

УДК 693.542

А.Т. Свідерський, доцент КНУБА  
 М.М. Ручинський, доцент КНУБА  
 І.Ю. Мартинюк, студент КНУБА

## ОЦІНКА ТА АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РУХУ ВІБРОМАЙДАНЧИКІВ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ КОНТРОЛЬНИХ ЗРАЗКІВ БЕТОНУ

**Актуальність теми та задачі досліджень.** Стрімкий розвиток будівельної індустрії в сучасній Україні обумовлений перш за все використанням новітніх технологій, які останнім часом були впроваджені при будівництві нових споруд. Якщо взяти до уваги будинки виготовлені із залізобетонних конструкцій, то цілком очевидно, що перспектива розвитку такого будівництва на сьогоднішній день є монолітно-каркасне будівництво. Так для прикладу, проаналізувавши діяльність будівельних компаній у 1999 - 2007 роках (рис. 1), кількість робіт з використанням технологій монолітно-каркасного будівництва виросла в десятки разів, що підтверджується цілою низкою нових масивів житлових будинків.

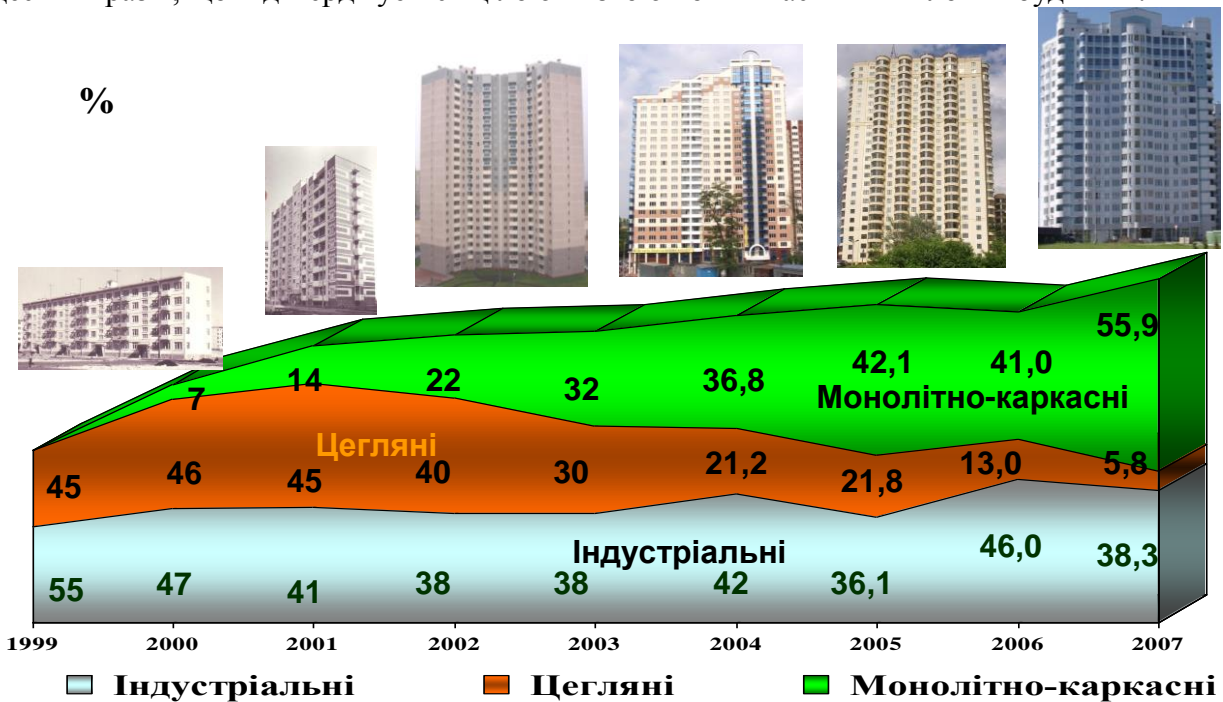


Рисунок 1. Зміни структури житлового будівництва у 1999 - 2007 роках.

В умовах сучасного будівництва велику увагу приділяють якості бетонної суміші, адже від неї залежить міцність і довговічність майбутньої споруди. Певну незручність при монолітно-каркасному будівництві являє собою доставка бетонної суміші на будівельний майданчик, що пов'язана з часом перемішування та часом перевезення, в процесі якого досить часто втрачається якість бетонної суміші. Тому перевірка якості бетону на будівельному майданчику є невід'ємною частиною технологічного процесу зведення монолітних конструкцій.

Досить часто результати випробувань контрольних зразків бетону, що відбираються на будівельних майданчиках, не відповідають проектному класу бетону, який був поставлений на будівництво. Існує ціла низка причин, які в тій чи іншій мірі приводять до такої невідповідності. Детальний аналіз випробуваних контрольних зразків, які мали міцність меншу за проектну міцність бетонної суміші, показав, що основними причинами втрати якості бетонної суміші в зразках є: неправильне відбирання зразків та їх

виготовлення (неякісне укладання та ущільнення); використання форм, що не відповідають нормативним документам (втрата цементного молочка); недотримання умов зберігання зразків (висушування, або заморожування). Результати такого аналізу в кількості 200 штук випробуваних зразків наведені на рис. 2.

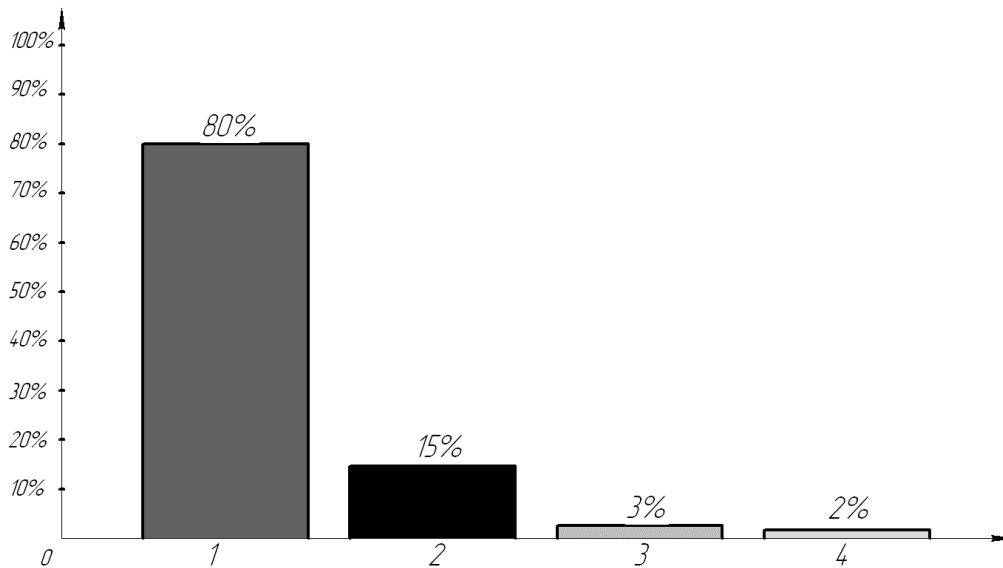


Рисунок 2. Статистичні дані по випробуванню контрольних зразків на стиск.

Для визначення класу бетону за міцністю відбиралися зразки, що зберігалися при нормальних умовах (температура повітря  $20 \pm 5$  °С, відносна вологість повітря не менше 55%) і підлягали випробуванню статичним стиском. Для визначення міцності бетону в конструкції відбираються зразки, які зберігаються безпосередньо разом з конструкцією, в таких самих умовах, як і конструкція.

Статистичний аналіз кубиків, які повинні зберігатися в нормальних умовах показав, що більшість з них не відповідають тому класу бетону, що повинен бути. Обумовлено це тим, що не дотримані умови зберігання кубиків (80%), недостатня укладка і ущільнення і як наслідок – великі раковини на поверхні кубика (15%), мала об'ємна маса зразка (3%), та інші фактори (2%), до них можна віднести замороженість зразків, витік бетонного молочка, нерівність поверхні зразка. В умовах монолітного виробництва досить вагомим є проведення контролю якості на будівельному майданчику. Поряд із умовами зберігання контрольних зразків постає проблема підготовки зразків (відбір бетону, його укладка та ущільнення).

В Україні з 1 вересня 2010 року вступили в силу нові нормативні документи (ДСТУ), на заміну ГОСТа, що раніше діяв. Згідно них [1,2] процес ущільнення проводять на вібротрамблерах, що забезпечують наступні технологічні параметри процесу ущільнення: частота вертикальних коливань з формою заповненою бетонною сумішшю  $(2900 \pm 100)$  хв.<sup>-1</sup>, амплітуда вертикальних коливань  $(0,5 \pm 0,05)$  мм, амплітуда горизонтальних коливань не більше 0,1 мм, відхилення амплітуди коливань країв площадки від її середини не більше 20%. Але як показує практика, в більшості випадків результати випробувань зразків є далекі від проектних. При проведенні додаткових досліджень залізобетонних конструкцій неруйнівними методами контролю [3] досить часто має місце підтвердження проектної міцності. Така відмінність пояснюється різною технологією укладання бетону в конструкцію і в контрольному зразку, а також недотриманням вимог відбору контрольних зразків та умов їх зберігання.

#### **Викладення основного матеріалу статті.**

Проведемо огляд та виконаємо аналіз різних конструкцій машин [6], що представлені на ринку України, що мають технологічні параметри, які зазначені в ДСТУ.

1) Вібромайданчик СМЖ-539 представляє собою стіл з вібратором, який встановлено на пружних опорах на станині (рис. 3). Всі частини вібромайданчика розміщено на станині. Стіл з'єднано зі станиною за допомогою чотирьох пружних опор і призначений для встановлення на нього форм. Вібратор закріплено до нижньої частини столу, він виконує роль збуджувача вібраційних коливань. Конструкція вібратора дозволяє ступінчасто змінювати статичний момент дебалансів, розміщених на кінцях



Рисунок 3. Вібромайданчик.

електродвигуна вібратора також вібратор автоматично може відключатися через певний проміжок часу. Максимальне робоче навантаження на вібромайданчик разом з формою становить 100 кг.

2) Вібромайданчик 435 А (рис. 4) має такі ж робочі параметри, що і СМЖ – 539, але відрізняється від нього лише власною вагою.



Рисунок 4. Вібромайданчик.

3) Вібромайданчик СМЖ-739 (рис.5) теж використовують для ущільнення контрольних зразків бетону, але на відміну від СМЖ – 539 та 435А площадка має набагато потужніший віброзбуджувач та меншу вантажопідйомність і власну вагу.

Вібромайданчик «ВИБРОИД 1000» з вантажопідйомністю до 150 кг за технологічними параметрами підходить для ущільнення контрольних зразків (рис. 6, а).

Вібростоли формовочні СВ – 700 та СВ – 1400 мають порівняно малу вживану потужність та габаритні розміри, що дозволяють встановлювати на них ГОСТовані форми (рис. 6, б, в).

Не менш відомий на ринку український виробник вібромайданчиків ПП «Бетонозмішувачі»

виробляє два типи машин: «вібростіл каркасний» та «вібростіл універсальний». Ці машини (рис. 6, г, д) серед інших вирізняє велика вантажопідйомність та великі габаритні розміри



Рисунок 5. Вібромайданчик СМЖ-739.



безпосередньо робочого органу – стола на, який встановлюються форми з бетонною сумішшю.

Челябінське підприємство «ПромСнабКомплект» виробляє вібромайданчики ЄВ – 340, вони мають дуже велику, в порівнянні з іншими, потужність приводу (рис. 6, е).



Рисунок 6. Існуючі конструкції вібромайданчиків, що можуть бути використані для ущільнення контрольних зразків бетону: а) - ВИБРОИД 1000, б) - СВ – 700, в) – СВ – 1400, г) - Вібростіл каркасний, д) - Вібростіл універсальний, е) - ЄВ – 340.

### 3. Обґрунтування та вибір критеріїв оцінки конструктивних та технологічних параметрів вібромайданчиків.

Короткі технічні характеристики розглянутих машин наведені в табл.1



Таблиця 1

Назва вібростола	Характеристики вібростолів				
	Потужність приводу, кВт	Вантажо-підйомність, кг	Маса вібростола, кг	Номинальна частота коливань кол./хв	Виробник
СМЖ - 539	0,25	100	95	2800	«Белпромприбор» Білорусь
СМЖ - 739	1,5	60	90	2900	«Измерение» Москва, Росія
435А	0,25	100	130	2800	«Белпромприбор» Білорусь
Вібростіл каркасний	0,55	200	80	2800	«Бетонозмішувачі» Україна
СВ - 700	0,25	100	110	2800	ITCOR LLC Кіров, Росія
ВИБРОИД - 1000	0,5	150	130	2900	«СтройМеханика» Тула, Росія
СВ – 340	1,8	150	210	2900	«ПромСнабКомплект» Челябінськ, Росія
Вібростіл універсальний	0,55	250	270	2900	«Бетонозмішувачі» Україна
СВ – 1400	0,5	150	150	2800	ITCOR LLC Кіров, Росія

Проаналізувавши технічні характеристики машин були визначені критерії оцінювання віброплощадок [7].

Перший критерій – «Енергоозброєність»: відношення вживаної потужності вібробуджувача до маси самої віброплощадки.

$$k_1 = \frac{P}{m_1}, \text{ Вт/кг} \quad (1)$$

де  $P$  – потужність вібробуджувача;  
 $m_1$  – власна маса віброплощадки.

Другий критерій – «Масовий» - відношення маси суміші, що ущільнюється до маси віброплощадки.

$$k_2 = \frac{m_2}{m_1}, \text{ кг/кг} \quad (2)$$

де  $m_1$  - власна маса віброплощадки;  
 $m_2$  – маса суміші, що коливається.

Третій критерій – «Енергоємність»: відношення потужності вібробуджувача до загальної маси віброплощадки та маса суміші.

$$k_3 = \frac{P}{m_1 + m_2}, \text{ Вт/кг} \quad (3)$$

де  $P$  – потужність вібробуджувача;  
 $m_1$  - власна маса віброплощадки;  
 $m_2$  – маса суміші, що коливається.



На основі отриманих значень критеріїв оцінки були побудовані гістограми (рис. 7 – 9) при аналізі яких зроблені висновки:

- критерій енергоозброєність коливається в межах від 1,92 до 16,7. Значення цього критерію повинно прямувати до максимуму.

- масовий критерій коливається в межах від 0,66 до 2,5. Значення цього критерію повинно прямувати до максимуму.

- критерій енергоємності коливається в межах від 1,06 до 10. Значення цього критерію повинно прямувати до мінімуму.

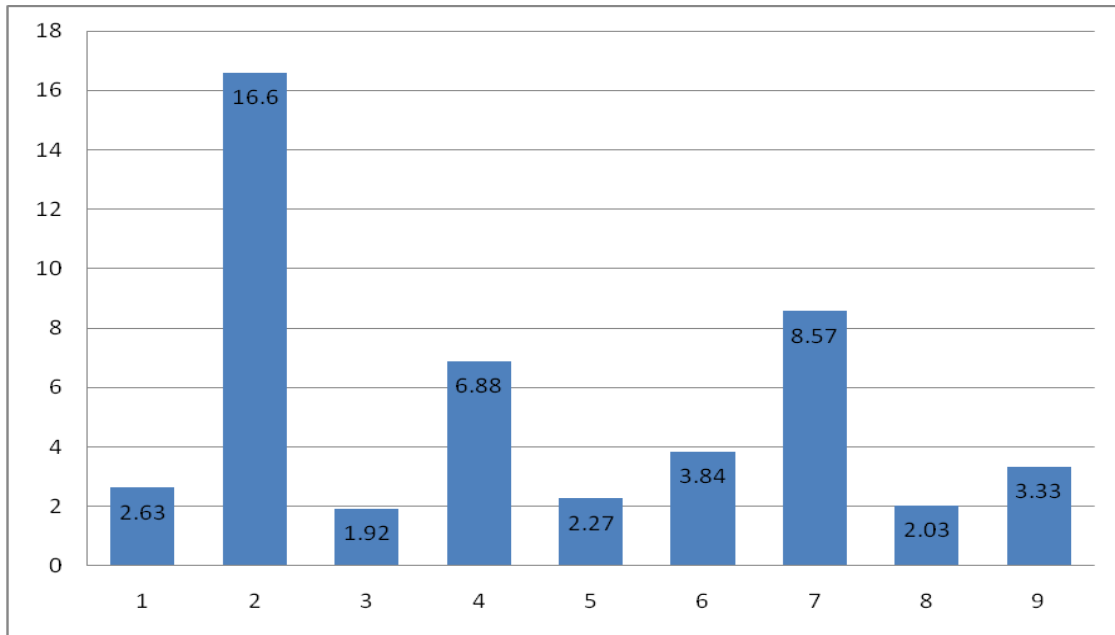


Рисунок 7. Числові значення першого критерію.

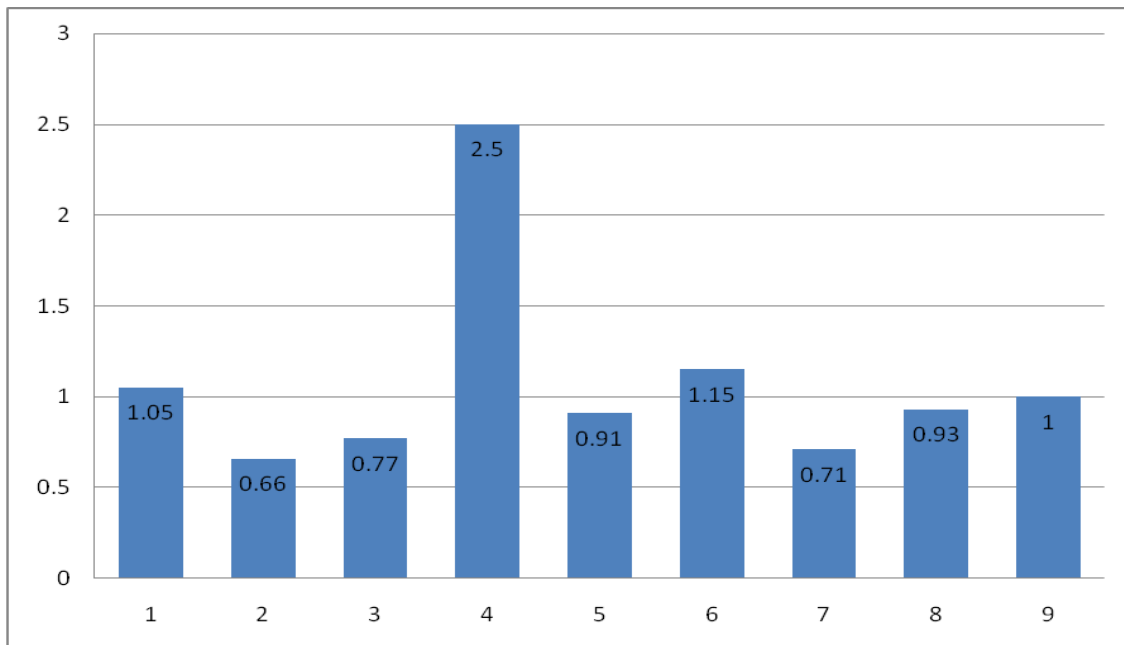


Рисунок 8. Числові значення другого критерію.

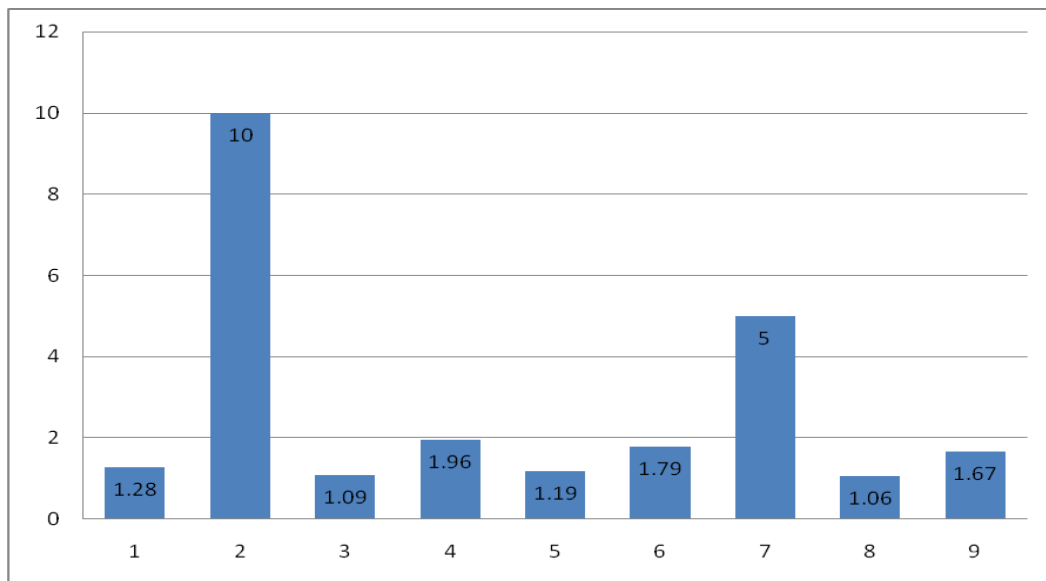


Рисунок 9. Числові значення третього критерію.

Проаналізувавши отримані результати розрахунків за числовими критеріями, значення яких коливаються в досить широкі межі можна зробити наступні висновки:

- розглянуті машини мають різні за значенням характеристики і використовуються для виконання різних технологічних процесів;

- для розрахунків основних параметрів розглянутих вібротришків були використані різні методи розрахунків, що підтверджується суттєвою розбіжністю значень числових критеріїв;

- методика відбору і виготовлення контрольних зразків бетону на будівельних майданчиках потребує більш глибокого аналізу та вивчення;

Конструкції машин для яких був проведений огляд та аналіз мають однакову конструктивну схему, тому для дослідження таких машин можна використати єдину розрахункову схему машини, а також конструктивні і технічні параметри існуючої моделі машини. Для подальших досліджень були прийняті характеристики лабораторного вібротришків СМЖ – 539.

Схема наведена на рис. 10, є найпростішою схемою вібраційної машини з гармонійними коливаннями, яка може розглядатись як модель для опису вищезгаданих машин для ущільнення бетонних сумішей, рівняння руху якої має вигляд

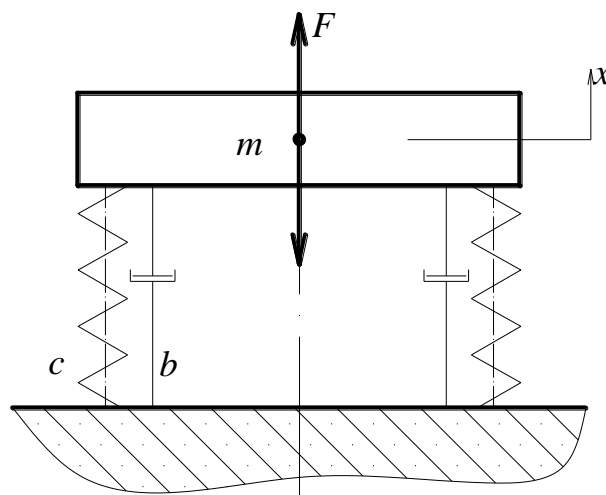


Рисунок 10. Розрахункова схема вібротришків.



$$mx + bx + cx = F(t). \quad (4)$$

Отримане рівняння є достатньо вивчене при часткових його рішеннях, які дають можливість проаналізувати поведінку системи в сталому режимі руху. При цьому вважають, що момент пуску машини та її зупинка є досить швидкоплинними і на робочий процес суттєво не впливають.

При виготовленні контрольних зразків бетонної суміші досить важливим фактором є її щільність, яка залежить від режиму та умов ущільнення. Так відомо, що при невірному вибраному режимі роботи машини, ущільнення не тільки може не відбуватись, а навпаки – виріб може розущільнюватись.

Таким чином варто дослідити рух системи (див рис. 10) саме в перехідних періодах роботи та при різних умовах роботи, а саме різною масою виробів, що ущільнюються.

Дослідження системи в перехідних режимах для більш наглядного уявлення роботи такої системи варто скористатись чисельним рішенням рівняння, для скористаємось чисельним рішенням методом Рунге-Кутта 4-го порядку. Використання даного методу передбачає ряд переваг перед іншими методами:

- цей метод є одноступеневим та з одним кроком;
- потребує інформацію лише про одну точку;
- має невелику похибку;
- значення функції обчислюється при кожному кроці

Складений алгоритм розв'язку наведений на рис. 11.

На основі складеного алгоритму на мові програмування “Delphy” створена програма, яка дозволяє отримати розв'язок рівнянь даної системи.

Для перевірки роботи програми були отримані віброграми руху системи [5, 9] в залежності від часу роботи та вихідних параметрів в сталому режимі роботи (рис. 12, 13).

Як слідує з отриманих віброграм рух системи цілком відповідає законам класичної теорії коливань, про що свідчить зниження амплітуди коливань із зростанням загальної маси, що бере участь в рухові, а також форма коливань, яка описується синусоїдальним законом.

Для оцінки руху машини, що досліджується, при зміні частоти коливання були побудовані амплітудно-частотні характеристики для декількох випадків завантаження вібромайданчика (рис. 14, 15) при цьому конструктивні параметри залишалися незмінні, а імітувалось лише завантаження, що відповідає різній кількості зразків, які одночасно ущільнюються.

Так цілком очевидно, що при збільшенні рухомої маси пік резонансу зміщується в бік зменшення частоти та в за резонансному режимі роботи спостерігається падіння амплітуди коливань. Так в робочому режимі вібромайданчика (частота коливань 50Гц) амплітуда коливань без навантаження складає 1,15мм, а при навантаженні, що відповідає 6 зразкам бетону 100×100×100мм – 0,52мм. При максимальному завантаженні вібромайданчика амплітуда коливань зменшується до 0,35мм.

Таким чином для забезпечення умов ущільнення контрольних зразків бетону необхідне переналаштування вібромайданчика для певного завантаження.

Для дослідження системи в перехідних режимах роботи було змодельоване ущільнення зразків на вібромайданчику. При цьому моделювався режим виходу на сталий режим роботи та зупинка вібромайданчика після вимкнення віброзбуджувача. В результаті таких досліджень були отримані віброграми руху представлені на рис 16 - 17.



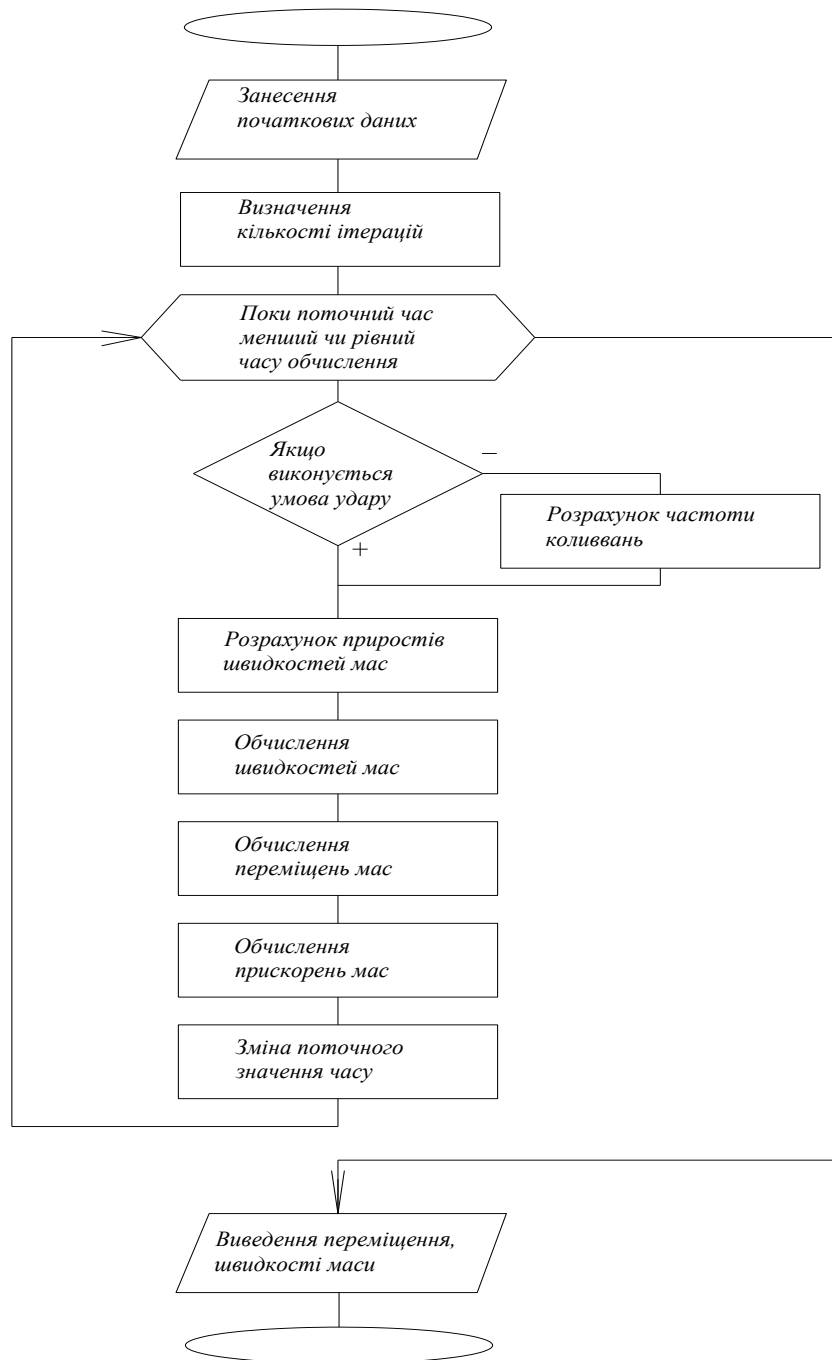


Рисунок 11. Алгоритм розв’язку рівняння системи рис. 10.

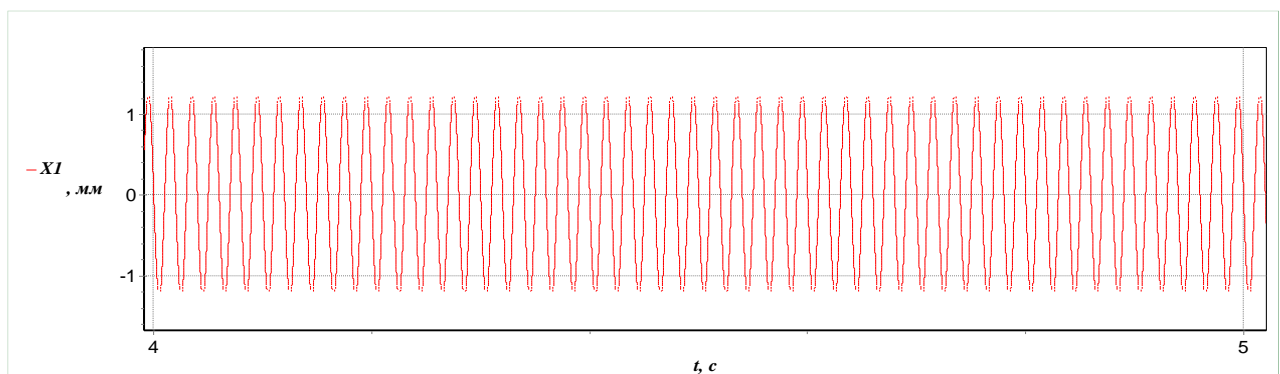


Рисунок 12. Переміщення маси вібротейнера в залежності від часу (навантаження відсутнє).

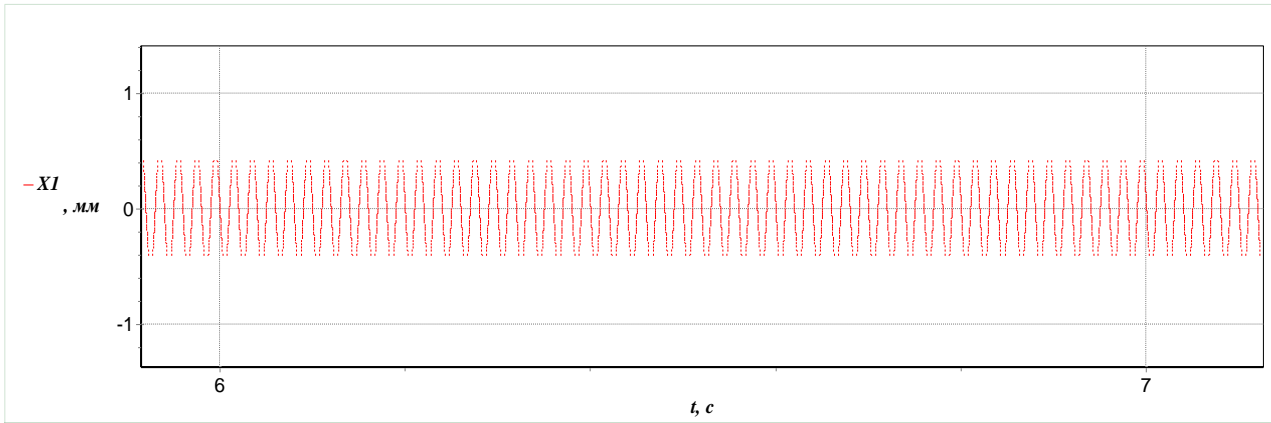


Рисунок 13. Переміщення маси вібромайданчика в залежності від часу (навантаження відповідає 6 зразкам бетону).

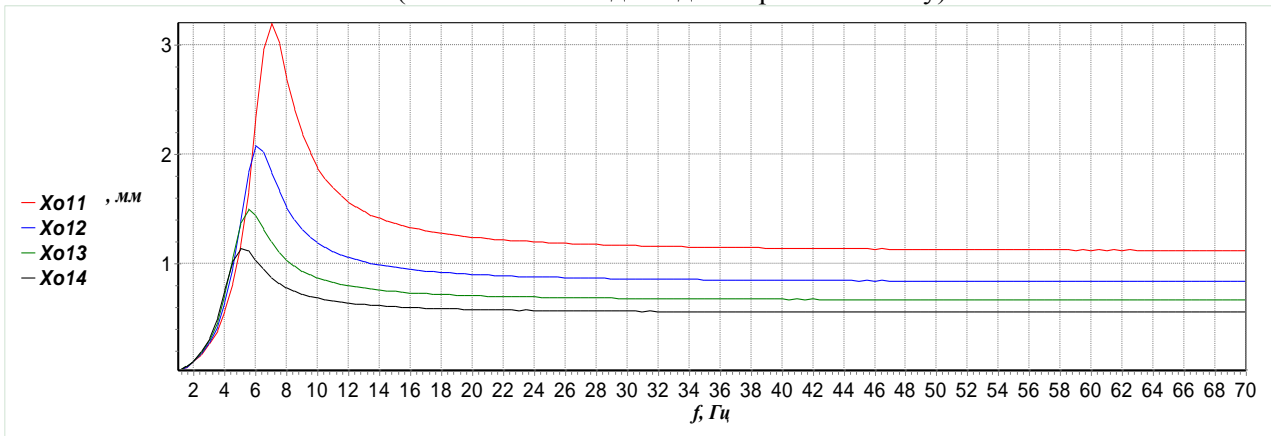


Рисунок 14. Амплітудно-частотна характеристика вібромайданчика.

- **X<sub>011</sub>** завантаження відсутнє;
- **X<sub>012</sub>** завантаження відповідає 2 зразкам бетону
- **X<sub>013</sub>** завантаження відповідає 4 зразкам бетону
- **X<sub>014</sub>** завантаження відповідає 6 зразкам бетону.

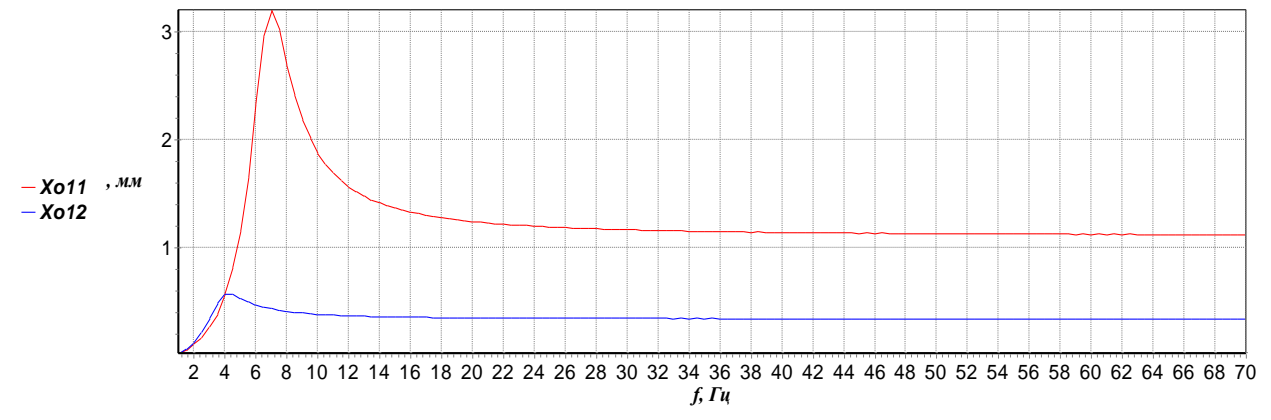


Рисунок 15. Амплітудно-частотна характеристика вібромайданчика.

- **X<sub>011</sub>** – завантаження відсутнє;
- **X<sub>012</sub>** – завантаження відповідає максимальному значенню.

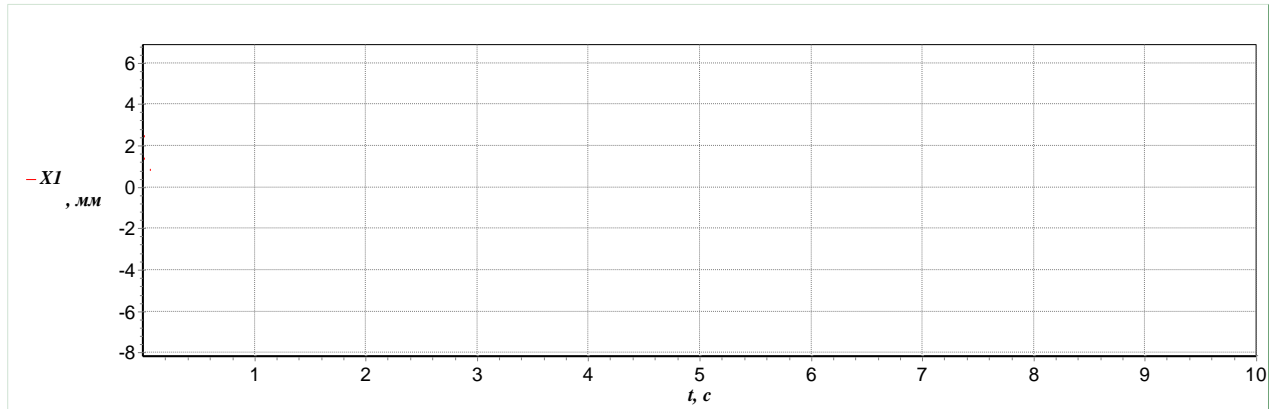


Рисунок 16. Переміщення маси вібромайданчика в залежності від часу (навантаження відсутнє).

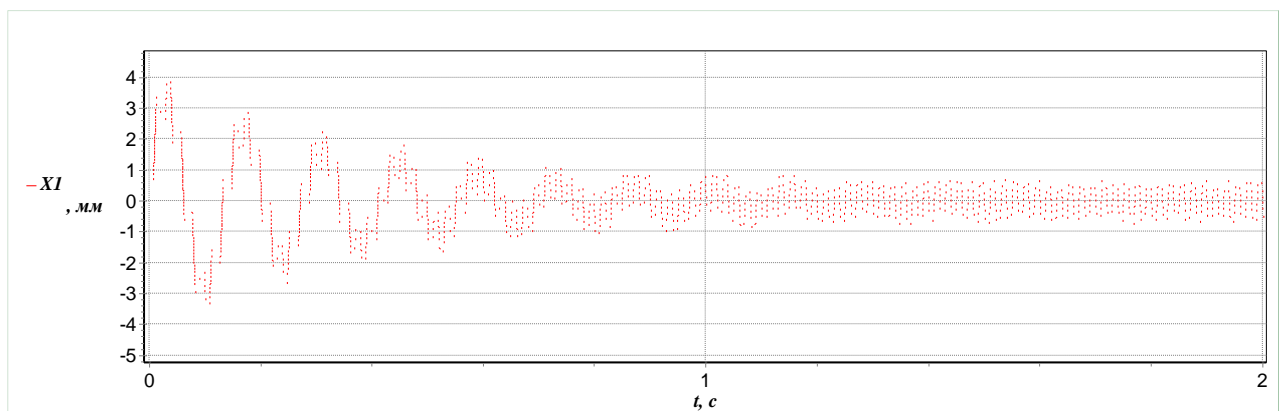


Рисунок 17. Переміщення маси вібромайданчика в період виходу на сталий режим (навантаження відсутнє).

Як слідує з віброграми руху (рис. 17) під час виходу машини на сталий режим роботи амплітуда коливань маси перевищує амплітуду коливань в сталому режимі в декілька разів. Поясненням такого росту амплітуди коливань є перехід системи через резонанс, що в свою чергу вносить вклад нижчих гармонік у рух системи ще певний час роботи вібромайданчика. Схоже явище відбувається після відключення віброзбуджувача (рис. 18) – система починає здійснювати вільні згасаючі коливання з частотою коливань рівною резонансній.

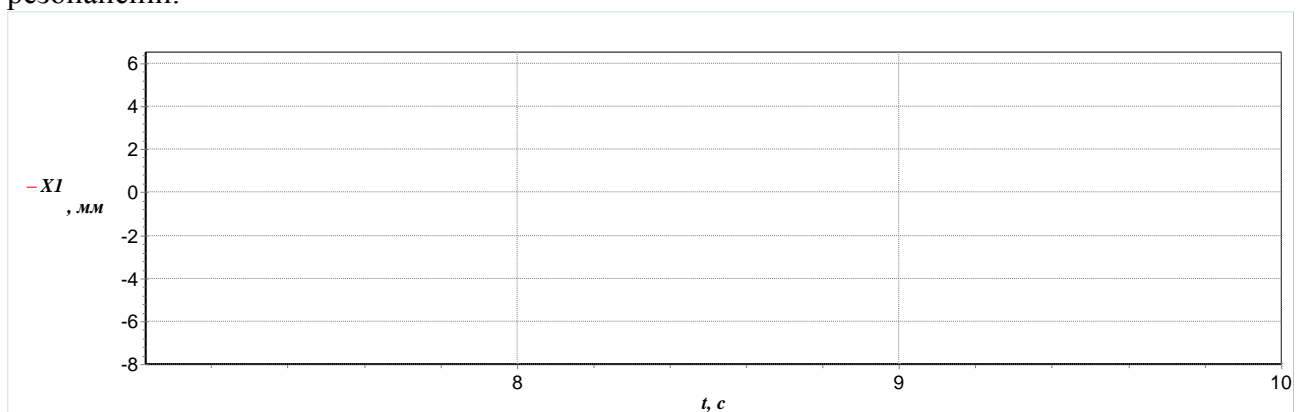


Рисунок 18. Переміщення маси вібромайданчика при зупинці (навантаження відсутнє).

При завантаженні вібромайданчика спостерігається аналогічна тенденція руху вібромайданчика (рис. 19), але як видно з віброграми руху в перехідні режими роботи (рис. 20 - 21) вклад нижчих гармонік відбувається з іншою частотою коливань, що цілком

підтверджує кількість періодів коливань за одиницю часу та відповідає амплітудно-частотній характеристиці (див. рис. 14).

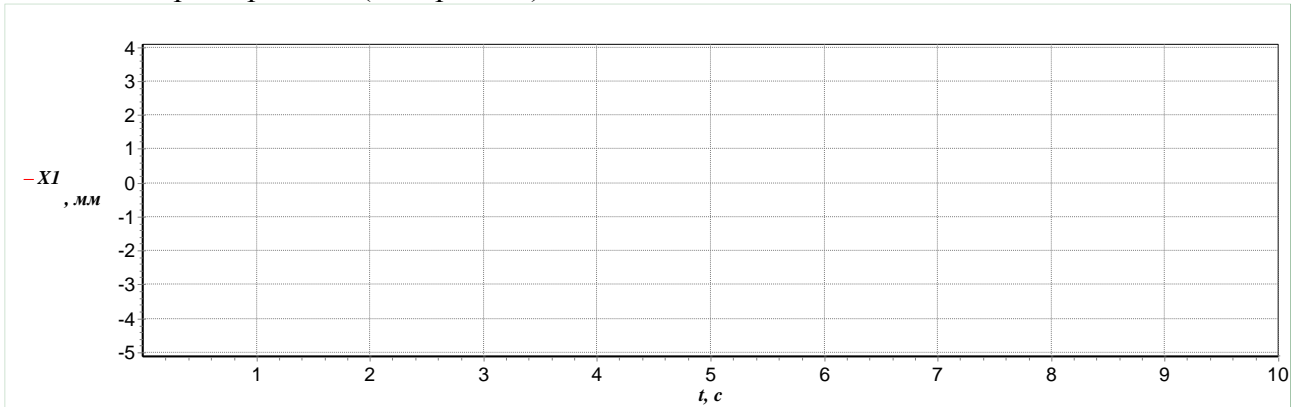


Рисунок 19. Переміщення маси вібромайданчика в залежності від часу (навантаження відповідає 6 зразкам бетону).

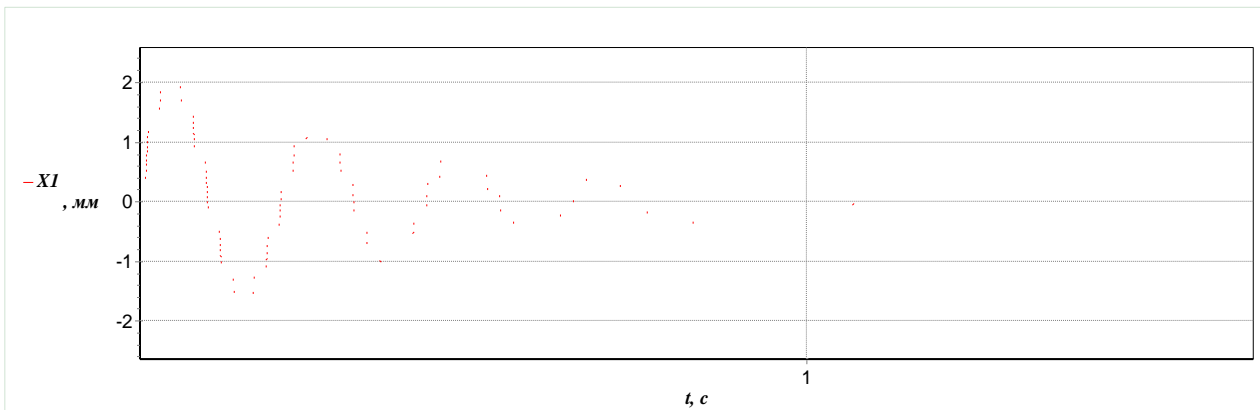


Рисунок 20. Переміщення маси вібромайданчика в період виходу на сталий режим (навантаження відповідає 6 зразкам бетону).

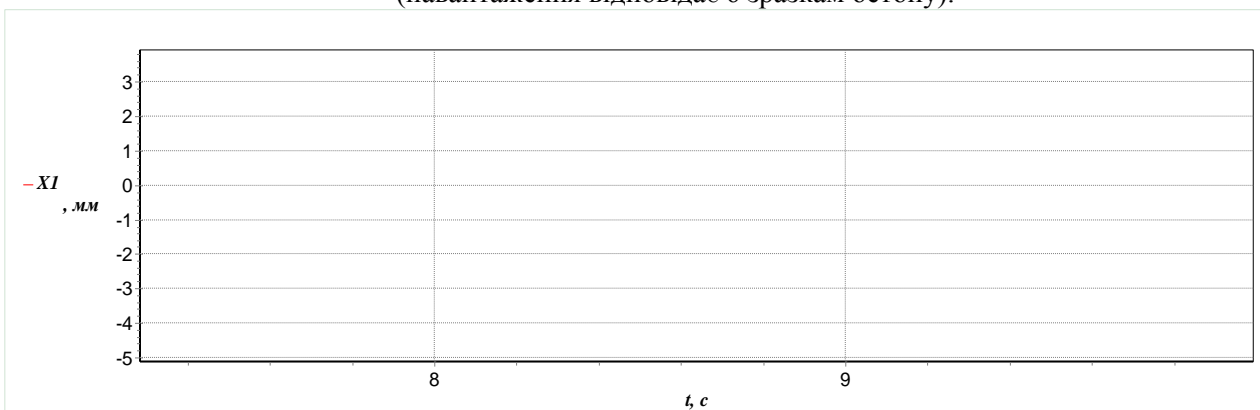


Рисунок 21. Переміщення маси вібромайданчика в період виходу на сталий режим (навантаження відповідає 6 зразкам бетону).

### Висновки.

Теоретичні дослідження, які були проведені з використанням розробленої програми на ПЕОМ, дали можливість більш детально вивчити рух вібромайданчика, який описується одномасною схемою, при виконанні робочого процесу та в перехідних режимах. В результаті проведення досліджень можна зробити наступні висновки:

1. На основі проведеної оцінки конструктивних та технологічних параметрів складені фізична та математична моделі лабораторного вібромайданчика.

2. Складений алгоритм розв'язку рівнянь руху та на його основі створена програма на мові програмування "Delphi" із застосуванням численного методу Рунге - Кутта 4-го порядку із змінним кроком в різні періоди руху системи, за допомогою якої проведений комп'ютерний експеримент, що дозволив встановити закономірності переміщень вібромайданчика в режимах розгону, резонансу, сталого режиму та зупинки; виявити вплив конструктивних параметрів на рух системи.

3. Складені диференціальні рівняння динаміки тримасової ударно-вібраційної системи з гідроприводом. Аналіз їх рішення дозволив виявити основні закономірності руху системи, та контролювати змінні параметри коливань, гідравлічної сили та сил опору будівельної суміші.

4. Визначено вплив нижчих гармонік на загальну динаміку системи в перехідних режимах роботи, що приводить до порушення вимог за амплітудою коливання, регламентованих нормативним документом.

5. В процесі роботи машини виникають режими роботи, що можуть привести до розуцільнення контрольних зразків бетону. Тому є очевидна необхідність створення та дослідження такої машини, в якій перехідні процеси були відсутні, або їх вплив на робочий процес був незначний.

### *Література*

1. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками
2. ДСТУ Б В.2.7-219:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Метод прискороного визначення міцності на стиск
3. ДСТУ Б В.2.7-223:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за зразками, відібраними з конструкцій
4. Вибрации в технике: Справочник. Т.2 / Под ред. И.И. Блехмана. – М.: Машиностроение, 1979.
5. Игнатьев М.Б., Ильевский Б.З., Клауз Л.П. Моделирование системы машин. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд – ие, 1986.
6. Назаренко И.И. Высокоэффективные виброформовочные машины. – К.: Выща шк., 1988.
7. Назаренко И.И. Машини для виробництва будівельних матеріалів: Підручник. – К.: КНУБА, 1999.
8. Назаренко И.И. Прикладні задачі теорії вібраційних систем. – К.: Слово, 2010.
9. Назаренко И.И. Вібраційні машини і процеси будівельної індустрії: Навчальний посібник. - К.: КНУБА, 2007.