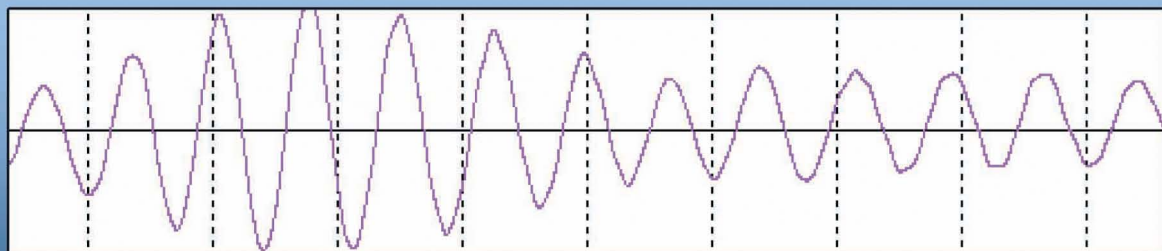


Г.Э. Шаблинский Д.А. Зубков

НАТУРНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ



Г.Э. Шаблинский, Д.А. Зубков

**НАТУРНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ**



МГСУ
Издательство Ассоциации строительных вузов
Москва
2009

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Московского Государственного
Университета Природообустройства *Б.М. Бахтин*;
директор АНО НТЦ «РГОТУПС», начальник научно-исследовательского отдела
динамики и сейсмостойкости атомных станций ОАО «Атомэнергопроект», доктор
технических наук, профессор *А.Е. Саргсян*;
зав. кафедрой Строительной механики МГСУ, доктор технических наук,
профессор *В.Л. Мондрус*;

Шаблинский Г.Э., Зубков Д.А.

Натурные динамические исследования строительных конструкций: Монография. – М: Издательство АСВ, 2009. – 216 с.

ISBN 978-5-93093-694-0

Представленная монография посвящена проблеме натуральных экспериментальных динамических исследований строительных конструкций жилых и общественных зданий. Целью таких исследований было изучение динамических явлений в строительных конструкциях связанных с техногенными вибрациями различного происхождения, оценкой сейсмостойкости и вибрационной прочности конструкций, оценкой влияния специальных мероприятий по виброизоляции, а также изучение изменений динамических характеристик зданий связанных с их конструктивными нарушениями. Монография состоит из введения, шести глав и списка литературы.

Первая глава посвящена методике экспериментальных динамических исследований.

Во второй главе изложены результаты комплексных динамических исследований 16-ти этажного жилого дома объемно-блочной конструкции в г. Краснодаре. Исследования проводились с целью оценки сейсмостойкости зданий такой конструкции. Для моделирования сейсмических нагрузок использовался мощный вибратор направленного действия.

В третьей главе приведены результаты динамических исследований 8-ми этажного каркасного здания. В этом исследовании изучалось влияние конструктивных изменений на частоты собственных колебаний здания.

Четвертая глава посвящена изучению уровней вибраций каркасного здания с виброизоляцией от прохода поездов по близко расположенным железнодорожным путям.

В пятой главе произведена идентификация расчетной схемы большепролетного купола здания путем определения его частот и форм собственных колебаний в натуральных условиях и сравнения их с результатами динамических расчетов этой конструкции.

В шестой главе приведены результаты исследования эффективности резинометаллических виброизоляторов при использовании их для виброзащиты жилых многоэтажных зданий возведенных вблизи тоннелей метро мелкого заложения.

Работа рассчитана на инженеров – проектировщиков, связанных с динамическими расчетами строительных конструкций, научных работников и студентов старших курсов строительных специальностей.

Рекомендовано Научно-техническим Советом МГСУ

© Шаблинский Г.Э., Зубков Д.А., 2009

© МГСУ, 2009

ISBN 978-5-93093-694-0

© Оформление, Издательство АСВ, 2009

Оглавление

Введение.....	6
Глава 1. Методика исследований.....	7
1.1. Методика модельных исследований.....	7
1.1.1. Условия подобия при проведении модельных исследований.....	7
1.1.2. Вибростенд для модельных исследований.	12
1.1.3. Виброизмерительная аппаратура для модельных исследований.....	13
1.2. Экспериментальные натурные динамические исследования.....	14
1.2.1. Проблема возбуждения колебаний в натуральных конструкциях.....	14
1.2.2. Принципиальная схема вибраторов.....	15
1.2.3. Конструкция привода вибромашины.....	17
1.2.4. Особенности конструкции вибромашины.....	19
1.3. Виброизмерительная аппаратура для полигонных и натурных исследований.....	23
1.3.1. Измерительная техника для проведения экспериментов	24
1.3.1.1. Первичная регистрирующая аппаратура.....	24
1.3.1.2. Усилитель.....	24
1.3.1.3. Программно - аппаратный комплекс автоматизации измерений АСTest.....	25
1.3.1.4. Описание блока АЦП.....	26
1.3.1.5. Программное обеспечение ввода и обработки записей.....	29
1.3.1.6. Метрологическое обеспечение экспериментов.....	30
1.4. Организация испытательного полигона МГСУ в г. Мытищи.....	31
1.4.1. Методика проведения экспериментов.....	31
1.4.2. Результаты исследования.....	35
Глава 2. Комплексные динамические исследования 16-этажного жилого дома.....	47
2.1. Описание объекта и задача исследования.....	47
2.2. Монтаж вибромашины на объекте испытаний.....	49
2.3. Размещение приборов на здании в процессе проведения экспериментов.....	51
2.4. Результаты испытаний здания.....	53
2.4.1. Результаты измерений фоновых колебаний здания.....	53
2.4.2. Результаты измерений поперечных колебаний здания, создаваемых вибромашиной.....	54
2.4.2.1. Запись скоростей колебаний при нарастании оборотов вибромашины до 3 Гц с последующим сбросом оборотов до нуля.....	54
2.4.2.2. Запись скоростей колебаний при нарастании оборотов вибромашины до 1 Гц с последующим сбросом оборотов до нуля.....	55

2.4.2.3. Запись вынужденных колебаний здания на частоте 2,3 Гц с последующим сбросом оборотов до нуля.....	61
2.4.2.4. Вынужденные колебания здания на частотах 4,2 Гц и 4,6 Гц... ..	63
2.5. Поперечные колебания здания по его длине на отметке 44,8 м.....	65
2.6. Результаты измерений продольных колебаний здания, создаваемых вибромашиной.....	67
2.7. Анализ полученных экспериментальных результатов динамических испытаний здания с позиций экстраполяции их на максимальную расчетную сейсмическую нагрузку 9 баллов.....	71
Глава 3. Динамические исследования каркасного здания № 1.....	75
3.1. Особенности конструкции здания.....	75
3.2. Результаты измерений колебаний здания № 1 до проходки тоннеля....	78
3.3. Результаты измерения колебаний здания № 1 после проходки тоннеля.....	87
Глава 4. Исследование колебаний двухэтажного каркасного здания с виброизоляцией.....	94
4.1. Конструкция здания и методика измерений.....	94
4.2. Результаты измерений вибраций.....	97
4.2.1. Вертикальные колебания.....	97
4.2.1.1. Колебания на грунте.....	97
4.2.1.2. Колебания на фундаменте.....	98
4.2.1.3. Колебания здания на отметке 0,0 м.....	100
4.2.1.4. Колебания здания на отметке 3,1 м.....	102
4.2.2. Горизонтальные колебания здания в поперечном направлении.....	104
4.2.2.1. Колебания на грунте.....	104
4.2.2.2. Колебания на фундаменте.....	105
4.2.2.3. Колебания здания на отметке 0,0 м.....	107
4.2.2.4. Колебания здания на отметке 3,1 м.....	108
4.2.3. Горизонтальные колебания здания в продольном направлении.....	111
4.3. Динамические расчеты двухэтажного каркасного здания с виброизоляцией.....	112
4.3.1. Постановка задачи.....	112
4.3.2. Идентификация расчетной схемы здания.....	114
4.3.3. Расчеты прочности основных конструктивных элементов здания при максимальных вибрационных воздействиях, создаваемых проездом грузовых поездов.....	120
4.3.4. Проверка эффективности конструктивных мероприятий для уменьшения уровня вибраций.....	129
4.3.4.1. Проверка влияния виброизоляторов.....	129
4.3.4.2. Увеличение поперечной жесткости здания.....	133

4.4. Соотношение замеренных и рассчитанных уровней вибраций с санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий (санитарные нормы)» Минздрав России, Москва, 1997.....	140
Глава 5. Натурные динамические исследования купола здания гипермаркета возведенного в г. Волжском, для установления соответствия его расчетным показателям.....	141
5.1. Краткое описание несущих конструкций.....	141
5.2. Содержание экспериментов.....	141
5.3. Организация и проведение экспериментов.....	145
5.4. Результаты проведенного эксперимента.....	146
5.5. Анализ результатов экспериментов и расчетов.....	169
Глава 6. Изучение эффективности виброизоляторов фирмы «Вибросейсмотехника» на примере жилых многоэтажных зданий, возведенных вблизи тоннелей метро мелкого заложения.....	175
6.1. Результаты измерений вибраций на поверхности грунта.....	178
6.2. Результаты измерений в точках 2 (на грунте) и 3 (в подвале 18 - этажного здания с виброизоляцией).....	183
6.3. Результаты измерений вибраций в точках 3 (в подвале) и 4 (над точкой 3 на отметке пола 3-го этажа) 18 - этажного здания с виброизоляцией.....	189
6.4. Результаты измерений вибраций на 18-м этаже 18 - этажного здания с виброизоляцией.....	196
6.5. Измерение вибраций на 2-м этаже 22 - этажного здания с виброизоляцией.....	197
6.6. Измерение вибраций в 18 - этажном здании без виброизоляции.....	206
Литература.....	213

Введение

Настоящая монография посвящена натурным экспериментальным динамическим исследованиям строительных конструкций жилых и общественных зданий. Целью таких исследований было изучение динамических явлений в строительных конструкциях, связанных с техногенными вибрациями различного происхождения, оценкой сейсмостойкости и вибрационной прочности конструкций, оценкой влияния специальных мероприятий по виброизоляции, а также изучение изменений динамических характеристик зданий, связанных с их конструктивными изменениями. Мы полагаем, что динамические характеристики строительных конструкций (частоты и формы собственных колебаний, логарифмические декременты колебаний) сами по себе представляют тонкий инструмент анализа их состояния. При этом, как показала наша практика, современные методы динамических расчетов сложных инженерных конструкций, при всех их огромных возможностях, часто дают результаты, весьма далекие от реальных. И это связано не с недостатками численных методов, а с неопределенностью некоторых параметров расчетных моделей. В расчетную модель, как правило, закладываются только проектные характеристики. Это касается свойств материалов несущих конструкций, характера связей между элементами конструкций, физико-механических свойств грунтового основания. Для самонесущих элементов в виде различного рода перегородок, навесных панелей и некоторых других элементов конструкций в лучшем случае в расчетах учитывается их масса. В действительности, как показали наши исследования, реальные свойства конструкций могут существенно отличаться от проектных и при динамических расчетах необходимо учитывать также жесткость несущих конструкций. По нашему мнению, дальнейший прогресс в динамических расчетах строительных конструкций связан с накоплением данных экспериментальных натурных исследований. Настоящая монография предназначена для инженеров - проектировщиков, связанных с динамическими расчетами конструкций, для научных работников и студентов старших курсов строительных специальностей.

Глава 1. Методика исследований

Экспериментальные динамические исследования зданий и сооружений, представленные в данной работе, делятся на два направления:

1. Модельные динамические исследования.
2. Натурные динамические исследования.

В первом случае исследования проводились в лабораторных условиях на моделях конструкций, геометрически подобных натуре. Динамические нагрузки на конструкции создавались с помощью специального вибростенда. Регистрация динамических явлений в моделях производилась виброизмерительным комплексом для модельных исследований. Для пересчета результатов исследований на натуру использовались формулы, полученные на основе анализа размерностей.

Во втором случае исследования проводились на реальных натуральных конструкциях. При этом использовались различные источники возбуждения колебаний, включая специальную мощную вибромашину.

Ниже мы подробнее остановимся на методике модельных и натурных динамических исследований.

1.1. Методика модельных исследований

Для проведения модельных динамических исследований в лабораторных условиях необходимо решить следующие вопросы:

- выполнить определенные условия подобия, позволяющие однозначно пересчитывать полученные результаты на натурные конструкции;
- определить масштаб модели и материал для ее изготовления, что связано с конструкцией и характеристиками вибростенда, переходными устройствами для закрепления модели, специальными вибраторами для создания динамических нагрузок и др. Особого внимания требуют вопросы регистрации, обработки и анализа динамических параметров с учетом качественных изменений, произошедших в последние годы в измерительной технике.

1.1.1. Условия подобия при проведении модельных исследований

Физическое моделирование основано на известном понятии о подобии явлений: два явления называются подобными, если по заданным характеристикам одного можно получить характеристики другого умножением на постоянные коэффициенты (масштабы, множители подобия).

Среди трудов, посвященных этой проблеме, можно выделить работы Л.И. Седова, В.Б. Геронимуса, М.В. Кирпичева, А.Г. Назарова, Г.С. Варданяна, Д.В. Монахенко. В работах последних трех авторов большое внимание уделяется «смягчению» условий моделирования и за счет этого расширению возможно-

стей метода. В этих целях А.Г. Назаровым вводится понятие расширенного механического подобия твердых деформируемых тел; Г.С. Варданяном разработана аксиоматическая теория размерностей и ее применение в механике деформируемого твердого тела; Д.В. Монахенко предложена линейная теория моделирования.

Физическое моделирование используется и в настоящей работе в качестве основного метода изучения динамических явлений в различных сооружениях. При этом формулы для пересчета изучаемых параметров с модели на натуру могут быть получены либо на основе теории подобия с использованием метода сил, либо на основе анализа размерностей.

Примем следующие обозначения для характерных значений ряда параметров, являющихся существенными для изучаемых явлений:

- линейные размеры – L ;
- промежутки времени – t ;
- плотность материала – ρ ;
- модуль упругости – E ;
- относительные деформации – ε ;
- перемещения – U ; силы – P ; скорости – V ;
- ускорения – W ; напряжения – σ ;
- коэффициент Пуассона – μ ;
- логарифмический декремент колебаний – δ .

Введем обозначения для параметров натуры – индекс «Н», для параметров модели – индекс «М».

Рассмотрим сначала подобие на основе метода сил, который можно сформулировать следующим образом: «Две системы ведут себя подобным образом, если выполняются геометрическое, кинематическое и динамическое подобия», которые выполняются, «если две системы геометрически подобны и если безразмерные отношения всех существенных для данного процесса сил одинаковы в этих системах».

Для условий динамического подобия существенными являются инерционные силы

$$\frac{P_H L_H}{m_H V_H^2} = \frac{P_M L_M}{m_M V_M^2} = idem .$$

Это выражение представляет общий закон динамического подобия и называется обычно критерием подобия Ньютона. Из него могут быть получены некоторые частные случаи. Например, при преобладающем влиянии сил тяжести – критерий подобия Фруда:

$$\frac{V_H^2}{g_H L_H} = \frac{V_M^2}{g_M L_M} = F_r ;$$

при преобладающем влиянии сил упругости и сил инерции – критерий подобия Коши:

$$\frac{V_H^2 \rho_H}{E_H} = \frac{V_M^2 \rho_M}{E_M} = Ca .$$

При этом для одновременного удовлетворения критериям подобия Коши и Фруда необходимо выполнить условие

$$\frac{E_H \rho_M}{E_M \rho_H} = \frac{L_H}{L_M} = \lambda .$$

Для модельных исследований крупных сооружений, линейные размеры которых достигают 100 м и более, выполнение последнего условия при реальных геометрических масштабах $\lambda = 100 \times 500$ связано с очень жесткими требованиями к модельным материалам. Поэтому во многих случаях, ограничиваемых линейно-упругой постановкой задачи, модельные исследования проводятся на основе критерия подобия Коши.

В настоящее время в связи с постановкой и решением все более сложных задач физического моделирования метод сил имеет ограниченное применение. В то же время значительное развитие в решении различных задач физического моделирования получил метод анализа размерностей. Ниже мы применим этот метод к выводу формул пересчета с модели на натуру для ряда характерных параметров изучаемого процесса. При этом в качестве основы для получения таких формул будем пользоваться работой Г.С.Варданяна [1]. Запишем сначала в его редакции формулировку π - теоремы: число r безразмерных комплексов π равно числу n всех физически размерных величин, существенных для процесса, за вычетом числа первичных величин m .

Рассмотрим напряженно-деформированное состояние конструкции, для которой исследуемый процесс можно представить в виде функциональной зависимости

$$F(\sigma, \varepsilon, U, E, P, L, \rho, t, W, \delta, \mu). \quad (1.1)$$

В механической системе единиц L, P, T , величины, входящие в (1.1), имеют следующие размерности:

$$\begin{aligned} [L] = [U] = L; \quad [\varepsilon] = [\delta] = [\mu] = 1; \quad [P] = P; \quad [\sigma] = [E] = PL^{-2}; \\ [\rho] = PT^2L^{-4}; \quad [t] = T; \quad [W] = LT^{-2}. \end{aligned} \quad (1.1.1)$$

Таким образом, количество величин, определяющих изучаемое явление, $n = 11$, а количество первичных величин $m = 3$, тогда $n - m = 8$ – количество безразмерных комплексов, соответствующих исследуемому процессу:

$$\begin{aligned} \pi_1 = \frac{\sigma}{PL^{-2}}; \quad \pi_2 = \frac{E}{PL^{-2}}; \quad \pi_3 = \frac{U}{L}; \quad \pi_4 = \frac{W}{LT^{-2}}; \\ \pi_5 = \frac{\rho}{PL^{-4}T^2}; \quad \pi_6 = \varepsilon; \quad \pi_7 = \mu; \quad \pi_8 = \delta. \end{aligned} \quad (1.1.2)$$

Комбинируя полученные комплексы, можно ввести новые критерии:

$$\pi'_1 = \pi_1 / \pi_2 = \sigma / E; \quad \pi'_2 = \pi_2 / \pi_5 = ET^2 L^{-2} \rho^{-1};$$

$$\pi'_3 = \pi_4 / \pi'_2 = W\rho L/E; \quad \pi'_4 = \pi_5 / \pi_4 = \rho W/PL^{-3}. \quad (1.1.3)$$

На основании полученных критериев имеем следующие формулы для пересчета ряда параметров с модели на натуру:

$$\text{– время, периоды колебаний } T_H = T_M \lambda \sqrt{\frac{E_M \rho_H}{E_H \rho_M}}, \quad (1.2)$$

$$\text{– ускорения } W_H = W_M \frac{L_M E_H \rho_M}{L_H E_M \rho_H}, \quad (1.3)$$

$$\text{– напряжения } \sigma_H = \sigma_M E_H / E_M, \quad (1.4)$$

$$\text{– перемещения } U_H = \lambda U_M, \quad (1.5)$$

$$\text{– нагрузки } P_H = \frac{W_H \rho_H L^3_H}{W_M \rho_M L^3_M} P_M. \quad (1.6)$$

При этом должны быть соблюдены условия:

$$\mu_H = \mu_M; \quad \delta_H = \delta_M; \quad \varepsilon_H = \varepsilon_M. \quad (1.7)$$

Последнее условие требует выполнения определенного соотношения между нагрузкой, геометрическими размерами и модулем упругости модели, что ограничивает возможности метода. В то же время можно существенно упростить задачу моделирования и за счет этого расширить возможности метода, если принять условие $\varepsilon_H \neq \varepsilon_M$. При этом нарушается геометрическое подобие модели натуре. Однако при малых деформациях, которые обычно имеют место в реальных конструкциях, и при ограничении рамками линейно упругой задачи это условие можно допустить.

Для получения критериев подобия при $\varepsilon_H \neq \varepsilon_M$ можно применить теорию подобия с использованием, например, понятия «расширенного механического подобия», предложенного А.Г.Назаровым, а можно применить анализ размерностей, как это показано в работе Г.С.Варданяна [1]. Воспользуемся последним, для чего согласно [1] примем новую единицу измерения $U = [U]$, не совпадающую с единицей длины L . Тогда величины, входящие в (1.1), будут иметь следующие размерности:

$$\begin{aligned} [L] &= L; \quad [U] = U; \quad [\delta] = [\mu] = 1; \quad [P] = P; \quad [\sigma] = PL^{-2}; \\ [\varepsilon] &= [U]/[L] = UL^{-1}; \quad [E] = [\sigma]/[\varepsilon] = PL^{-1}U^{-1}; \\ [\rho] &= P T^2 L^{-4}; \quad [t] = T; \quad [W] = LT^{-2}. \end{aligned} \quad (1.8.1)$$

Теперь $n = 11$, $m = 4$, $n - m = 7$.

В результате получаем семь критериев подобия:

$$\pi_1 = \frac{\sigma}{PL^{-2}}; \quad \pi_2 = \frac{E}{PL^{-1}U^{-1}}; \quad \pi_3 = \frac{\varepsilon}{UL^{-1}}; \quad \pi_4 = \frac{W}{LT^{-2}};$$

$$\pi_{51} = \frac{\rho}{PL^{-4}T^2}; \quad \pi_6 = \mu; \quad \pi_7 = \delta. \quad (1.8.2)$$

Как и в предыдущем случае, комбинируя полученные комплексы, можно ввести новые критерии:

$$\begin{aligned} \pi'_1 &= \pi_1/\pi_2 = 6U/EL; & \pi'_2 &= \pi_2/\pi_5 = ET^2 U/L^3 \rho; \\ \pi'_3 &= \pi_3\pi_2 = E\varepsilon/PL^{-2}; & \pi'_4 &= \pi_4/\pi'_2 = \rho WL^2/EU; \\ \pi'_5 &= \pi_5\pi_4 = W\rho/PL^{-3}. \end{aligned} \quad (1.8.3)$$

Эти критерии приводят к следующим формулам для пересчета ряда параметров с модели на натуру:

$$\text{– время, периоды колебаний} \quad T_H = T_M \sqrt{\frac{E_M \rho_H U_M L_H^3}{E_H \rho_M U_H L_M^3}}, \quad (1.9)$$

$$\text{– напряжения} \quad \sigma_H = \sigma_M E_H U_M L_H / E_M U_H L_M, \quad (1.10)$$

$$\text{– перемещения} \quad U_H = \frac{E_M P_H L_M}{E_H P_M L_M} U_M, \quad (1.11)$$

$$\text{– деформации} \quad \varepsilon_H = \varepsilon_M \frac{P_H E_M L_M^2}{P_M E_H L_H^2}. \quad (1.12)$$

Выразим с помощью π'_5 нагрузки P через инерционные силы

$$\frac{P_H}{P_M} = \frac{W_H \rho_H L_H^3}{W_M \rho_M L_M^3}, \quad (1.13)$$

тогда формулы пересчета для перемещений и деформаций запишутся в следующем виде:

$$U_H = \frac{W_H \rho_H E_M L_H^2}{W_M \rho_M E_H L_M^2} U_M, \quad (1.14)$$

$$\varepsilon_H = \frac{W_H \rho_H E_M L_H}{W_M \rho_M E_H L_M} \varepsilon_M. \quad (1.15)$$

Практическая реализация вышеуказанных зависимостей при подготовке к проведению экспериментов на моделях позволяет нам точно подобрать материалы для изготовления моделей, разработать конструкцию специального вибростенда для моделирования динамических нагрузок, подобрать и отладить комплекс измерительной аппаратуры, разработать методику подготовки и проведения опытов.

1.1.2. Вибростенд для модельных исследований

Вибростенд для модельных динамических исследований сооружений должен удовлетворять ряду требований, обеспечивающих его эффективное использование при изучении динамических явлений в конструкциях:

- его размеры должны быть относительно небольшими, но достаточными для испытания моделей различных масштабов, обеспечивающих воспроизведение всех особенностей конструкций сооружений;

- его подвижный стол (виброплощадка) должен быть, при заданных размерах, максимально легким и максимально жестким, чтобы собственные частоты колебаний его были выше рабочего диапазона частот;

- подвеска (опорное крепление) подвижного стола должна обеспечивать строго горизонтальные колебания заданного направления;

- возбудитель колебаний подвижного стола (вибратор или другое устройство) должен обеспечивать требуемые виды динамических нагрузок в заданных диапазонах амплитуд и частот колебаний.

Для подвижного стола - платформы были приняты размеры в плане 1x1 м. Такие размеры вибростола позволяют размещать на нем модели сооружений примерно в масштабе от 1:10 (небольшие здания) до 1:100 (здания АЭС, фрагменты высоких плотин).

Конструкция подвижного стола имеет сложную слоистую структуру и изготовлена на одном из заводов аэрокосмического направления по специальной технологии. Слоистая структура стола (тонкие пластинки металла из легкого сплава, перемежающиеся пластинами специального пластика) в сочетании с ячеистой конструкцией обеспечивает решение вышеуказанных задач: виброгасящий эффект собственных колебаний, легкость и жесткость конструкции.

Подвижный стол опирается на четыре специальные пневмоопоры, обеспечивающие виброизоляцию стола от основания. Для крепления моделей сооружений поверхность стола имеет по всей площади систему резьбовых отверстий под винты MS.

Для создания динамических воздействий на вибростол и расположенную на нем модель сооружения используют два независимых возбудителя:

- вибратор электродинамической системы (ВЭДС), позволяющий создавать гармонические колебания в диапазоне 4 – 40.000 Гц от собственного генератора, или сложные колебания, моделирующие реальное воздействие при подаче на вход усилителя сигнала от внешнего источника;

- возбудитель импульсных нагрузок (специальное устройство маятникового типа, позволяющее регулировать величину и длительность импульса).

Общий вид вибростенда с вибратором ВЭДС и установленной на подвижном столе моделью испытуемого объекта приведен на фотографии (рис. 1.1).

1.1.3. Виброизмерительная аппаратура для модельных исследований

Небольшие размеры моделей сооружений определяют специфические требования к измерительной технике. Так, датчики, укрепляемые на модели, должны иметь небольшую массу и размеры (относительно массы и размеров модели); рабочий диапазон частот датчиков и соответствующей аппаратуры (усилители, частотомеры и др.) должен быть примерно на порядок выше, чем это необходимо при натуральных исследованиях. Практически требуемый рабочий диапазон составляет 10-1000 Гц.

Этим требованиям вполне удовлетворяют пьезоакселерометры типа КД 35 фирмы «Роботрон» или типа 2221 Д (ЕЕ 0003) фирмы «Брюль и Кьер». Их масса не превышает 20 г, максимальная чувствительность около 2 мВ/мс^2 . Они используются обычно с интегрирующими усилителями, что позволяет кроме ускорений измерять также виброскорости и вибросмещения. В нашем случае использовались датчики и трехканальный усилитель фирмы «Роботрон». Усилитель снабжен стрелочным индикатором и электронно-лучевой трубкой, позволяющими наблюдать за параметрами процесса в реальном времени. Усилитель имеет выходы на внешний регистратор, в качестве которого использовался персональный компьютер, снабженный платой АЦП.



а)



б)

Рис. 1.1: -а. общий вид лабораторной установки с вибростендом, установленной на нем моделью и измерительной аппаратурой;

б) испытание модели здания коробчатой конструкции

1.2. Экспериментальные натурные динамические исследования

Экспериментальные натурные динамические исследования зданий и сооружений, представленные в данной работе, делятся на два направления:

1) натурные динамические исследования на специально оборудованном полигоне;

2) натурные динамические исследования в естественных условиях.

В первом случае исследования проводились на специально оборудованном полигоне. Динамические нагрузки на конструкции создавались с помощью мощной вибромашины. Во втором случае исследования проводились на реальных натуральных условиях и при этом использовались различные источники возбуждения колебаний.

Ниже мы подробнее остановимся на методике натурных динамических исследований.

1.2.1. Проблема возбуждения колебаний в натуральных конструкциях

Для динамических исследований натуральных конструкций необходимо изучать особенности их колебаний. При этом целью исследований обычно является определение их динамических характеристик, т.е. частот и форм собственных колебаний, декрементов колебаний. Особый интерес представляет изучение нелинейных колебаний, т.е. изменение их динамических характеристик с изменением нагрузок или амплитуд колебаний. Для достижения этих целей необходимо использовать какой-то возбудитель колебаний. В качестве таких возбудителей могут быть использованы:

– колебания, вызванные микросейсмами;

– колебания техногенного характера (от движения транспорта, работы оборудования и т.д.);

– колебания, специально создаваемые штатным включением какого-либо оборудования (мостовые краны, электромоторы большой мощности и т.д.);

– колебания, создаваемые специальными вибраторами.

В работе использовались все эти варианты возбудителей колебаний, однако наиболее эффективным, хотя и более трудоемким, является последний вариант – использование специальных вибраторов. Этот вариант потребовал выполнения работ по созданию такого возбудителя колебаний. В мировой практике разработаны и используются вибраторы различного принципа действия и различных конструктивных схем: электродинамические, гидравлические, дебалансные. Для решения наших задач были выбраны вибраторы дебалансного типа направленного действия. Эти вибраторы могут, в свою очередь, иметь различные конструктивные решения: одновалные (с совмещенными по оси валами), двухвалными, с вертикальными валами, с горизонтальными валами.

Научное издание

Шаблинский Георгий Эдуардович

Зубков Дмитрий Авенирович

НАТУРНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Редактор: *Г.М. Мубаракшина*
Компьютерная верстка: *М.А. Штилько*
Дизайн обложки: *Н.С. Романова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Подписано к печати 21.10.09. Формат 70x100/16.
Бумага офс. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ.л.13,5. Тираж 500 экз. Заказ №

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – оф. 511
тел., факс: (499)183-56-83, e-mail: iasv@mgsu.ru, <http://www.iasv.ru/>