброкоток, віброплита, будівництво.*

**ABSTRACT.** *The results of research of work hand vibrator for ground and pavement compaction are presented.*

*Defines the main design parameters of the manual vibrating compactor. A mathematical model of vibrating compactor with a drive from the electric motor, as well as carried out a pilot study to determine the vibration displacements and vibration velocities for different velocities for unbalanced shaft and different for unbalanced mass.*

*According to the results of theoretical studies is made the manual vibrating compactor.*

**Key words:** *vibration, vibrocompaction, vibrator, vibroplate, construction.*

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Одна з найважливіших операцій на будівництві будь-якого земляної споруди - ущільнення. Від якості виробництва цієї операції залежать не тільки міцність, стійкість, водонепроникність споруди, а й рівність покриття, термін його служби і безпека руху. Недоущільнення веде до численних пошкоджень дорожніх покриттів на пових дорогах, а отже, до непродуктивних витрат людських, матеріальних та енергетичних ресурсів [1–2, 5–6, 7]. Разом з тим ущільнення є порівняно недорогим процесом. Так, витрати на його здійснення складають всього 0,7-1,0% загальної вартості дорожнього будівництва.

Мета ущільнення - отримання щільної і міцної структури ґрунту, здатної падали протистояти зовнішнім впливам, які матимуть місце під час служби інженерних споруд.

Ущільнення широко застосовується при всіх видах дорожнього будівництва. Для ущільнення ґрунтів вітчизняною промисловістю випускаються різні машини і обладнання. Номенклатура цих машин безперервно розширюється. Росте також і їх потужність. При цих умовах дуже важливим є питання підвищення продуктивності та якості роботи, що можливе лише при правильному виборі загальних конструктивних схем машин та їх параметрів. Такий вибір повинен здійснюватись у повній відповідності з фізико-механічними властивостями ущільнювальних ґрунтів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання цієї проблеми та на які спирається автор, виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Вібування є прогресивним методом ущільнення, що отримує значне розповсюдження. Цим і пояснюється наявність у цей час великої кількості різних типів вібромашин. Відсутність ж уточненої класифікації розмаїття сучасних вібраційних машин для поверхневого ущільнення будівельних матеріалів та сумішей ускладнює їхній вибір виробничниками при виконанні певних робіт.



Як правило, під час роботи всі вібраційні машини для поверхневого ущільнення мають незмінні, заздалегідь налагоджені режими вібрації [1–3, 5], що ускладнює їхню експлуатацію. Тому розроблення та дослідження ручного віброкотка зі змінними режимами роботи дозволить покращити умови його експлуатації та підвищити продуктивність виконуваних робіт.

**Метою даної статті є** розроблення ручного віброкотка та висвітлення результатів дослідження при змінних режимах його роботи.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.** Рух робочого органу ударно-вібраційної машини на протязі одного періоду чітко розділяється на два етапи: рух у повітрі і рух в контакт з ґрунтом. Повна схематизація процесу ущільнення ґрунту повинна описувати зміни фізико-механічних властивостей ґрунту в ході ущільнення, давати на цій основі критерій об'єктивної оцінки ступеня ущільнення і забезпечувати отримання рівнянь руху ущільнюючої машини. Для дослідження динаміки вібраційно-ущільнюючої машини вдаються до простих моделей, що дає можливість ефективного вирішення задачі.

Найпростішу вібромашину до якої можна віднести віброкоток, можна схематично представити у вигляді тіла яке під дією вимушеної сили впливає на ґрунт (рис. 1) [1].

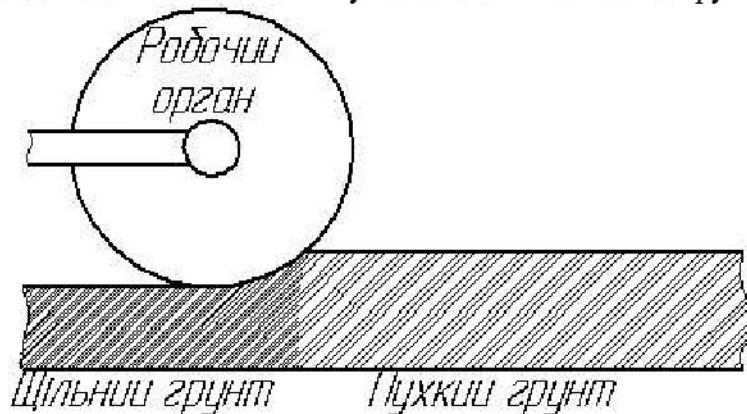


Рис. 1. Проста динамічна модель, що відображає процес ущільнення

При дослідженні динаміки ущільнюючої машини з метою визначення її основних параметрів можна скористатися більш абстрактним підходом, розглядаючи тільки початкові і кінцеві умови взаємодії робочого органу машини з ґрунтом і не розглядаючи весь процес в цілому. Ці умови визначаються координатою і швидкістю робочого органу з ґрунтом і тривалістю  $\Delta t$  цього контакту [1, 8-9].

Розглянемо вертикальну складову руху ущільнюючої машини.

Швидкість робочого органу в момент положення дєбаланса в крайній верхній точці, виражаємо через швидкість зіткнення з ґрунтом  $t_0$ .

$$\dot{x}(t_0 + \Delta t) = -R_1 \dot{x}(t_0), \quad (1)$$

Оскільки знаки швидкості в моменти дотику і відриву протилежні, то коефіцієнт  $R_1$  завжди додатній. У разі найпростішої моделі однорідної ущільнюючої машини масою  $m$ , до неї прикладена змушуюча сила  $F_a \cos[(\omega t) + \varphi]$  і постійна сила  $P$  - сила тяжіння (рис. 2).

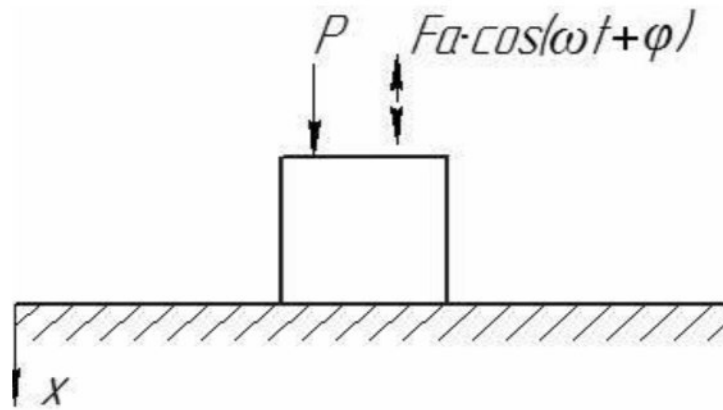


Рис. 2. Схема простої однорідної ущільнюючої машини

Рух машини при крайній верхній точці дебаланса описується рівнянням

$$\frac{md^2x}{dt^2} = P + F_a \cos(\omega t + \varphi) \quad \frac{md^2x}{dt^2} = P + F_a \cos[(\omega t) + \varphi], \quad (2)$$

з якого виходить

$$\ddot{\xi} = p + \cos[(\tau) + \varphi], \quad (3)$$

де  $p$  – визначається рівністю

$$p = \frac{P}{F_a}, \quad (4)$$

тоді

$$\ddot{\xi}(\tau_0 + \Delta\tau) = -R_1 \ddot{\xi}(\tau_0), \quad (5)$$

де

$$\tau_0 = \omega t_0; \quad (6)$$

$$\Delta\tau = \omega \Delta t. \quad (7)$$

При вимушеному русі вібраційні системи можуть встановитися якісно різні режими залежно від параметрів системи, а іноді і від початкових умов руху. Якщо обмежитися тільки найпростішими режимами, але практично важливими: одноударний (за один період коливань - один удар) без шумок кішцевої діяльності при  $\Delta\tau = 0$ , то значення параметра  $p$  для кожного  $\nu$  лежить в інтервалі

$$\frac{(1+R)^2}{\sqrt{4(1+[R])^2 + (1-[R])^2 \pi^2 \nu^2}} \leq p \leq \frac{1+R}{(1-R)\pi\nu}, \quad (8)$$

де  $\nu=1, 2, 3, \dots$  відношення частоти вимушеної сили до частоти ударів;

Ручний віброкоток можна віднести до поверхневих вібротомашин з коловими коливаннями [2].

Необхідна вимушуючи сила  $F$ ,  $H$  для приведення в коливальний рух ґрунту (асфальтобетонної суміші) визначається за формулою:

$$F(t) = M_{z\bar{z}} \cdot j, \quad (9)$$

де  $M_{z\bar{z}}$  – зведена маса, що коливається, кг. Це маса металоконструкції вібротомашини та тієї частини суміші (ґрунту), що в даний момент тисне на робочий орган (призма волочіння);

$j$  – віброприскорення гармонічних коливань,  $m/c^2$ .

$$j = a \cdot \omega_1^2, \quad (10)$$



де  $a$  – амплітуда коливань, м;  $\omega_1$  – частота коливань, системи суміш-віброкоток,  $c^{-1}$ ;

$$a = \frac{m}{M} \cdot r, \quad (11)$$

де  $m$  – сумарна маса дебалансів, кг;  $M$  – маса всього вібратора, кг;  $r$  – ексцентриситет дебалансів, м.

Необхідну вимушуючу силу  $F$  за формулою 9 створює електродвигун.

Силу електродвигуна виразимо диференційною залежністю [3]

$$F(t) = A_0 u + A_1 \dot{F}(t) + A_2 u^2 \phi_1, \quad (12)$$

де  $\phi_1$  – кутове переміщення дебалансного вала, град;  $u$  – передавальне число трансмісії вібромашини;  $A_0, A_1, A_2$  – постійні електродвигуна.

Значення постійних визначається виразами:

$$A_0 = \frac{2 \cdot M_k}{S_k}; \quad A_1 = \frac{1}{\omega_0 \cdot S_k}; \quad A_2 = \frac{2 \cdot M_k}{\omega_0 \cdot S_k}, \quad (13)$$

де  $M_k$  – критичний момент електродвигуна;  $S_k$  – критичне ковзання ротора;  $\omega_0$  – синхронна кутова швидкість електродвигуна;  $t$  – час, с.

Тоді математичну модель віброкотка запишемо:

$$M_{zv} \cdot \frac{m}{M} \cdot r \cdot \omega_1 = F(t) = u \cdot (A_0 u + A_1 \dot{F}(t) + A_2 u^2 \cdot \phi_1), \quad (14)$$

Визначимо значення частоти коливань системи суміш-віброкоток

$$\omega_1 = u \cdot \omega, \quad (15)$$

тоді прискорення буде

$$\dot{\omega}_1 = u^2 \cdot \omega^2 \cdot \cos \omega \cdot t, \quad (16)$$

де  $\omega$  – частота коливань вібратора (дебалансного вала віброкотка).

Тоді підставивши значення  $\dot{\omega}_1$  у систему диференціальних рівнянь (14) отримаємо:

$$M_{zv} \cdot \frac{m}{M} \cdot r \cdot u^2 \cdot \omega^2 \cdot \cos \omega t = F(t); \quad (17)$$

$$F(t) = u \cdot (A_0 u + A_1 \dot{F}(t) + A_2 u^2 \cdot \phi_1). \quad (18)$$

Для зручності рішення на ЕОМ системи рівнянь (18) числовим методом Рунге-Кутта приводимо її до такого вигляду:

$$\dot{\phi}_1 = \omega_1, \quad (19)$$

$$\dot{\omega}_1 = 1,21 \cdot F; \quad (20)$$

$$F = -\frac{A_2 u}{A_1} \cdot \omega_1 + \frac{1}{A_2} \cdot F(t) - \frac{A_0 \cdot u}{A_1}. \quad (21)$$

Метою експериментальних досліджень спроектованого і виготовленого ручного віброкотка було: визначення вібропереміщень (амплітуд коливань), віброшвидкостей, а також – частот коливань при різних швидкостях обертання дебалансного вала і різних масах дебалансів.

Конструкція віброкотка передбачає дві швидкості обертання дебалансного вала (1000 і 1500 об/хв.), а також можливість зміни дебалансів з різною вагою (5 різних дебалансів від  $m_5=1,06$  Н до  $m_1=5,74$  Н).

Характеристика і значення параметрів віброкотка, які змінювалися при виконанні експерименту приведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

## Значення конструктивних параметрів віброкотка

№	Найменування параметрів	Одиниці вимірювання	Значення параметрів
1	Швидкість обертання віброваду, $V_i$	об/хв	$V_1=1000$ ; $V_2=1500$ .
2	Вага дебалансів, $m_i$	Н	$m_1=5,74$ ; $m_2=2,94$ ; $m_3=1,28$ ; $m_4=1,18$ ; $m_5=1,06$ .
3	Ексцентриситет дебалансів, $r$	мм	33

Експериментальне дослідження проводилось наступним чином.

Спочатку встановлювали, за допомогою відповідних шківів (шківа електродвигуна і великого шківа дебалансного вала) і клинового паса швидкість  $V_1=1000$  об/хв. При цих обертах дебалансного вала при різній вазі дебалансів ( $m_1..m_5$ ) здійснювалось вимірювання вібропереміщень і віброшвидкостей.

Вимірювання вібропереміщень і віброшвидкостей виконувалось за допомогою тензометричної станції ТС-8 та вимірювального приладу ВПІ-2. Отримані результати показані в табл.2.

Таблиця 2.

Значення параметрів віброкотка отриманих в результаті вимірювання при швидкості обертання дебалансного вала  $V_1=1000$  об/хв.

Найменування параметрів	Одиниці вимірювання	Числові значення
<b>Вібропереміщення</b>		
При вазі дебалансів:	мкм	
$m_1=5,74$ Н		966,6
$m_2=2,94$ Н		466,6
$m_3=1,80$ Н		76,6
$m_4=1,28$ Н		33,3
$m_5=1,06$ Н		26,6
<b>Віброшвидкість</b>		
При вазі дебалансів:	мм/с	
$m_1=5,74$ Н		24,3
$m_2=2,94$ Н		7,2
$m_3=1,80$ Н		2,25
$m_4=1,28$ Н		1,8
$m_5=1,06$ Н		1,7

Потім встановлювали швидкість  $V_2=1500$  об/хв. шляхом перестановки паса на менший шків дебалансного вала.

Також вимірювали вібропереміщення і віброшвидкість станцією ТС-8 та приладом ВПІ-2 при різних установах дебалансів ( $m_2..m_5$ ). Дебаланс  $m_1$  не використовувався при вимірюванні вібропереміщення, так як віброкоток при цьому почав працювати в режимі вібромолота. Отримані результати показані в таблиці 3.

На рисунках 3 – 6 нами побудовані графіки змін вібропереміщень і віброшвидкостей при двох швидкостях обертання дебалансного вала  $n_1=1000$  об/хв. і  $n_2=1500$  об/хв.. Із графіків видно, що зі збільшенням ваги дебалансів збільшуються значення вібропереміщень і віброшвидкостей.

Результати експериментальних досліджень підтверджують достовірність теоретичних досліджень віброкотка.

Частоту вібрації віброкотка можна визначити по отриманих результатам вібропереміщень і віброшвидкостей за формулою:

$$\lambda = \frac{V_{\max}}{2\pi \cdot a} \quad (22)$$

де  $a$  – вібропереміщення (амплітуда коливань);  $V_{\max}$  – віброшвидкість.



Таблиця 3.

Значення параметрів віброкотка отриманих в результаті вимірювання при швидкості обертання дебалансного вала  $V_1=1500$  об/хв.

Найменування параметрів	Одиниці вимірювання	Числові значення
<b>Вібропереміщення</b>		
При вазі дебалансів:	мм	
$m_2=2,94$ Н		500
$m_3=1,80$ Н		250
$m_4=1,28$ Н		235
$m_5=1,06$ Н		160
<b>Віброшвидкість</b>		
При вазі дебалансів:	мм/с	
$m_1=5,74$ Н		79
$m_2=2,94$ Н		31
$m_3=1,80$ Н		17,5
$m_4=1,28$ Н		11,4
$m_5=1,06$ Н	9,6	

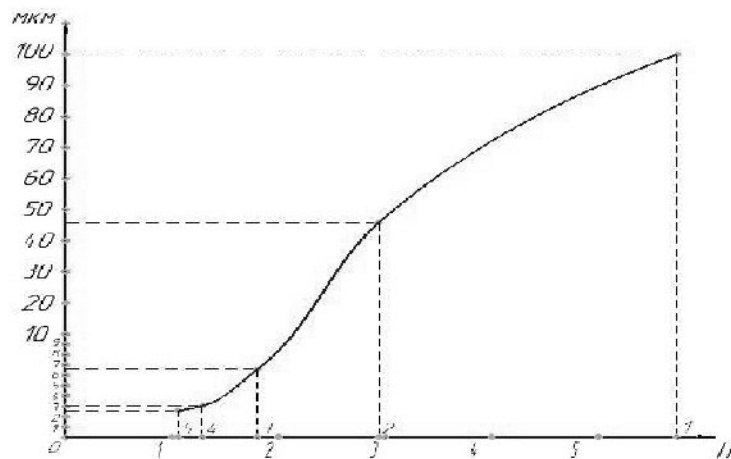


Рис. 3. Графік зміни вібропереміщень при швидкості обертання дебалансного вала  $n_1=1000$  об/хв: 1, 2, 3, 4, 5 – дебаланси різної ваги

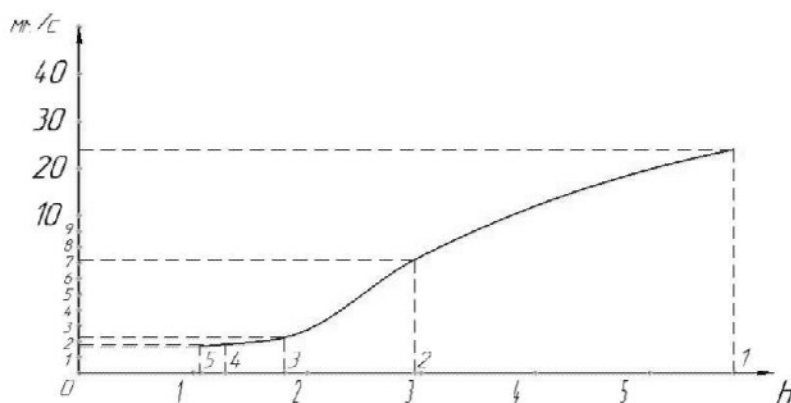


Рис. 4. Графік зміни віброшвидкостей при швидкості обертання дебалансного вала  $n_1=1000$  об/хв: 1, 2, 3, 4, 5 – дебаланси різної ваги

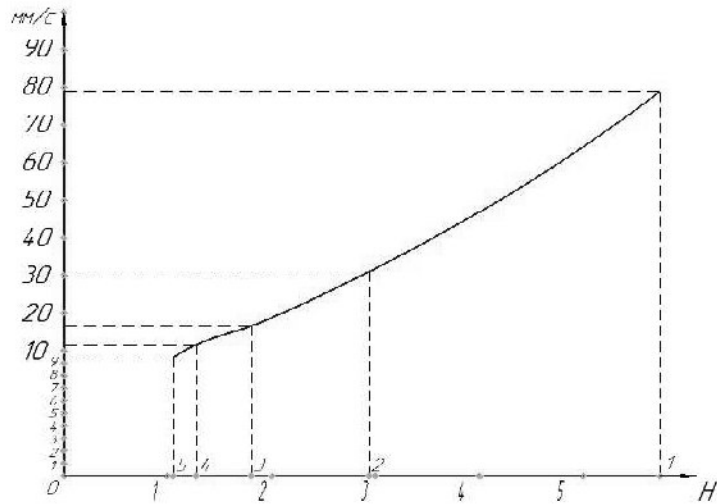


Рис. 5. Графік зміни віброшвидкостей при швидкості обертання дебалансного вала  $n_2 = 1500$  об/хв:  
1, 2, 3, 4, 5 –дебаланси різної ваги

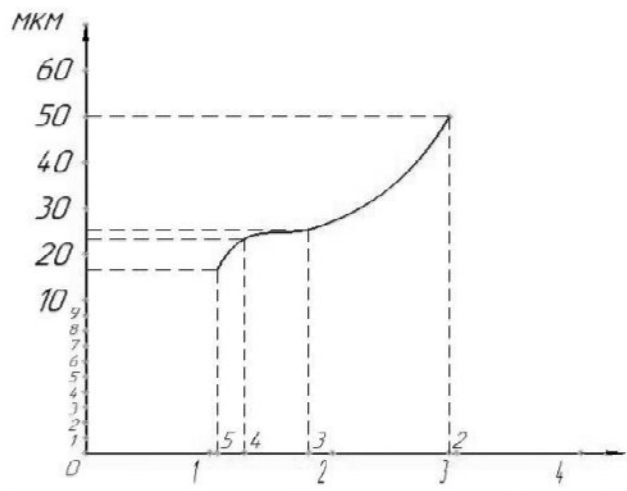


Рис. 6. Графік зміни вібропереміщень при швидкості обертання дебалансного вала  $n_2 = 1500$  об/хв:  
1, 2, 3, 4, 5 –дебаланси різної ваги.

За результатами теоретичних досліджень та конструкторських роз-роблень був виготовлений ручний віброкоток (рис. 7).



Рис. 7. Ручний віброкоток для ущільнення ґрунтів та дорожніх покриттів

**Висновки.**

1. У ході виконання роботи був, розроблений, виготовлений та досліджений ручний віброкоток для ущільнення ґрунтів та дорожніх покриттів.
2. Для досягнення поставленої мети зроблено наступне:
  - проведено аналіз існуючих конструкцій та видів ручної вібротехніки;
  - визначені основні конструктивні параметри ручного віброкотка;
  - розроблено математичні моделі віброкотка як простої ущільнюючої машини та ручного віброкотка з приводом від електродвигуна;
  - виконано експериментальне дослідження для визначення: вібропереміщень та віброшвидкостей при різних швидкостях обертання дебалансного вала і різних масах дебалансів.

*Література*

1. Бауман В.А. Вибрационные машины и процессы в строительстве: учебное пособие для студентов строительных автомобильно-дорожных вузов / В.А. Бауман, И.И. Быховский. – М.: Высшая школа, 1977. – 255 с.
2. Миклашевский Е.П. Глубинное вибрирование бетонной смеси / Е.П. Миклашевский. – М.: Стройиздат., 1981. – 280 с.
3. Лютенко В.Є. Монтаж і пересування бурових вишок і блоків: монографія. – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – 200 с.
4. Сівко В.Й. Механічне устаткування підприємств будівельних виробів: підручник / Сівко В.Й. – К.: ІСДО, 1994. – 360 с.
5. Артемьев К.А. Дорожные машины. Часть 2. Машины для устройства дорожных покрытий / К.А. Артемьев. – М.: Машиностроение, 1980. – 320 с.
6. Строительные машины: справочник / под ред. В.А. Баумана и Ф.А. Лапира, Т.1. – М.: Машиностроение, 1976. – 502 с.
7. ВБН В.2.3-218-171-2002: Споруди транспорту. Спорудження земляного полотна автомобільних доріг / Укравтодор. – К., 2002. – 48 с.
8. Ueda Y. Some problems in the theory of nonlinear oscillation / Y Ueda. – Osaka.: Nippon Printing and Publishing Co., 2012. – 380 p.
9. Nishikawa Y. A contribution to the theory of nonlinear oscillations / Y Nishikawa. – Osaka.: Nippon Printing and Publishing Co., 2013. – 400 p.

Надійшло до редакції 5.08.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Яковенко В.Б.