

УДК 693.546.42

Мартинюк І.Ю.<sup>1</sup>

## ОЦІНКА ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗМІНИ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОННОЇ СУМІШІ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇЇ УЩІЛЬНЕННЯ

*АННОТАЦІЯ. Розглянуто реологічну модель та основні характеристики зміни стану бетонної суміші при різних процесах віброуцільнення.*

*Ключові слова: бетонна суміш, реологічна модель, ущільнення, вібрація.*

*АННОТАЦИЯ. Рассмотрены реологическая модель и основные характеристики изменения состояния бетонной смеси при различных процессах виброуплотнения.*

*Ключевые слова: бетонная смесь, реологическая модель, уплотнения, вибрация.*

*SUMMARY: Rheological model and the basic characteristics of changing the state of the concrete mix at different densification process was considered.*

*Keywords: concrete mix, rheological model, seals, vibration.*

**Актуальність теми.** Дослідженню технологічного процесу виробництва бетонних і залізобетонних присвячено значну кількість робіт [1-4], згідно з якими його можна поділити на такі технологічні операції: підбір складу бетону, приготування і транспортування бетонної суміші, її укладання і ущільнення, а також забезпечення необхідного режиму твердіння бетону.

Укладання і ущільнення бетонної суміші є основними технологічними операціями, що значною мірою визначають міцність, якість і довговічність бетону, тому що саме вони повинні забезпечувати максимальну щільність свіжосформованого бетонного виробу. В даний час основним і найбільш ефективним способом укладання і ущільнення бетонної суміші є вібраційний метод ущільнення, заснований на зміні властивостей бетонної суміші [9], які проявляються у вигляді розрідження бетонної під дією вібрації. Тому дослідження і визначення істинного впливу вібрації на процес ущільнення є задачею актуальною.

**Вклад основного матеріалу.** Головною вимогою до ущільнення бетонної суміші є забезпечення максимальної щільності свіжосформованого виробу, яку можна охарактеризувати коефіцієнтом ущільнення [3]:

$$k_y = \frac{\rho_{\bar{a}}}{\rho_0} \geq 0.98, \quad (1)$$

де  $\rho_{\bar{a}}$  - щільність свіжосформованого бетону;  $\rho_0$  - абсолютна щільність бетону. Для отримання якісного бетонного виробу значення має бути не менше 0.98.

На частки всередині ущільнюваної бетонної суміші діють сили внутрішнього тертя, зчеплення, інерції, реакції форми і тяжіння. Їх величина залежить від поверхні, через яку передаються коливання, характеру змушуючої сили, гранулометричного складу бетонної суміші, водоцементного відношення. Під дією цих сил можна виділити три типи руху частинок бетонної суміші [4, 6]: індивідуальний рух кожної частинки (положення рівноваги в обсязі суміші), коливальний рух бетонної суміші як суцільного середовища і рівномірне переміщення частинок з одного положення рівноваги в інше, що відбувається, переважно, в поверхневому шарі.

Слід зазначити, що позитивний вплив на ущільнення

бетонної суміші надає лише сила тяжіння, яка прагне ущільнити бетонну суміш у певному напрямку. Її дія ще більш посилюється в результаті того, що при поширенні коливальних в бетонній суміші різко зменшуються сили внутрішнього тертя, внаслідок її тиксотропного розрідження.

При віброуцільненні бетонної суміші відбувається два одночасно протікаючих процеси: ущільнення і формоутворення [8]. Процес ущільнення умовно можна поділити на три основні стадії: укладку складових, їх зближення і компресійне обтиснення [4].

У початковому стані жорстка бетонна суміш нагадує сипуче тіло, що володіє деяким зчепленням і значним вмістом повітря (до 15% від загального обсягу бетонної суміші). Протягом першої стадії відбувається перекомпонування зерен заповнювача, що прагнуть зайняти більш стійке положення один щодо одного. Тривалість цієї стадії 20-30 с залежно від жорсткості бетонної суміші, віброуцільнення рекомендується проводити [6, 7] на частотах 10-25 Гц. Стадія характеризується різким збільшенням щільності бетонної суміші, і як наслідок зміною її об'єму.

На другій стадії відбувається зближення частинок суміші і їх обволікання цементним тістом. Тривалість стадії при стандартних ущільнюючих пристроях 120-180 с, залежно від жорсткості бетонної суміші. Ця стадія характеризується появою великої кількості контактів між зернами, значним видаленням повітря, переміщенням цементного тіста і порівняно малою зміною щільності. Однак саме ця стадія віброуцільнення зумовлює необхідні властивості бетону. Для інтенсивного протікання процесу ущільнення, даній стадії пропонується [6, 7, 10] проводити віброуцільнення на частотах 40-60 Гц, при переважно вертикальних складових напрямках коливальних.

Третя стадія компресійного доущільнення у технології збірного залізобетону забезпечується лише при підвищенні статичного тиску, наприклад застосування пневмопривантажувача. Застосування високих тисків дозволяє заповнити цементним тістом порожнечі в заповнювачі, більш рівномірно розподілити воду і обжати контакти між зернами.

При формоутворенні, що протікає одночасно з ущільненням, здійснюється надавання виробу, що виготовляється, певної конфігурації і заданих геометричних розмірів. Формоутворення при використанні жорстких сумішей закінчується, головним чином, на другій стадії [10].

Варто відмітити, що основним показником якості бетонних виробів є міцність, забезпечення якості поверхні та геометричних параметрів.

Міцність бетону залежить від міцності складових його матеріалів і від міцності зчеплення їх один з одним. Міцність заповнювача, як правило, вибирається вище заданої марочної міцності бетону і тому мало на неї впливає. Виходячи з цього міцність бетону можна визначити наступними факторами [11]: міцністю затверділого цементного каменю і міцністю його зчеплення з заповнювачем.

Міцність цементного каменю залежить від мінералогічної активності в'язучої речовини (цементу) і співвідношення кількостей цементу та води (Ц/В) [11]. Залежність міцності цементного каменю від Ц/В співвідношення можна пояснити тим, що чим більше в бетоні буде вільною, хімічно не зв'язаною води, тим більше буде пор в цементному камені через її випаровування і, відповідно, нижче його міцність (рис. 1). В роботі [9] встановлено, що недоущільнений бетон на 5%, тягне за собою зменшення його міцності приблизно на 30 %, а недоущільнений на 10 % може більш ніж в 2 рази знизити його міцність.

З іншого боку, якщо не забезпечити необхідну легкоукладальність бетонної суміші то виникає її недоущільнення, і як наслідок порушення однорідності структури бетону через появу значної кількості повітряних порожнеч, що негативно впливають на його міцність.

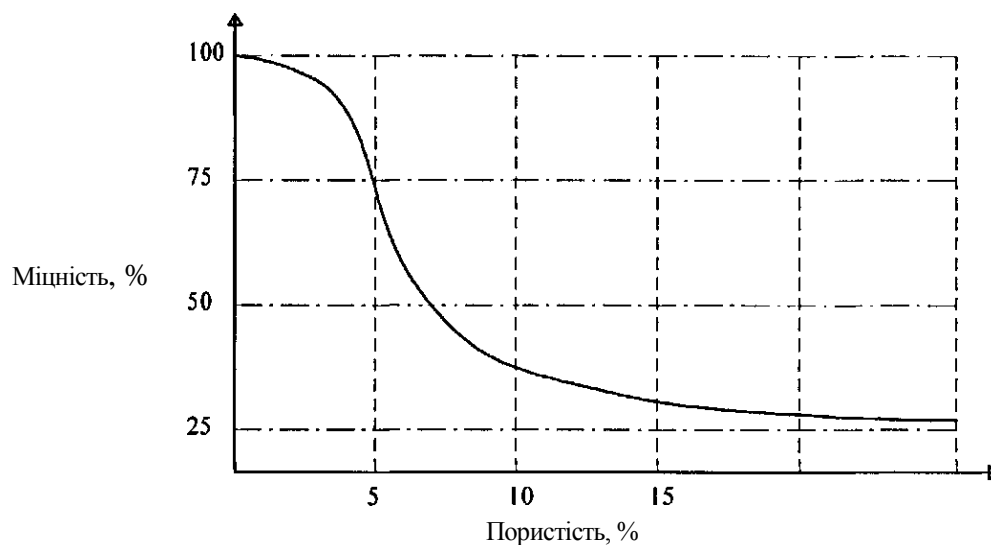


Рис. 1. Залежність міцності бетону від пористості свіжо сформованої бетонної суміші.

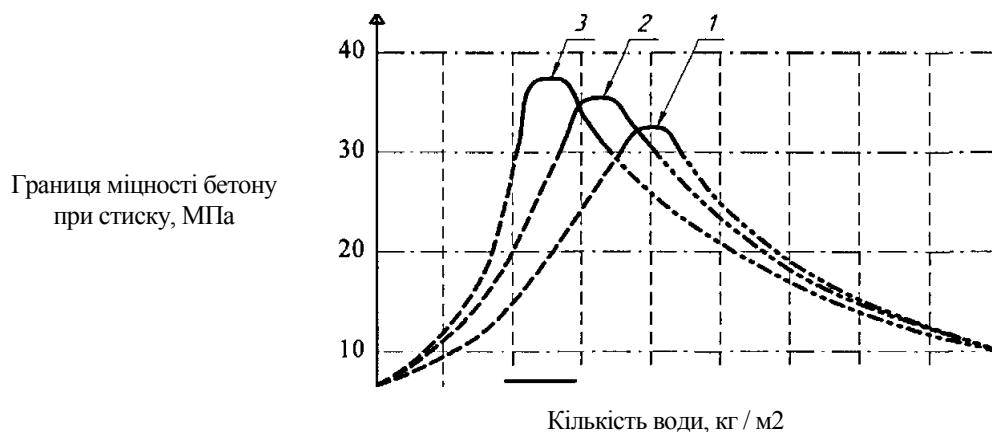


Рис. 2. Залежність міцності бетону від кількості води замішування і способу ущільнення (при незмінній витраті цементу).

Експериментальна крива (рис. 2) засвідчує, що використання більш жорстких сумішей при поліпшенні умов ущільнення веде до досягнення більшої марочної міцності бетону з можливістю зниження витрати цементу. Цим однозначно доводиться економічна доцільність застосування ефективних способів ущільнення бетонної

суміші, шляхом встановлення істинного стану суміші після її ущільнення. При цьому варто відмітити, що стандарт передбачає чіткі значення амплітуди і частоти коливання, разом з тим будь-яка вібраційна машина має лише режими пуску, перехідний, сталий та виключення. Цілком очевидно, що в більшості режимів амплі-

літуда як і частота можуть змінюватися. Тому проблема полягає в пошуку таких рішень, як в конструктивному відношенні, так і в точності розрахунків на заданий, стабільний режим роботи.

Отже, процес віброущільнення бетонної суміші на різних стадіях підпорядковується різним закономірностям зважаючи на значні зміни її реологічних властивостей в процесі віброущільнення та зміну параметрів. Тому при створенні установок для віброущільнення, синтезі законів зміни параметрів віброколивачів важливе

значення має дослідження особливостей поведінки бетонної суміші як багатокомпонентної середовища при динамічному впливі на неї.

Для наочності подання, оцінки напружено-деформованого стану та зміни пружно-дисипативних властивостей бетонної суміші в процесі віброущільнення різними дослідниками в різний час було розроблено більше десятка реологічних моделей поведінки ущільненої бетонної суміші.



*Рис. 3. Стадії ущільнення, їх характеристики та реологічні моделі.*

У багатьох роботах [6, 7, 8] говориться про необхідність зміни цих параметрів у процесі віброущільнення.

Однак, до теперішнього часу не розроблено ефективних пристроїв, зручних для оцінки впливу зміни параметрів на процес ущільнення бетонної суміші.

Розроблена конструктивна схема вібромайданчика та застосування дискретно-континуальної схеми «вібромайданчик - бетонна суміш» із врахуванням взаємовпливу та дії приводу дає можливість вирішити проблему контролю якості ущільнення та запропонувати нові конструктивні рішення.

## Висновки

1. Виявлені основні характеристики зміни стану бетонної суміші при її віброущільненні.
2. Сформовані показники процесу ущільнення та стадії отримання готового виробу.
3. Обґрунтована реологічна модель бетонної суміші, що змінюється в залежності від стану та процесу ущільнення.

## Література

1. Назаренко І.І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем: Навчальний посібник. – К.: Слово, 2010. – 440с.
2. Назаренко И.И. Высокоэффективные виброформовочные машины. – К.: Выща шк., 1988. – 140 с.
3. Чубук Ю.Ф., Назаренко И.И., Гарнец В.Н. Вибрационные машины для уплотнения бетонных смесей. – К.: Выща шк., 1986. – 168 с.
4. Сивко В.И. Основы механики вибрируемой бетонной смеси. – К.: Вища шк., 1987. – 168 с.
5. Яковенко В.Б. Элементы прикладной теории вибрационных систем. – К.: Наук. думка, 1992. – 218 с.
6. Куннос Г.Я. Реология бетонных смесей, сырца и бетона. -Рига: Риж.политехи.ин-т, 1979. 80 с.
7. Куннос Г.Я. Реологические модели тела с различным поведением при нагружении и разгрузке. В кн.: Технологическая механика бетона. Рига; Риж.политехи.ин-т, 1978, вып.3,с. 52-73.
8. Зазимко В.Г. Технология уплотнения бетона с управляемой вибрацией.: Автореф. дис. д-ра техн. наук.: - М., 1984-46с.
9. Баженов Ю.М. Технология бетона: Учеб.пособие. - 2-е изд.,перераб. - М.: Высш.шк., 1987.-415с.
10. Савинов О.А., Лавринович Е.В. Теория и методы вибрационного формования железобетонных изделий. - Л.: Изд-во лит-ры по строительству, 1972. -153с.
11. Строительные материалы и изделия: Учеб. /К.Н. Попов, М.Б. Каддо. - М.:Высшая школа, 2002. - 367 с.