

*О.М. Черевко, к.т.н., доц., Ю.О. Давиденко, к.т.н., доц.,
П.О.Черевко, студент
Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка*

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЇ НА ПРОЦЕС УЩІЛЬНЕННЯ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ

Розглядаються питання, пов'язані з ущільненням бетонних сумішей. Досліджується ефективність перехідних режимів роботи віброплощадки з керованими дебалансними віброзбуджувачами. Описується характер дії гармонічних нестационарних коливань на частинки бетонної суміші. Обґрунтовується функція керування рухомими дебалансами та досліджується її ефективність.

Ключові слова: бетонна суміш, нестационарне вібраційне поле, гармонічні нестационарні коливання, дія, силова функція керування, параметри, ущільнення.

Рассматриваются вопросы, связанные с уплотнением бетонных смесей. Исследуется эффективность переходных режимов работы виброплощадки с управляемыми дебалансными вибровозбудителями. Описывается характер действия нестационарных колебаний на частицы бетонной смеси. Обосновывается функция управления подвижными дебалансами и исследуется её эффективность.

Ключевые слова: бетонная смесь, нестационарное вибрационное поле, гармонические нестационарные колебания, воздействие, силовая функция управления, параметры, уплотнение.

The problems connected with condensation of a concrete mix by a non-stationary vibrating field are considered. The character of harmonic fluctuations influence on the processed environment is described in detail. The influence of conditions of compelling force formation conditions on concrete strength is studied. The dependence of a concrete mix condensation time on parameters of a non-stationary vibrating field is investigated.

KEY WORDS: concrete mix, non-stationary vibrating field, harmonic fluctuations influence, processed environment, compelling force formation, parameters, condensation.

Постановка проблеми. Удосконалення технології формування бетонних виробів іде шляхом зниження частоти, збільшення амплітуди коливань та більш ефективної передачі коливань бетонній суміші. Це призводить до значного збільшення потужності робочих двигунів і, як наслідок, роботи їх із значним недовантаженням у сталому режимі при одночасному перевантаженні в момент пуску. А перехід через проміжні резонанси веде до зниження надійності вузлів та деталей обладнання або його значної металомісткості.

Подальший розвиток вібраційної технології потребує вивчення та оптимізації режимів ущільнення з урахуванням реологічних властивостей бетонних сумішей, створення таких методів ущільнення, які дозволять суттєво підвищити енергонасиченість процесу віброущільнення, зменшити час формування та економічні показники в цілому. Розв'язання цих, а також інших проблем можливе на основі використання для привода вібраційної площадки керованих на ходу збуджувачів дебалансного типу і нестационарних режимів віброущільнення важких бетонів.

Вібраційне формування бетонної суміші – основний спосіб виготовлення залізобетонних виробів і конструкцій. Процес формування визначає не тільки якість бетону в конструкціях, а також і продуктивність технологічних ліній.

Найбільш раціональним може бути спосіб ущільнення, який урахує зміну властивостей бетонної суміші в процесі ущільнення. Для раціонального використання енергії, яка витрачається на бетонну суміш, необхідно знати, як змінюються її властивості в процесі вібраційної дії. Для ефективного ущільнення потрібно змінювати енергію вібраційного поля, що використовується для перекладання зерен важкого заповнювача. Тільки тоді можна отримати бетон більш щільної структури за менший час.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Широке застосування вібраційної техніки та технології дає змогу інтенсифікувати багато технологічних процесів, підвищити якість робіт, створити нові технології, котрі ґрунтуються на вібраційних ефектах [1, 2]. Академік К.В. Фролов стверджує, що вібраційна технологія є основою технологій майбутнього [3].

Досягнення вібротехніки, які спираються на фундаментальні дослідження теорії нелінійних коливань, відроджені в працях П.М. Алабужева, І.І. Блехмана, І.І. Биховського, І.Х. Гончаревича, А.П. Філіпова, К.В. Фролова, В.О. Кононенка, Б.І. Крюкова, Е.Е. Лавендела, Я.Г. Пановка, В.М. Потураєва, К.М. Рагульскіса, Л.І. Сердюка, В.М. Челомея, їх колег та учнів.

Значний внесок у розвиток теорії вібраційного ущільнення зробили відомі вітчизняні й зарубіжні вчені, такі як І.Н. Ахвердов, А.А. Афанасьєв, І.І. Биховський, Б.В. Гусєв, А.Є. Дьосов, В.Г. Зазимко, Е.П. Міклашевський, Г.Я. Куннос, І.І. Назаренко, К.О. Олехнович, І.Ф. Руденко, О.А. Савинов, І.Г. Совалов, Є.В. Лавринович, В.М. Шмигальський, П. Ребю, Р. Девіс, Х. Грін, Р. Лерміт, Ю. Сторк і багато інших [4 – 18].

Широке використання вібраційної техніки, численні теоретичні та експериментальні дослідження динаміки вібраційних машин дозволили виявити особливості їх роботи, пояснити і застосувати на практиці своєрідні ефекти, які виникають під час дії вібрації на нелінійні механічні системи.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується означена стаття. Вібраційна техніка набуває широкого застосування в технологічних процесах, а вібраційна технологія активно витісняє традиційні технології, забезпечуючи підвищення продуктивності праці та якості продукції, зменшення енергетичних витрат і собівартості. Керовані технологічні вібромашини, що з'явилися останніми роками, мають незвичайні поєднання корисних властивостей та дають змогу використовувати вібротехніку там, де ще зовсім недавно це вважалося недоцільним і малоперспективним.

Мета статті. Виходом із кризи для галузі виробництва збірного залізобетону може стати впровадження достатньо ефективного віброформувального обладнання, яке може виготовлятися або власними силами, або невеликими серіями на місцевих ремонтно-механічних заводах.

Необхідно провести аналіз існуючого вібраційного обладнання і встановити доцільність його застосування для ущільнення різноманітних бетонних сумішей.

Виклад основного матеріалу. Широке використання вібраційної техніки, численні теоретичні та експериментальні дослідження динаміки вібраційних машин дозволили виявити особливості їх роботи, пояснити і застосувати на практиці своєрідні ефекти, які виникають під час дії вібрації на нелінійні механічні системи.

Під впливом вібрації відбувається складний процес взаємодії частинок бетонної суміші між собою та збудником коливань. Деякі аспекти цього процесу недостатньо

досліджено. На даний час залишаються дискусійними запропоновані моделі й відповідні їм рівняння стану бетонної суміші, критерії ефективності ущільнення і якості поверхні виробів [19, 20].

Одним із напрямів розвитку уявлень про механізм віброущільнення є корпускулярний. Суть його зводиться до того, що при вібруванні бетонної суміші її частинкам передаються часті струси-коливання, які викликають значне зменшення внутрішнього тертя між частинками і цим переводять суміш у стан важкої рідини. Під час цього процесу окремі частинки бетонної суміші, рухаючись під дією сили ваги, намагаються зайняти положення, при якому об'єм бетону був би найменшим; при цьому бульбашки захопленого бетонною сумішшю повітря при правильних способах вібро-ущільнення витісняються на поверхню, а суміш ущільнюється під впливом власної ваги [21, 22].

Слід відмітити, що частинкам надаються різні швидкості коливань, значить, існує деякий градієнт швидкості, який і призводить до тиксотропної та ізотермічної зміни в'язкості системи. При однакових швидкостях коливання всіх частинок, які коливаються в одній фазі, жодного тиксотропного розрідження суміші не відбувається, а значить, не відбувається самоущільнення. Різниця в швидкостях руху частинок виникає внаслідок того, що їх розміри та щільність не однакові, і це обумовлює різний опір руху в даному середовищі.

Роботами низки авторів [23 – 26] доведено, що резонанс частинок практично не проявляється в процесі ущільнення, тому не впливає на вибір режимів віброущільнення.

Корпускулярна теорія пояснює, як бетон набуває густини та міцності за рахунок переважно руху вниз (у напрямку сили ваги). Однак вона не пояснює процеси розповсюдження коливань, які відповідають радіусу дії й однорідності ущільнення.

Паралельно з корпускулярним існує феноменологічне уявлення про механізм віброущільнення бетонної суміші. Його головною особливістю є те, що бетонна суміш розглядається як однорідне гомогенне середовище з деякою в'язкістю η та густиною ρ ; структура бетону при цьому не враховується.

Це уявлення розвивалось у трьох основних напрямках:

- реологічні дослідження, які вивчають залежність в'язкості від швидкості коливань та інших параметрів, пов'язаних із властивостями власне легкобетонної суміші, з визначенням фізико-технічних властивостей затверділого бетону й ін.;
- вивчення закономірностей розповсюдження коливань у необмеженому об'ємі бетонної суміші, коефіцієнтів затухання, мінімальних амплітуд і швидкостей коливань;
- вивчення закономірностей розповсюдження коливань в обмеженому об'ємі суміші з визначенням закономірностей відбиття хвиль від граней та утворення вузлів і пучків у суміші (хвильові уявлення).

Процес віброформування бетонних виробів полягає в повному руйнуванні нестійкої структури суміші, яка склалась під час перемішування, та створенні нової, більш щільної та стійкої структури [13, 27].

Ефективність формування й ущільнення залежить від багатьох різноманітних груп факторів: з одного боку, від зернового складу та фізико-механічних властивостей суміші; з іншого – від характеру динамічного впливу на суміш. І крім цього, механічні характеристики суміші значно змінюються під час власне формування бетонної суміші [10, 14].

За своїми фізико-механічними властивостями легкобетонна суміш займає проміжне положення між твердими тілами та рідинами і за анало-гією з колоїдними, дисперсними системами належить до структурованих систем [28, 29].

До останнього часу основна гіпотеза вібраційного ущільнення базувалась на уявленні про тиксотропне розрідження при вібрації розчинних та бетонних сумішей [23, 30]. При тиксотропному розрідженні часточки крупного наповнювача переміщуються й ущільнюються під дією сил ваги та масових сил інерції. Як наслідок існуючої гіпотези зумовлювалась необхідність використання високих частот як головної умови при віброущільненні бетонних сумішей. Б.В. Гусев [31] доповнив гіпотезу про вібраційне ущільнення бетонів низькочастотною асиметричною вібрацією. Він є автором нового напрямку в теорії та практиці цього способу. Використання в останні роки низькочастотних режимів віброущільнення не випадкове, а визначається підвищеною ефективністю ущільнення крупнодисперсних частинок, бо під дією вібрації з великими амплітудами виникають значні відносні переміщення й інтенсивніше долаються сили сухого тертя, які виникають між ними. У роботах А.С. Петрова [32] експериментально встановлено, що зі збільшенням жорсткості бетонної суміші та крупності заповнювачів амплітуду необхідно збільшувати.

У цілому питання про вибір оптимальної частоти й амплітуди віброущільнення на даний час залишається дискусійним [31 – 33]. Очевидно, що кожний конкретний спосіб ущільнення потребує певної оптимальної амплітудної ділянки залежно від властивостей бетонної суміші. Значення між мінімальною та максимальною амплітудами характеризують ділянку технологічної стійкості режимів віброущільнення [31].

П. Ребу стверджує [34], що вібрування не слід розглядати як засіб виправлення всіх недоліків, котрі були допущені під час підготовчих операцій (неякісний цемент, неточне дозування тощо). Вібрація породжує дію сил двох категорій: викликаних прискоренням коливань та в'язкості, які є наслідком дії перших. Бетонна суміш у заданий момент характеризується коефіцієнтом пластичної в'язкості, що є функцією складу бетону (гранулометрії, природи заповнювачів, умісту води й ін.) та параметрів вібрації (частоти, спрямованості, амплітуди тощо).

Рух частинок можна розглядати як невеликі періодичні коливання для великих і як суцільне завихрення дрібних частинок. Найкращим рішенням буде використання вібраторів двох частот: перша (менша) застосовується для наповнення та початкового ущільнення, друга (більша) – для завершення і доущільнення розчинної частини.

Вплив вібрації на процес ущільнення визначається в основному відносним рухом складових середовища, який викликає порушення структурних зв'язків. Але відносний рух складових середовища виникає не при будь-якому вібраційному впливі. Як стверджує П.П. Овчинников [35], вірогідність виникнення відносного руху більша в режимі роботи вібр машин зі змінною частотою й амплітудою, ніж у режимі з постійними параметрами. Значить, віброобробка середовища (бетонної суміші) зі змінними параметрами амплітуди та частоти є більш ефективною, ніж із постійними характеристиками.

Методика підбору змінної із часом частоти віброущільнення вперше дана й обґрунтована в роботі [36].

В.С. Бабій [37] доводить, що особливо ефективним є вібрування з постійною модуляцією частот, починаючи з більш низьких, поступово переходячи до більш високих.

Необхідність застосування керованих режимів ущільнення бетонних сумішей обґрунтовують у своїх працях В.Г. Зазимко та Б.І. Зиков [38, 39].

Таким чином, найбільш якісним буде ущільнення бетонної суміші під впливом нестационарного вібраційного поля, параметри котрого змінюються в процесі впливу на оброблюване середовище залежно від його властивостей і заданих характеристик [63].

Висновки.

1. Велика кількість різноманітного формувального обладнання свідчить про те, що конструктори намагались створити машину, яка б могла ефективно ущільнювати різноманітні бетонні суміші. При цьому вони практично вичерпали можливості відомих стаціонарних режимів ущільнення.

2. Назріла потреба у вібраційній машині з керованими дебалансними збуджувачами коливань, що дає змогу проводити пуск та зупинку в моменти, коли врівноважені частини, котрі обертаються. Цим розв'язуються одночасно дві проблеми: зменшується потужність привідного двигуна, яка визначається умовами пуску, та виключаються проміжні резонанси. Разом із цим постає питання про застосування перехідних режимів як робочих, що дозволяє керувати інтенсивністю вібраційних полів.

3. Найбільш якісним ущільнення бетонної суміші буде під впливом нестационарного вібраційного поля, параметри котрого змінюються в процесі впливу на оброблюване середовище залежно від його властивостей і заданих характеристик.

ЛІТЕРАТУРА

1. 1. Сердюк Л.И. *Основы теории, расчет и конструирование управляемых вибрационных машин с дебалансными возбудителями: автореф. дис. на соискание научн. степени докт. техн. наук /Л.И. Сердюк; ХПИ.– Х.,1991. – 48 с.*

2. 2. Блехман И.И. *Что может вибрация? О вибрационной механике и вибрационной технике /И.И. Блехман. – М.: Наука,1988. – 208 с.*

3. 3. Диминтберг Ф.М. *Вибрация в технике и человек /Ф.М. Диминтберг, К.В. Фролов.– М.: Знание,1987 – 160 с.*

4. 4. Баженов Ю.М. *Технология бетона /Ю.М. Баженов. – М.: Высшая школа,1987. – 415 с.*

5. 5. Зазимко В.Г. *Технология уплотнения бетонных смесей управляемой вибрацией: автореф. дис. на соискание научн. степени докт. техн. наук /В.Г. Зазимко; ВЗИСИ. – М.,1984.– 46 с.*

6. 6. Афанасьев А.А. *Использование волнового поля, возбуждаемого в бетонной смеси при импульсном формовании железобетонных изделий в вертикальном положении /А.А. Афанасьев // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1985. – № 4. – С. 45 – 47.*

7. 7. Ахвердов И.Н. *Основы физики бетона /И.Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.*

8. 8. Блехман И.И. *Стабильность рабочего режима вибрационных машин / И.И. Блехман, А.Д. Рудин. // Материалы научно-технической конференции. – М.: НИИИнфстройдоркоммунмаш, 1969. – С. 300 – 306.*

9. 9. Гусев Б.В. *Ударно-вибрационная технология уплотнения бетонных смесей /Б.В. Гусев, А.Д. Деминов, Б.И. Крюков. – М.: Стройиздат, 1982. – 150 с.*

10. 10. Куннос Г.Я. *Вибрационная технология бетона /Г.Я. Куннос. – Л.: Стройиздат, 1982. – 168 с.*

11. 11. Олехнович К.А. *Исследование характера многокомпонентных колебаний малошумных виброплощадок /К.А. Олехнович, Ю.И. Виноградов. – К., 1980. – 13 с. – Деп. в УкрНИИТИ № 2055.*

12. 12. Руденко И.Ф. *Теория вибрационного формования железобетона и ее применение в практике: автореф. на соискание науч. степени. докт. техн. наук /И.Ф. Руденко. М.,1980. – 48 с.*

13. 13. Савинов О.А. Теория и методы вибрационного формирования железобетонных изделий /О.А. Савинов, Е.В. Лавринович. – Л.: Стройиздат, 1972. – 153 с.
14. 14. Шмигальский В.Н. Формование изделий на виброплощадках /В.Н. Шмигальский. – М.: Стройиздат, 1968. – 104 с.
15. 15. Рамачандран В. Наука о бетоне /В. Рамачандран, Р. Фельдман, Дж. Бодуэн. – Л.: Стройиздат, 1986. – 278 с.
16. 16. Лермит Р. Проблемы технологии бетона /Р. Лермит. – М.: Госстройиздат, 1959. – 294 с.
17. 17. Garbotz Georg. Versuche und Ergebnisse beim Rütteln von Beton / Georg Garbotz // Boden und Jchotter om Institut fjr Baumaschinen und Baubetrieb un Jahren 1935 – 1963 Mitteilungen des Instituts fjr Baumaschinen und Baubetrieb dre Reinisc – Westfalischen Hochschule Dachen – Dachen 1977. – Helt 3.– S. 267– 285.
18. 18. Сивко В.Й. Механічне устаткування підприємств будівельних виробів /В.Й.Сивко. – К., 1994. – 70 с.
19. 19. Десов А.Е. Состояние и задачи теории формования бетонной смеси /А.Е. Десов// Матер. науч. сессии НИИЖБ «Теория формования бетона». – М., 1969.– С. 4 – 44.
20. 20. Десов А.Е. Технологическая механика бетона /А.Е. Десов, Г.Я. Куннос, А.К. Молмейстер. – Рига, 1976. – 263 с.
21. 21. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона / И.Н.Ахвердов.– М.: Стройиздат,1981. – 464 с.
22. 22. Murhy W.E. A survey of Past-War British Research on the Vibration of concrete / W.E. Murhy /Technical Report. – 1964. – №9 – P. 110 – 117.
23. 23. Бреслав И.Б. О собственной частоте колебаний частиц бетонной смеси / И.Б. Бреслав //Исследования по бетону и железобетону: сб. тр. – Рига: УИИ, Изд.Зинатне, 1965.– С. 41 – 55.
24. 24. Файтельсон Л.А. Собственные частоты колебаний частиц бетонной смеси и выбор режима виброуплотнения / Л.А. Файтельсон, И.Б. Бреслав //Структура, прочность и деформации бетонов: сб. тр. – М.: Стройиздат, 1966. – 152 с.
25. 25. Walz K. Deutscher Ausschuß fjr Stalbeton /K.Walz. – Berlin, 1957. – Heft 116.
26. 26. Teitge, I. DYBLO – Beitrag zur CAD-Technologie fjr dynamisch beanspruchte Blockfundamente /I. Teitge, B.Weichert // Bauplanung Bautechnik. – 1990. – №8. – S. 341.
27. 27. Гершберг О.А. Технология бетонных и железобетонных изделий / О.А. Гершберг. – М.: Стройиздат, 1971. – 360 с.
28. 28. Михайлов Н.В. О структурно-механических свойствах дисперсных и высокомолекулярных систем /Н.В. Михайлов, П.А. Ребиндер //Коллоид. журн.– 1955.– Т.17, №2.– С.107 – 119.
29. 29. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика /П.А. Ребиндер. – М.: Наука,1958. – 110 с.
30. 30. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур /П.А. Ребиндер. – М.: Наука, 1966. – 400 с.
31. 31. Гусев Б.В. Вибрационная технология бетона /Б.В. Гусев, В.Г. Зазимко. – К.: Будівельник, 1991. – 160 с.
32. 32. Петров А.С. Распространение колебаний в двухфазных структурированных системах /А.С. Петров, Б.А. Лишанский, Э.Э. Рафалес-Ламарка. // Инж.-физ.журн. – 1979. – Т.37, №4. – С. 613 – 619.

33. 33. Гусев Б.В. Основные направления развития вибрационного способа уплотнения бетонной смеси /Б.В. Гусев// Труды ин-та Дииит.– Д., 1975.– Вып. 175/2. – С. 3 – 27.
34. 34. Ребю П. Вибрирование бетона /П. Ребю; пер. с франц. – М.: Стройиздат, 1970. – 256 с.
35. 35. Овчинников П.Ф. Виброреология /П.Ф. Овчинников. – К.: Наукова думка, 1983. – 271с.
36. 36. Овчинников П.Ф. О механизме виброуплотнения строительных смесей /П.Ф. Овчинников, Е.Д. Кузьмин //Структура, прочность и деформации бетонов. – М.: Стройиздат, 1966. – С. 139 – 152.
37. 37. Бабий В.С. Исследование влияния переменных во времени параметров вибрации и удара на процесс уплотнения бетонных смесей: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук /В.С. Бабий – Д., 1980. – 22 с.
38. 38. Зыков Б.И. Управляемые режимы виброуплотнения бетонных смесей /Б.И. Зыков //Изв. вузов.Стр-во и архитектура. – 1986.– № 8. – С. 54– 59.
39. 39. Зыков Б.И. Определение рациональных режимов виброуплотнения пластифицированных бетонных смесей /Б.И. Зыков, Т.Н.Попов // Изв. вузов. – Стр-во и архитектура. – 1987.– № 2. – С. 47– 58.

Надійшла до редакції 05.03.2010 р.

© О.М. Черевко, Ю.О. Давиденко, П.О.Черевко