

УДК 534

Б.В.Корнійчук, доцент КНУБА

ОЦІНКА ПРУЖНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БЕТОННОЇ СУМІШІ ПРИ УЩІЛЬНЕННІ ЇЇ НА ВІБРОУСТАНОВЦІ З ВЕРТИКАЛЬНИМ РОЗТАШУВАННЯМ ЗБУДНИКІВ КОЛИВАНЬ

АНОТАЦІЯ. Проведена оцінка пружно-деформованого стану бетонної суміші при ущільненні її на віброустановці з вертикальним розташуванням збудників коливань.

АННОТАЦИЯ. Проведенная оценка упруго-деформированного состояния бетонной смеси при уплотнении ее на виброустановке с вертикальным расположением возбудителей колебаний.

ANNOTATION. Conducted estimation of the resiliently-deformed state of concrete mixture at the compression of her on vibrosetting with the vertical location of causative agents of vibrations.

Актуальність роботи. Залізобетонні кільця займають цільне місце в будівництві і є одним із найбільш поширеним виробом. Виходячи із загальної схеми виробу, що являє собою конструкцію, в котрій співвідношення висоти виробу до його діаметру є величини одного порядку, а товщина кільця складає 8 – 10 мм і тому в загальному підході такі вироби відносяться до трубчастих. Трубчасті вироби виготовляються достатньо широкою гамою методів: статичним, динамічним та змішаним (статично-динамічним).

Дослідження напружено-деформованого стану бетонної суміші при дії на неї динамічних та статичних навантажень відкриває можливість для визначення параметрів віброустановки.

Методика та результати досліджень. Визначення основних параметрів вібраційних установок: амплітуди коливань, часу ущільнення, тиску присвячено ряд робіт [1-7].

Тиск p_d в роботі [3] визначається:

$$p_d = \frac{m_o \cdot \omega^2 \cdot X_{p.o.}}{S} \cdot \sqrt{1 + (2 \cdot \xi \cdot r)^2} \cdot \aleph, \quad (1)$$

де: m_o – маса бетонної суміші; ω – кутова частота вимушених коливань; $X_{p.o.}$ – амплітуда коливань робочого органу; S – площа перерізу суміші на якій визначається тиск; ξ – безрозмірний коефіцієнт згасання коливань; r – співвідношення вимушених (ω) і власних (ω_0) частот коливань; $\aleph = \frac{X_c}{X_{p.o.}}$ – відношення амплітуди коливань суміші до амплітуди робочого органу.

Правомочність формули (1) перевірялося в роботі [3] двома способами: порівнянням числових значень тиску дійсних і розрахункових, і способом співставлення коефіцієнтів в'язкого опору, що визначаються із рішення рівнянь вимушених гармонійних коливань з урахуванням в'язкого опору бетонної суміші і добротності піка в зоні резонансу. В цитуємій роботі [3] відмічається, що фактичні значення тиску бетонної суміші на елементи форми (експерименти проводилися на вібротрампаді з формою, що мала висоту $h = 0,4-0,5$ м на бортах якої встановлювалися датчики тиску) співпадають і навіть перевищують розрахункові значення за умови, як вказує автор роботи [3], без урахування коефіцієнта динамічності:

$$k_d = \sqrt{1 + (2 \cdot \xi \cdot r)^2} \cdot \aleph.$$

За континуальною моделлю можна відмітити дві залежності – для частотозалежного і частотонезалежного опору бетонної суміші. Для частотозалежного опору [4,7] формула для визначення напруження має вигляд:

$$\sigma = E \cdot \xi + \eta \cdot \dot{\xi}, \quad (2)$$



де E , ξ і η – модуль пружності, деформація і коефіцієнт в'язкості;

$$E = \frac{\rho \cdot \omega^2 \cdot (K^2 - \alpha^2)}{\sqrt{(K^4 - \alpha^4)^2 + 4 \cdot K^2 \cdot \alpha^2 \cdot (\alpha^2 + K^2)^2}}; \quad \eta = 2 \cdot E \cdot \frac{\alpha}{c \cdot (K^2 - \alpha^2)};$$

K – хвильове число $\left(K = \frac{\omega}{c}\right)$; ρ – щільність, λ – довжина хвилі; c – швидкість розповсюдження хвиль; α – коефіцієнт згасання.

Середні значення для частоти коливань $\omega = 314 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ мають значення [7]

$$\rho = 2000 \dots 2400 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \quad \lambda = 90 \text{ см}; \quad c = 46 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad \alpha = 0,01 \text{ см}^{-1}; \quad E = 45 \cdot 10^6 \frac{\text{дан}}{\text{см}^2}; \quad \eta = 4,5 \cdot 10^4 \text{ нз}.$$

При частотнезалежному опорі [1] формула для визначення напруження має вигляд:

$$\sigma = E \cdot \xi + i \cdot E \cdot \xi \cdot \gamma \quad (3)$$

де i – уявна одиниця, що вказує на поворот вектора непружної складової $E \cdot \xi \cdot \gamma$ відносно пружної $E \cdot \xi$ на кут $\frac{\pi}{2}$. Формула (3) для отримання тиску в зоні контакту приводиться до

$$\text{виду [1]:} \quad \sigma = \frac{m_c \cdot X_c \cdot \omega^2}{S} \cdot \sqrt{a^2 + d^2},$$

де a , d – хвильові коефіцієнти:

$$a = \frac{\alpha \cdot \text{Sh}2\alpha \cdot h + \beta \cdot \sin2\beta \cdot h}{h \cdot (\alpha^2 + \beta^2) \cdot [ch2\alpha \cdot h + \cos2\beta \cdot h]}, \quad (4); \quad d = \frac{\alpha \cdot \sin2\beta \cdot h - \beta \cdot \text{Sh}2\alpha \cdot h}{h \cdot (\alpha^2 + \beta^2) \cdot [ch2\alpha \cdot h + \cos2\beta \cdot h]}; \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{\omega}{c} \cdot \sqrt{\frac{\sqrt{1+\gamma^2} - 1}{2 \cdot (1+\gamma^2)}}, \quad (6); \quad \beta = \frac{\omega}{c} \cdot \sqrt{\frac{\sqrt{1+\gamma^2} + 1}{2 \cdot (1+\gamma^2)}}; \quad (7)$$

де c – швидкість розповсюдження хвиль в стовпі суміші висотою h ; γ – коефіцієнт опорі.

У якості розрахункової приймається формула (3) із допущеннями, що хвильові явища в площі дії віброоргану відсутні, оскільки товщина виробу є незначною у порівнянні із довжиною хвилі, а в такому випадку [1] таке припущення є справедливим. Отже для визначення тиску в зоні дії силового навантаження визначається амплітуда коливань X_c ,

переріз S і маса m'_c на яку діє це навантаження. Співвідношення $\frac{\omega}{c}$ приймається за даними робіт [1,7], що мають експериментальне підтвердження.

Вплив бетонної суміші оцінювали за результатами дослідів шляхом порівняння амплітуд коливання незавантаженої форми і завантаженої в сталому режимі, виходячи із передумови, що віброустановка є системою із однією ступінню вільності. За таких умов амплітуда вимушених коливань віброустановки без суміші визначалася за результатами вимірів із сумішшю і без них.

Основна ідея при визначенні конструкції установки [8] полягала в намаганні наблизити її до можливої реалізації, заявленої в патенті [9] щодо перевірки ефективності зміни діючої сили по висоті установки, що дає рівний розподіл амплітуди коливань по висоті стовпа суміші і отримати допоміжний ефект ущільнення завдяки появі деякого моменту по діаметру кільця, який полегшує переміщення частинок суміші збільшуючи таким чином рівно щільність виробу по його висоті.

В результаті проведених експериментальних досліджень було встановлено характер руху установки та числові значення амплітуд горизонтальних і вертикальних коливань (табл. 1 і табл. 2).

Перша серія дослідів виконувалася з метою оцінки зміни амплітуди коливань по висоті форми та визначити вплив маси бетонної суміші на амплітуду коливань.

Таблиця 1.

Числові значення горизонтальних амплітуд коливань по висоті форми.

| № серії дослідів | № досліду | Точка заміру амплітуди, A_i , мм | | | | | |
|------------------|-----------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | A_1 | A_2 | A_3 | A_4 | A_5 | A_6 |
| I | 1 | 0,41 | 0,43 | 0,44 | 0,5 | 0,55 | 0,58 |
| | 2 | 0,35 | 0,4 | 0,43 | 0,47 | 0,5 | 0,57 |
| | 3 | 0,3 | 0,34 | 0,36 | 0,38 | 0,45 | 0,51 |
| | 4 | 0,25 | 0,28 | 0,31 | 0,36 | 0,42 | 0,45 |
| II | 1 | 0,37 | 0,41 | 0,47 | 0,52 | 0,54 | 0,56 |
| | 2 | 0,38 | 0,42 | 0,44 | 0,48 | 0,53 | 0,54 |
| | 3 | 0,46 | 0,48 | 0,51 | 0,5 | 0,56 | 0,6 |
| | 4 | 0,45 | 0,5 | 0,52 | 0,55 | 0,52 | 0,54 |
| | 5 | 0,45 | 0,48 | 0,51 | 0,54 | 0,58 | 0,62 |
| III | 1 | 0,5 | 0,52 | 0,55 | 0,58 | 0,61 | 0,64 |
| | 2 | 0,45 | 0,47 | 0,51 | 0,53 | 0,58 | 0,6 |
| | 3 | 0,43 | 0,48 | 0,54 | 0,58 | 0,61 | 0,62 |
| | 4 | 0,4 | 0,45 | 0,47 | 0,5 | 0,54 | 0,57 |
| | 5 | 0,37 | 0,41 | 0,45 | 0,48 | 0,51 | 0,53 |

Таблиця 2.

Числові значення вертикальних амплітуд коливань по висоті форми.

| № серії дослідів | № досліду | Точка заміру амплітуди, мм | | | | |
|------------------|-----------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 |
| I | 1 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,22 | 0,25 |
| | 2 | 0,14 | 0,16 | 0,18 | 0,20 | 0,21 |
| | 3 | 0,12 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,19 |
| | 4 | 0,1 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,14 |
| II | 1 | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,21 | 0,22 |
| | 2 | 0,18 | 0,17 | 0,16 | 0,19 | 0,21 |
| | 3 | 0,19 | 0,20 | 0,20 | 0,21 | 0,22 |
| | 4 | 0,20 | 0,21 | 0,23 | 0,22 | 0,24 |
| | 5 | 0,21 | 0,22 | 0,23 | 0,23 | 0,25 |
| III | 1 | 0,2 | 0,23 | 0,24 | 0,25 | 0,27 |
| | 2 | 0,18 | 0,19 | 0,20 | 0,21 | 0,22 |
| | 3 | 0,16 | 0,17 | 0,19 | 0,20 | 0,20 |
| | 4 | 0,17 | 0,18 | 0,20 | 0,21 | 0,24 |
| | 5 | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,19 |

Відмічено, що із збільшенням часу вібрації (перший дослід замірявся на 10 с. ущільнення з амплітудою коливань $A_{сер} = \sum_1^6 \frac{A_i}{6} = 0,485$ мм) амплітуда коливань дещо зменшується і на завершальній стадії замірів ($t_{ви} = 60$ с) середня амплітуда коливань в першій точці складає величину $A_{сер} = 0,345$ мм. Різниця амплітуд коливань має величину 0,12 мм, що складає 35% від кінцевого значення амплітуди коливань. Зменшення амплітуди коливань для даного дослідження очевидно пояснюється двома обставинами. Перше, це збільшення впливу маси суміші із збільшенням щільності, а по друге – такий характер зміни пояснюється тим, що віброустановка для даної серії дослідів працює в зарезонансному режимі. Розрахунки за першою серією досліджень підтверджують ідентичність зміни поведінки установки для всіх точок, де здійснювалися заміри.

Значення амплітуди вертикальних коливань заміряли на дні форми (X_1) (основа віброустановки), на висоті розташування першого вібратора (X_2), між першим і другим вібратором (X_3) на висоті розташування другого вібратора (X_4) і на верхній частині



форми (X_5). На відміну від горизонтальних амплітуд коливань характер розподілу не є стабільним і характерним як для горизонтальних амплітуд. Так, амплітуда коливань на основі форми – характер зміни ідентичний до горизонтальних, тобто по мірі ущільнення амплітуда вертикальних коливань дещо зменшується від значень $X_1 = 0,15$ мм (1^й дослід) до значення $X_2 = 0,1$ мм (див. табл.2). Така зміна пояснюється збільшенням навантаження від ущільнюючого середовища. В той же час для другої серії дослідів в точці дії першого віброзбудника (X_2) немає чіткого характеру зміни амплітуди коливань: для першого досліді $X_2 = 0,18$ мм, а для другого досліді цієї серії маємо зменшення амплітуди коливань до значення $X_2 = 0,17$ мм. Подібна зміна відмічається для точок X_4 і X_5 для дослідів 3 і 4 третьої серії: $X_4 = 0,21$ мм (2^й дослід) і $X_4 = 0,20$ (3^й дослід). Пояснити таку зміну амплітуди коливань можна за рахунок складних форм коливань в зоні двох віброзбудників коливань. Щодо числових значень амплітуд вертикальних коливань, то варто відмітити, що їхнє значення має бути в межах $X_g = 0,18...0,22$ мм, що для просторових коливань така величина є достатньою для задовільного ущільнення бетонної суміші при наявності горизонтальних коливань в межах $X_2 = 0,4...0,55$ мм.

За результатами цих дослідів було розраховано напружено-деформований стан кільця та визначено методику розрахунку експериментальних параметрів віброустановки.

Висновки.

1. Вибрано і обґрунтовано методики визначення параметрів напружено-деформованого стану бетонної суміші при ущільненні її на віброустановці з вертикальним розташуванням збудників коливань із змінними та розподіленими параметрами.

2. Отримані експериментально-аналітичним шляхом числові значення тиску в середній частині форми змінюються в невеликих межах (відхилення складає величину 9...11 %) і мають числові значення $1,1...1,4 \frac{H}{см^2}$. Визначені сили тертя об борта форми, вплив кута зсуву фаз між дебалансами вібраторів та амплітуду коливань на тиск, на енергію установки. Виявлено, що при куті зсуву фаз $\frac{\pi}{2}$ між дебалансами забезпечується найбільш ефективний режим ущільнення.

Література

1. Назаренко І.І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем (2-ге видання). –К.: Видавничий дім «Слово», 2010, -440 с.
2. Гусев Б.В., Деминов А.Д., Крюков Б.И. и др.. Ударно-вибрационная технология уплотнения бетонных смесей. –М.: Стройиздат, 1982, -152 с.
3. Карамзин В.Е., Синева Е.А. Взаимодействие бетонной смеси с формой при вибрационном уплотнении // Новые представления о работе поддонов формы. –М.: НИИЖБ, ВУМ –Прага, 1972, с. 80-92.
4. Шмыгальский В.Н. Виброуплотнение бетонных смесей. –В кн.: Технологическая механика бетона. –Рига, РПИ, 1985, с. 115-127.
5. Осмаков С.А., Брауде Ф.Г. Виброударные формовочные машины. –Л.: Стройиздат, 1976, -128 с.
6. Сивко В.И. Основы механики вибрируемой бетонной смеси. К.: Высш. шк., 1987, -168 с.
7. Файтельсон Л.А., Бриедис И.П. Определение коэффициента затухания в бетонной смеси. // Исследование по бетону и железобетону. –Рига, вып. 8.
8. Корнійчук Б.В. Експериментальні дослідження робочих параметрів віброустановки з вертикальним розташуванням збудників коливань / Корнійчук Б.В. // Техніка будівництва. – 2009. – №23. – С. 43-52.
9. Назаренко І.І., Баранов Ю.О., Корнійчук Б.В. Корчагін М.М. Установка для формування трубчастих виробів з бетонних сумішей. Патент на корисну модель. UA 25881 U, Бюл. №13, 2007.