

УДК 691

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ И АНАЛИЗА РАЗМЕРНОСТЕЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВОЛНОВЫХ ЯВЛЕНИЙ

Б.В. ГУСЕВ, доктор техн. наук, профессор, член-корр РАН, Московский государственный университет путей сообщения;
Д.И. ОЛЕНИЧ, аспирант, **М. НУРЫЕВА**, магистрант, МИИТ, г. Москва

Ключевые слова: теория, анализ, колебания, бетонная смесь, распространение волн, величина давления, вибрационное оборудование
Keywords: theory, analysis, vibrations, concrete mixture, wave propagation, pressure value, vibration equipment

Авторы рассматривают вопросы применения теории подобия и анализа размерностей для изучения колебаний столба бетонной смеси на виброплощадках. Выполнен анализ безразмерных комбинаций и показано определяющее влияние свойств бетонной смеси на процессы колебаний столба для одного типа виброоргана, а также массы и упругости пружин самого виброоргана на колебательный процесс в системе «площадка – столб бетонной смеси».

Распространение волн в сплошных упругих средах, их взаимодействие и отражение на границе среды является важным элементом в конструкциях оборудования для различных областей техники (вибрационное оборудование, сейсмика). Авторами рассматриваются эти явления с использованием теории подобия [1] и анализом безразмерных комбинаций, которые определяют условия взаимодействия волн и возникающие при этом величины давления и ускорения.

Основы метода анализа безразмерных комбинаций состоят в следующем. Исследуемый процесс можно представить в виде многочлена, состоящего из безразмерных комбинаций a_1, a_2, a_3, \dots , и т.д. В первом приближении такой многочлен имеет следующий вид:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + a_{n+1}x_1^2 + \dots + a_{2n}x_{2n}^2, \quad (1)$$

где n – число факторов, влияющих на процесс; x_1, x_2, \dots, x_n – безразмерные комбинации.

По абсолютным значениям безразмерных комбинаций можно ориентировочно судить о степени их влияния на величину функции или о преобладающем их влиянии на изучаемый процесс [2].

Нами рассмотрен процесс волновых явлений при уплотнении бетонной смеси на виброплощадках и на экспериментальных стендах. При взаимодействии бетонной смеси с виброорганом возникает отражение волн, их сложение. Бетонная смесь может быть недоуплотнена в зонах с минимальными амплитудами по давлению или ускорению колебаний. В столбе могут возникать стоячие волны, зоны высокого давления и т.д. Эти обстоятельства определяют процесс уплотнения массивных изделий на виброплощадках, а при изучении его возникают сложности в моделировании. Моделирование необходимо осуществлять в таких условиях, чтобы основное влияние на процесс взаимодействия оказывали свойства самой смеси. Ниже, в табл. 1, приведены основные параметры, влияющие на процесс взаимодействия и их размерности.

Таблица 1. Основные параметры, влияющие на процесс взаимодействия

№	Основные параметры	Размерности
1	модуль упругости столба бетонной смеси, E	K/L^2
2	площадь столба бетонной смеси, F	L^2
3	высота столба бетонной смеси, h	L
4	погонная масса бетонной смеси, m	Kt^2/L^2
5	частота собственных колебаний, p	$1/t$
6	жесткость пружин, c	K/L
7	масса виброплощадки (виброоргана), M	Kt^2/L^2

В качестве определяющих параметров принимаем: силу [K], время [t], длину [L]. Число безразмерных комбинаций будет равно: $7-3=4$. При составлении комбинаций следует принять во внимание, что частота собственных колебаний должна быть связана с массой и жесткостью как самой площадки, так и бетонной смеси. Учитывая сказанное, можно получить безразмерные комбинации в следующем виде:

$$1) \frac{mh^2p^2}{EF} \quad 2) \frac{M^2p^2}{mEF} \quad 3) \frac{EFmp^2}{c^2} \quad 4) \frac{Mp^2}{c} \quad (2)$$

Рассмотрим значимость безразмерных комбинаций для двух случаев взаимодействия столба бетонной смеси с виброорганом в виде:

- лабораторного стенда типа ВЭДС-100Б, характеризующегося малой жесткостью пружин $C_d=50$ кг/см и небольшой массой стола $M_d=5410^{-3}$ кг·с²/см;

- виброплощадки с жесткостью пружин $C_b=2410^4$ кг/см и массой стола $M_b=5$ кг с²/см.

Остальные параметры были равны:

$$E=100 \text{ кг/см}^2, F=100 \text{ см}^2, h=20 \text{ см}, m=2,3 \times 10^{-4} \text{ кг·с/см}^2.$$

Для случая взаимодействия столба бетонной смеси с виброорганом на стенде безразмерные комбинации будут равны:

$$1) 9,2 \times 10^{-6}p^2; 2) 2,2 \times 10^{-3}p^2; 3) 9,2 \times 10^{-4}p^2; 4) 1 \times 10^{-4}p^2. \quad (3)$$

Для случая взаимодействия столба с виброплощадкой безразмерные комбинации будут соответственно равны:

$$1) 9,2 \times 10^{-6}p^2; 2) 1,1 \times 10^1p^2; 3) 5,7 \times 10^{-9}p^2; 4) 2,5 \times 10^{-4}p^2. \quad (4)$$

Для условий вибростенда наибольшее значение безразмерной комбинации (3.1) будет максимальным. Таким образом, на процесс взаимодействия определяющее влияние оказывают свойства самой бетонной смеси. В этом случае при изучении процесса взаимодействия на стенде можно определять параметры бетонной смеси.

Совершенно другая картина наблюдается при взаимодействии столба с промышленной виброплощадкой. Максимальное значение безразмерной комбинации (4.3) показывает, что максимальное значение в процессе взаимодействия определяют масса бетонной смеси и жесткость упругих элементов.

Используя безразмерную комбинацию (2.1), можно ориентировочно определить условия резонанса столба бетонной смеси:

$$\frac{mh^2 p^2}{EF} = c \quad (5)$$

где c – константа, равная $(2\pi)^2$.

Если учесть, что распределенная масса бетонной смеси $m = \rho F$, тогда из уравнения (5) можно получить:

$$h = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \cdot 2\pi\omega \quad (6)$$

Для условий резонанса собственная частота p равна частоте возмущающей силы f , а $2\pi\omega$. Выражение $\sqrt{\frac{E}{\rho}}$ является скоростью распространения продольных волн в бетонной смеси V . В этом случае высота слоя в условиях резонанса при $h = \lambda$:

$$h = V \frac{2\pi}{\omega} = \frac{v}{f}, \quad (7)$$

где f – частота колебаний в герцах; V – скорость продольных волн (составляет до 50 м/с;); λ – длина волны.

Для условий стандартной вибрации при $f_c = 50$, если принять $V \leq 50$ м/с, явление резонанса (стоячая волна) произойдет при высоте слоя $h \leq 100$ см.

Однако наибольшая энергия будет передаваться бетонной смеси при условии [3]:

$$h \leq \frac{1}{4} \lambda.$$

Таким образом, следует стараться принимать для условий стандартной вибрации высоту слоя (толщину изделия) равной $\leq 0,25$ м.

В настоящее время сложные явления расчета виброоборудования производят по условной (присоединенной) массе бетонной смеси, которая существенно зависит от волновых явлений. В сейсмике пока отсутствуют методы, определяющие нагрузку на сооружения с учетом этих явлений.

Все эти обстоятельства можно учесть при правильном физическом моделировании процессов, происходящих в технике, с использованием методов подобия и анализа размерностей.

Библиографический список

1. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. – М.: Наука, 1987, – 430 с.
2. Гусев Б.В. Общие представления о процессе уплотнения бетонной смеси. «Изучение процессов формирования железобетонных конструкций». – М.: НИИЖБ, 1977.
3. Гусев Б.В., Зазимко В.Г. Вибрационная технология бетона. – Киев: Будівельник. 1991, – 157 с.