



Машина і обладнання технологічних процесів будівельної індустрії

УДК 666.97.003.16

І.І. Назаренко, д.т.н., професор КНУБА,

М.П. Нестеренко, д.т.н., професор. ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАГАЛЬНОЇ ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ «ТЕХНОЛОГІЧНА МАШИНА ДЛЯ БУДІВЕЛЬНОЇ ІНДУСТРІЇ – ОБРОБЛЮВАНЕ СЕРЕДОВИЩЕ»

АНОТАЦІЯ. Викладено методику досліджень загальної динамічної моделі «технологічна машина для будівельної індустрії – оброблюване середовище».

Ключові слова: технологічна машина для будівельної індустрії, оброблюване середовище, математична модель.

ANNOTATION. Shown the research methodology general dynamic model of «technological machine building industry – processed medium».

Keywords: technological machines for the building industry, the processed environment, mathematical model.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями. Вимоги до ефективності технологічних машин для сучасної будівельної індустрії постійно зростають. Тому у світовій практиці знаходять застосування технічно складніші та більш трудомісткі у виготовленні машини для розв'язання завдань високотехнологічних виробництв. Тому отримання параметрів машини для будівельної індустрії, що адекватно відображають реальний процес, повинно визначатися достатньо коректними допущеннями і передумовами при виборі та обґрунтуванні моделі досліджуваної системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми. На даний час запропоновано різні моделі, які застосовуються при дослідженні оброблюваних середовищ, проте відсутній загальноприйнятий підхід до вибору цих моделей. У роботі [1] наводиться критерій, який обумовлює принцип вибору моделі на прикладі вібруючого матеріалу у вигляді співвідношення часу розповсюдження хвиль t і періду коливаний системи T

$$t < T, \quad (1)$$

$$t \geq T. \quad (2)$$

Відмічається наступне. При $t = h/c$, де h – висота шару суміші, що ущільнюється, c – швидкість розповсюдження хвиль у напрямку прикладення сили, а $T = 2\pi/\omega$, ω – колова частота вібрації, тоді при умові (1) фаза коливаний практично не змінюється, що в результаті означає розподіл параметрів процесу (наприклад, амплітуди коливаний) без зміни за знаком. Якщо фаза прискорення частинок у шарі середовища співпадає з фазою вимушуючої сили, тоді середовище веде себе як абсолютно тверде тіло і пружними властивостями можна знехтувати. Якщо процес є таким, що переміщення частинок шару співпадає по фазі із вимушуючою силою, то система веде себе як ідеальна пружність, вплив маси на характер вимушених коливаний є незначним.

Якщо виконується умова (2), тобто лінійні розміри шарів суміші, по яких розповсюджуються хвилі стануть рівними або більшими за довжину хвилі λ (де $\lambda = c/T$), то в цьому випадку шляхом відбиття хвиль від границь, суперпозицією хвиль виникає складне хвильове поле з визначеним розподілом фаз. І в такому випадку суміш необхідно розглядати як систему з розподіленими параметрами. Якщо у якості прикладу

застосування (1 – 2) взяти реальні числові значення: $h = 0,5$ м; $c = 50$ м/с; $f = 50$ Гц, отримаємо, що $t = 0,01$ с; $T = 0,02$ с, тобто справедливою є умова (1), яка передбачає дискретну модель, а використання (2) є справедливим за значенням $h \approx 1,0$ м. Однак у реальних дослідженнях [2, 3] хвильові явища в рамках $h \approx 0,4 \dots 0,6$ м. Вочевидь, критерії (1 і 2) справедливі для абсолютно пружних систем, коли хвиля не змінює своєї форми, хоча сам підхід викликає певний інтерес. Важливим фактором вибору моделі є визначення впливу пружно-інерційних чи дисипативних сил на режим та параметри процесу роботи вібросистеми. У більшості випадків машини працюють у зарезонансній зоні, яка відзначається суттєвою стабільністю свого руху, а цей режим визначається пружно-інерційними силами, що є основою для дискретних моделей. Таким чином математична модель суміші приймається як така, що відповідає співвідношенню (2) у загальній математичній моделі і співвідношенню (1) для часткових. (за висотою виробу, що формується $h \leq 0,25$ м). Необхідно відмітити ту обставину, що суттєвою особливістю досліджуваних вібраційних систем є те, що технологічне навантаження (сумарна маса виробу і форми) на робочий орган вібромашини (рама або блоки) одного порядку за числовими значеннями мас. Ця особливість ставить серйозні вимоги до визначення масових характеристик і пряма заміна пружно-в'язко-пластичної моделі середовища еквівалентною дискретною може привести до непередбачуваних похибок і неточностей у розрахунках.

Метою даної роботи є викладення методики досліджень загальної динамічної моделі «машина для будівельної індустрії – оброблюване середовище».

Виклад основного матеріалу дослідження. У роботі [1] подібна заміна обумовлюється ситуацією, коли висота суміші менша чверті довжини хвилі деформації, що в загальному підході є наближеним до умови (1). Узагалі співвідношення (1) як і (2) для більшої наглядності варто привести у відповідність співвідношень висоти стовпа суміші h і довжини хвилі λ у вигляді: $h / \lambda < 1$ і $h / \lambda > 1$.

Для умови $h / \lambda \ll 1$ еквівалентна маса суміші, що характеризує величину реактивного опору у загальній математичній моделі [1] має вигляд:

$$m_{\text{екв}} = Esh / c^2, \quad (3)$$

де E – модуль пружності суміші;

s – площа шару суміші;

h – висота шару суміші;

c – швидкість розповсюдження хвиль у суміші.

Коефіцієнт, що характеризує активний опір визначаємо за формулою:

$$b_{\text{екв}} = m_0 \omega \gamma / \sqrt{1 + \gamma^2}, \quad (4)$$

де m_0 – маса бетонної суміші;

γ – коефіцієнт опору суміші;

ω – колова частота вібрації.

При умові $h / \lambda \gg 1$ еквівалентна маса суміші, що характеризує інерційний опір

$$m_{\text{екв}} = \frac{\rho cs}{2\omega} \sqrt{\frac{(\sqrt{1 + \gamma^2}) - 1}{2(1 + \gamma^2)}}, \quad (5)$$

де ρ – густина бетонної суміші.

Коефіцієнт активного опору:



$$b_{екв} = \frac{\rho cs}{2\omega} \sqrt{\frac{(\sqrt{1+\gamma^2})+1}{2(1+\gamma^2)}}. \quad (6)$$

Важливим аспектом залежності (6) є вплив дисипації енергії на величину маси суміші, яка входить у загальне рівняння руху вібронамашини – «машина – середовище».

Коефіцієнт опору γ , який оцінює частку енергії, що розсіюється в суміші, знайдений різними методами [4] визначається за залежностями

$$\gamma = \frac{\delta}{\pi} = \frac{\psi}{2\pi} = \frac{bt}{2\pi m} = \frac{T}{\pi\tau}, \quad (7)$$

де: δ – логарифмічний декремент коливань ($\delta = \lg \frac{x_1}{x_2}$);

x_1, x_2 – амплітуди послідовно (одна за другою) згасаючих коливань);

ψ – коефіцієнт поглинання енергії, $\psi = \frac{\Delta W}{W}$;

ΔW – енергія, що розсіюється;

W – енергія, яка підводиться до ущільнюваного матеріалу за один період коливань;

b – коефіцієнт опору;

T – період коливань;

m – маса, що коливається;

τ – час релаксації системи при зменшенні амплітуди коливань у e раз.

Використання того чи іншого підходу у визначенні коефіцієнта опору γ обумовлюється вибраним методом (згасаючих коливань, петлі гістерезису, резонансний, енергетичний і т. п.) та відповідною розрахунковою схемою. Аналіз методів та їхнього застосування наведені у роботі [4].

У методиці досліджень загальної динамічної моделі «машина для будівельної індустрії – оброблюване середовище» слід приділити особливу увагу обґрунтуванню та вибору критеріїв оцінки ефективності машин, які є найважливішими показниками якості та ефективності дійсного стану будь-якої машини. Особливо важливими є критерії для оцінки існуючої техніки у порівнянні між собою та визначення передумови для розробки нової більш ефективної техніки.

Критерії можна класифікувати за наступними ознаками [5] (рис. 1): функціональні, технологічні, економічні, антропологічні.

Функціональні критерії характеризують найважливіші показники реалізації функції машини. Технологічні критерії пов'язані тільки з можливістю й простотою виготовлення вібронамашини. Економічні критерії визначають виключно економічну доцільність реалізації функції за допомогою того, що розглядається конкретна конструкція вібронамашини. Антропологічні критерії пов'язані з питаннями чинника щодо позитивних і негативних дій на оператора вібронамашини, наприклад, дотримання санітарних норм за рівень шуму і вібрації на робочому місці оператора.

Основна увага приділяється функціональним, частково технологічним та економічним критеріям, оскільки вони є домінуючими при формуванні основних засад створення нової техніки.

Для кожної машини функціональні критерії є кількісною характеристикою основних показників реалізації функції машини, які визначають на основі аналізу опису її функції. Оскільки функції машини характеризуються самими різними показниками, то практично

неможливо да ти вичерпний перелік функціональних критеріїв. Серед них можна виділити поширені групи критеріїв – робочі параметри, надійність, точність і ефективність дій.

Критерії робочих параметрів завжди можуть бути заміряні або обчислені.

Одним із найважливіших робочих параметрів машини є її продуктивність. Критерій продуктивності є інтегральним показником рівня розвитку техніки, який безпосередньо залежить від ряду параметрів, які визначальним чином впливають на її продуктивність. Ці параметри є як би частковими функціональними критеріями, до яких відносяться робочі параметри: швидкість (число обертів або операцій за одиницю часу, швидкість руху робочих органів машини, швидкість протікання робочого процесу і т. п.); прискорення (прискорення робочих органів машин, прискорення оброблення середовища); фізичні параметри (амплітуда коливань, тиск, час дії); ступінь механізації; ступінь автоматизації; безперервність робочого процесу. Останні чотири критерії є комплексними, залежать від багатьох чинників.

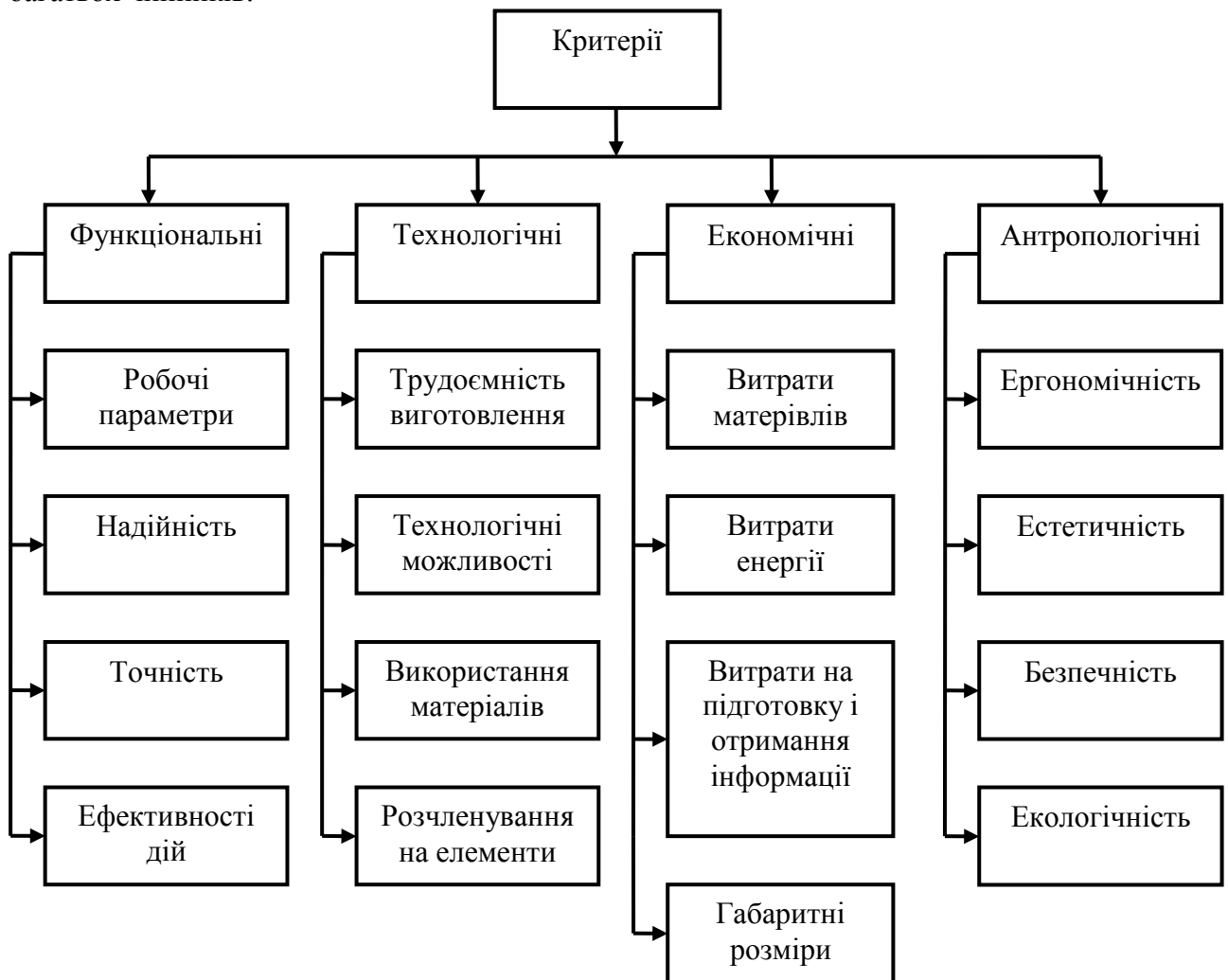


Рисунок 1. Класифікація критеріїв розвитку техніки.

Критерії надійності включають часткові критерії: безвідмовності; довговічності; ремонтпридатності. Визначення цих критеріїв для різних машин можна знайти у відповідній літературі [6, 7].

Критерії точності включають наступні часткові критерії: точність вимірювання; точність обробки матеріалу; точність обробки потоку енергії; точність обробки потоку інформації. Для цих часткових критеріїв є ефективні способи вимірювання і оцінки точності, які легко знайти в спеціальній літературі [8].



Критерії ефективності дій є певною мірою критеріями, які оцінюють ефективність в універсальному і синтезованому значеннях, і є праксеологічними (практичними) оцінками [9].

Група технологічних критеріїв головним чином забезпечує всебічну економію енергії та матеріалів при виготовленні машини і підготовці їх до експлуатації. Можна виділити чотири основні технологічні критерії.

Критерій трудомісткості виготовлення машини рівний відношенню сумарної трудомісткості T_C проектування, виготовлення і підготовки до експлуатації виробу до його головного показника ефективності Q , тобто є питомою трудомісткістю виготовлення на одиницю одержуваної ефективності

$$K_T = \frac{T_C}{Q}. \quad (8)$$

Головний показник ефективності Q вибирають так, щоб критерій K_T , об'єктивно відображав прогресивний розвиток розглянутих вібромашин. Критерій K_T , є монотонно зростаючою функцією за умови, що зіставлення різних поколінь машини ведеться по одному і тому ж показнику ефективності Q .

Критерій технологічних можливостей, який повинен відображати простоту і принципову можливість виготовлення машини, можна визначати за формулою [10]

$$K_{T.B.} = \varepsilon \frac{k_c A_c + k_y A_y + k_{n1} A_{n2} + k_{n2} A_{n2}}{A_c + A_y + A_{n2} + A_{n2}}, \quad (9)$$

де k_c, k_y, k_{n1}, k_{n2} – вагові коефіцієнти, причому $k_c = 1$, $k_c > k_y > k_{n1} A_{n2} > k_{n2}$ (наприклад, $k_y = 0,5$; $k_{n1} = 0,2$; $k_{n2} = 0,01$);

A_c, A_y, A_{n2}, A_{n2} – відповідно число найменувань стандартних, уніфікованих і оригінальних елементів в машині (під одним найменуванням може бути декілька однакових елементів).

На практиці широко використовують окремі випадки цього узагальненого критерію: критерій стандартизації, коли в чисельнику формули (9) береться тільки A_c ; критерій уніфікації, коли в чисельнику береться $A_c + A_y$.

Оскільки частка відходів в більшій мірі залежить від технологічних процесів і технологічного устаткування, існує і діє технологічний критерій використання матеріалів K_{im} , рівний відношенню маси виробу m_e до маси витрачених матеріалів m_m (при цьому купувальні комплектуючі елементи не враховуються):

$$K_{im} = \frac{m_e}{m_m}. \quad (10)$$

У разі, коли в машині використовуються матеріали, значно різні по вартості, при обчисленні критерію K_{im} рекомендується користуватися наступною залежністю:

$$m_g = \sum_{i=1}^m k_i q_i; \quad (11)$$

$$m_m = \sum_{i=1}^n K_i p_i,$$

де $i = 0, 1, 2 \dots m$ – номери різних матеріалів, що використовуються; q_i – маса i -го матеріалу, що використовується в машині;

k_i – ваговий коефіцієнт i -го матеріалу (можна прийняти $k_i = \frac{c_i}{c_0}$, де

$i = 0, 1, 2 \dots m$ (ліміт);

c_i – вартість одиниці маси i -го матеріалу;

c_0 – вартість одиниці маси основного матеріалу;

p_i – маса i -го матеріалу, витраченого на виготовлення елементів машини.

Критерій K_{im} є монотонно зростаючою функцією, яка приймає значення в інтервалі $0 < K_{im} < 1$.

Критерій витрати матеріалу K_{im} рівний відношенню маси вібростанини G до її головного показника ефективності Q :

$$K_m = \frac{G}{Q}, \quad (12)$$

тобто є питомою масою матеріалів на одиницю одержуваної ефективності.

При виготовленні або експлуатації технологічної машини, як правило, витрачається певна кількість енергії. У зв'язку з цим існує і діє критерій витрати енергії:

$$K_e = \frac{W_n + E}{TQ}, \quad (13)$$

де W_n – повна витрата енергії за час експлуатації машини;

E — витрати енергії при виготовленні;

T — час експлуатації машини.

Формулу (13) рекомендується використовувати у випадках, коли величини W_n і E співвимірні. Для багатьох машин $W_n \gg \gg \gg E$. У таких випадках використовується більш проста формула критерію:

$$K_e = \frac{W}{Q}, \quad (14)$$

де: W — витрати енергії при експлуатації машини за одиницю часу.

Оскільки більшість конструктивних заходів щодо поліпшення критерію (14) зводиться до підвищення частки енергії, що використовується безпосередньо для виконання корисної роботи то в інженерній практиці широко використовують ще одну модифікацію критерію витрати енергії, звану коефіцієнтом корисної дії. Ця модифікація критерію рівна відношенню корисної роботи (енергії) W_o до загальної роботи (енергії) W :

$$K_c = \frac{W_o}{W}. \quad (15)$$



При виборі варіанту схеми машини і її будови доцільно виконують структурний синтез машини за блочно-ієрархічним принципом. У відповідності до нього на кожному рівні оцінки синтезується визначений ранг системи: на першому етапі – загальна схема, потім функціональна схема і кондиції функціональних систем (блоками є складальні одиниці), далі – окремі функціональні елементи і деталі, котрі входять в складальні одиниці.

Структурний синтез на сьогодні ще не зовсім формалізований, у більшості випадків його виконують евристичним методом, котрий в основному визначається переважно ерудицією і інтуїцією конструктора.

Параметричний синтез – частина процесу аналізу, яка вирішує задачу визначення основних конструктивних (геометричних і механічних) параметрів машин у цілому, її окремих механізмів, пристроїв і робочих органів.

Як за складом, так і за методикою рішень ці задачі суттєво відмінні, оскільки динамічний синтез можливий для будь-якої технічної конструкції, машини, то структурний синтез можливий тільки при аналізі однотипних систем, що утруднює вирішення конкретної задачі.

Процес вдосконалення машин є безперервним. Ефективність цього процесу визначається в основному тим, наскільки вирішена проблема розробки методів визначення оптимальних структур машин на стадії її дослідження і створення. При цьому завжди актуальною є задача підвищення таких показників, як надійність, технологічність та довговічність машини. Сама по собі структура, що є сукупністю і взаємозв'язком тих чи інших елементів, у певній мірі визначає надійність і довговічність машини. Очевидно, що малоімовірно отримати кінцеве оптимальне рішення за критеріями надійності і довговічності. Безперервна розробка нових конструкційних матеріалів і методів їх обробки забезпечує постійне вдосконалення машин у плані надійності, довговічності, технологічності і т.п. Врахувати вимоги по надійності і довговічності можливо, коли сформульовані обмеження на ті динамічні характеристики, від яких залежить надійність і довговічність, притому ці обмеження введені в групу вихідних параметрів. З точки зору можливості рішення проблеми структурного синтезу теоретичний і експериментальний аналіз машин, будучи в кожному конкретному випадку зв'язаний із визначеною технічною конструкцією, дозволяє виявити шляхи вдосконалення того класу машин, властивості якого відображають досліджувані. Таким чином, природнім наслідком робіт щодо аналізу є частковий характер рекомендацій і пропозицій по проблемі вдосконалення структур вібраційних машин.

Такою є перша особливість сучасного стану і розв'язку задачі синтезу технологічних машин для будівельної індустрії. Другою особливістю є те, що зростаючі потреби промисловості будівельної індустрії обумовлюють інтенсивне впровадження в практику сучасних типів машин різних фірм і підприємств, що мають ті чи інші переваги [11 – 12].

Таким чином, якщо для кожної конкретної структури технологічної машини можна ввести поняття n -мірного простору параметрів, за якими визначаються, наприклад, динамічні параметри машини (при цьому параметри є складовими опису руху машин), то в просторі структур вкрай важко оцінити число можливих змін.

Типовий при аналізі індуктивний підхід до розв'язку задачі структурного синтезу має виявити закономірності в структурних рішеннях найбільш вдалих технічних конструкцій, систематизувати і надати рекомендації для вдосконалення структури конкретної конструкції. Однак порівняльна оцінка конструкцій утруднена внаслідок значної їхньої кількості і складності вдосконалення або недосконалості структури машини у сукупності із іншими чинниками, що впливають на цей процес.

Отже, задача структурного синтезу шляхом аналізу і порівняння не може бути вирішеною в повній мірі. Однак оцінка конструкцій, що певною мірою є на свій час оптимальною структурою, безумовно обов'язкова в тому сенсі, що тільки таким чином

може бути вирішене питання щодо вдосконалення конструктивної реалізації оптимальної структури, технологічної машини.

Висновки.

1. Методика досліджень загальної динамічної моделі «машина для будівельної індустрії – оброблюване середовище» внаслідок кінцевого простору параметрів і можливостей введення їх в математичну модель та аналітичне вирішення відкриває широкий простір для аналізу і дає можливість отримати результат оптимізації як шляхом варіації параметрів, так і іншими достатньо відомими методами.
2. Отримання параметрів технологічної машини для будівельної індустрії, що адекватно відображають реальний процес, визначається достатньо коректними допущеннями і передумовами при виборі та обґрунтуванні моделі досліджуваної системи; обґрунтуванням й вибором критеріїв оцінювання ефективності технологічних машин.
3. Уточнення існуючої й формулювання більш загальної гіпотези для опису технологічного процесу оброблення середовища дозволяє вибрати основні параметри машини і встановити необхідний режим дії на середовище.
4. Критерії оцінювання ефективності технологічних машин є найважливішими показниками якості та ефективності дійсного стану будь-якої машини. Особливо важливими є критерії оцінки існуючої техніки у порівнянні між собою та визначення передумови для розробки нової більш ефективної техніки.

Література

1. Назаренко І. І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / І. І. Назаренко. – 2-ге вид. – К.: Вид. дім «Слово», 2010. – 440 с.
2. Сивко В.И. Основы механики вибрируемой бетонной смеси./ В.И. Сивко. – К.: Вища шк., 1987. – 168 с.
3. Шмигальский В.Н. Виброуплотнение бетонных смесей / Шмигальский В.Н. – В кн. : Технологическая механика бетона. – Рига, РПИ, 1985. – С. 115 – 127.
4. Писаренко Г.С. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. – К.: Наукова думка, 1971. – 375 с.
5. Назаренко І.І. Системний аналіз технічних об'єктів: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів / І.І. Назаренко, В.М. Гарнець, А.Т. Свідерський, Б.М. Пентюк / За заг. ред. І.І. Назаренка – К.: КНУБА, 2009. – 164 с.
6. Кузнецов Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов / Е.С. Кузнецов, В.М. Власов, А.П. Болдин и др.; Под ред. Е.С. Кузнецова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 2001. – 535 с.
7. Шейнин А.М. Эксплуатация дорожных машин: Учебник для вузов. /А.М. Шейнин, Б.И.Филиппов, В.А Зорин, /под. общ. ред. А.М. Шейнина.— М.: Транспорт., 1992.-328с.
8. Демків, Я.В. Аналіз високотехнологічного виробництва у машинобудуванні України / Я.В. Демків // Логістика. – Львів.: Львівська політехніка, 2008. – С. 172 – 181.
9. Гаспарский В. Праксиологический анализ проектно-конструкторских разработок / В. Гаспарский. Перевод с польского Уванова В.А. – М.: Мир, 1978. – 172 с.
10. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества / А.И. Половинкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
11. Нестеренко М.П. Класифікація та оцінка споживчих якостей сучасних вібраційних машин для формування залізобетонних виробів / М.П. Нестеренко // Зб. наук. праць (Галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2007. – Вип. 20. – С. 20 – 25.
12. Нестеренко М.П. Аналіз конструктивно-технологічних параметрів віброплощадок і віброустановок для формування залізобетонних виробів / М.П. Нестеренко // Техніка будівництва. – К.: АБУ – КНУБА. – 2010. – № 24 – С. 18 – 23.