



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВПО «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

Библиотека научных разработок и проектов МГСУ

**Г.Э. Шаблинский, Д.А. Зубков**

**НАТУРНЫЕ И МОДЕЛЬНЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ  
ЯВЛЕНИЙ В СТРОИТЕЛЬНЫХ  
КОНСТРУКЦИЯХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ  
И ГРАЖДАНСКИХ ОБЪЕКТОВ**

---

МОСКВА 2012

---

УДК 624.042.8  
ББК 38.112  
Ш 13

СЕРИЯ ОСНОВАНА В 2008 ГОДУ

Рецензенты:

доктор технических наук **Б. М. Бахтин**, профессор Московского государственного университета природообустройства;  
доктор технических наук, профессор **А. Е. Саргсян**, директор АИО НТЦ «РГОТУПС», начальник научно-исследовательского отдела динамики и сейсмостойкости атомных станций ОАО «Атомэнергопроект»

*Монография рекомендована к публикации  
научно-техническим советом МГСУ*

**Шаблинский, Г. Э.**

**Ш 13**    Натурные и модельные исследования динамических явлений в строительных конструкциях энергетических и гражданских объектов : монография / Г. Э. Шаблинский, Д. А. Зубков ; Мин-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т». — Москва : МГСУ, 2012. — 484 с. (Библиотека научных разработок и проектов МГСУ).

ISBN 978-5-7264-0623-7

Охватывает широкий круг вопросов динамики строительных конструкций различного типа сооружений, решенных на основе экспериментальных исследований.

Для проектировщиков, инженеров, научных работников, исследователей, аспирантов.

УДК 624.042.8  
ББК 38.112

ISBN 978-5-7264-0623-7

© ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2012

## Оглавление

Введение. ....	6
1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ . . .	7
1.1. Методика модельных исследований . . . . .	7
1.1.1. Условия подобия при проведении модельныхисследований . . . . .	8
1.1.2. Вибростенд для модельных исследований . . . . .	13
1.1.3. Виброизмерительная аппаратура для модельных исследований. . . . .	15
1.2. Методика натурных исследований . . . . .	15
1.2.1. Проблема возбуждения колебаний в натурных конструкциях. . . . .	16
1.2.2. Принципиальная схема работы вибраторов направленного действия . . . . .	17
1.2.3. Конструкция привода вибромашины . . . . .	19
1.2.4. Особенности конструкции вибромашины . . . . .	22
1.3. Виброизмерительная аппаратура для полигонных и натурных исследований . . . . .	24
1.3.1. Измерительная техника для проведения экспериментов . . . . .	25
1.3.2. Программно-аппаратный комплекс автоматизации измерений АСTest . . . . .	27
1.3.3. Метрологическое обеспечение экспериментов. . . . .	29
1.4. Натурные исследования на полигоне МГСУ в г. Мытищи . . . . .	29
1.4.1. Организация испытательного полигона и методы проведения эксперимента . . . . .	29
1.4.2. Результаты исследования . . . . .	33
2. ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКИХ БЕТОННЫХ ПЛОТИН . . . . .	44
2.1. Исследования сейсмостойкости плотины массивно-контрфорсного типа на крупномасштабной модели в полигонных условиях . . . . .	44
2.1.1. Выбор площадки для создания полигона . . . . .	48
2.1.2. Изучение геологической структуры и планировка площадки-полигона . . . . .	52
2.1.3. Исследование динамических характеристик площадки для сооружения модели . . . . .	54
2.1.4. Проектирование и изготовление фрагмента модели плотины . . . . .	62
2.1.5. Измерительная техника . . . . .	71
2.1.6. Методика исследований . . . . .	72
2.1.7. Результаты исследований . . . . .	74
2.2. Натурные динамические исследования массивно-контрфорсной плотины. . . . .	99
2.2.1. Общий подход к проблеме. . . . .	99
2.2.2. Использование ударных волн специальных взрывов. . . . .	104

2.2.3. Использование специального мощного вибратора (вибромашины) .....	131
2.2.4. Использование записей слабых землетрясений .....	148
2.3. Натурные исследования динамических характеристик плотины Саяно-Шушенской ГЭС .....	165
2.3.1. Краткое описание конструкции плотины .....	165
2.3.2. Методика проведения экспериментов .....	165
2.3.3. Результаты экспериментальных исследований .....	169
3. ДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ .....	183
3.1. Модельные исследования реакторного отделения АЭС с ВВЭР-1000. ....	183
3.1.1. Конструкция здания, модель, методика экспериментов .....	183
3.1.2. Результаты исследований .....	187
3.2. Натурные исследования реакторного отделения с ВВЭР-1000. ....	193
3.2.1. Объект исследования. Общая характеристика. Состояние строительных конструкций в период исследования ..	195
3.2.2. Эксперименты с использованием вибромашины .....	198
3.2.3. Эксперименты с использованием импульсной (ударной) нагрузки .....	203
3.2.4. Эксперименты с использованием сейсмического эффекта специальных взрывов .....	203
3.2.5. Результаты исследований .....	207
3.3. Натурные исследования строительных конструкций Калининской атомной электростанции (КАЭС) .....	222
3.3.1. Особенности конструкции реакторного отделения .....	222
3.3.2. Особенности конструкции машзала .....	226
3.3.3. Результаты исследований .....	229
3.4. Динамические исследования 4-го энергоблока и спецкорпуса Нововоронежской АЭС (НВАЭС) .....	256
3.4.1. Краткое описание конструкции главного корпуса и спецкорпуса ..	256
3.4.2. Методика проведения исследований .....	264
3.4.3. Результаты измерений колебаний главного корпуса и спецкорпуса .....	268
3.4.4. Расчет динамических характеристик главного корпуса по схеме плоской рамы .....	326
3.4.5. Расчет динамических характеристик главного корпуса НВАЭС как пространственной системы .....	332
3.5. Динамические исследования строительных конструкций реакторного отделения тепловой станции теплоснабжения (АСТ) .....	340
3.5.1. Описание конструктивной схемы АСТ и моделей .....	340
3.5.2. Порядок проведения экспериментов .....	344
3.5.3. Результаты исследований .....	344
4. ДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ ..	354
4.1. Комплексные динамические исследования 16-этажного жилого дома ..	354
4.1.1. Описание объекта и задача исследования .....	354
4.1.2. Монтаж вибромашины на объекте испытаний .....	355

4.1.3. Размещение приборов на здании в процессе проведения экспериментов .....	358
4.1.4. Результаты измерений фоновых колебаний здания .....	360
4.1.5. Результаты измерений поперечных колебаний здания, создаваемых вибромашиной .....	361
4.1.6. Анализ полученных экспериментальных результатов динамических испытаний здания с позиций экстраполяции их на максимальную расчетную сейсмическую нагрузку 9 баллов ...	373
4.2. Изучение эффективности виброизоляторов фирмы «Вибросейсмозащита» на примере жилых многоэтажных зданий, возведенных вблизи тоннелей метро мелкого заложения. ....	378
4.2.1. Результаты измерений колебаний в точках на грунте .....	380
4.2.2. Результаты измерений вибраций в т. 2 (на грунте) и 3 (в подвале 18-этажного здания с виброизоляцией) .....	385
4.2.3. Результаты измерений вибраций в т. 3 (в подвале) и 4 (над т. 3 на отметке пола 3-го этажа) 18-этажного здания с виброизоляцией. ....	391
4.2.4. Результаты измерений вибраций на 18-м этаже 18-этажного здания с виброизоляцией .....	399
4.2.5. Измерения вибраций на 2-м этаже 22-этажного здания с виброизоляцией. ....	403
4.2.6. Измерение вибраций в 18-этажном здании без виброизоляции ...	407
4.3. Динамический мониторинг 8-этажного каркасного здания .....	414
4.3.1. Особенности конструкции здания .....	414
4.3.2. Результаты измерений колебаний здания до проходки туннеля ...	417
4.3.3. Результаты измерения колебаний здания после проходки туннеля. ....	426
4.4. Натурные динамические исследования купола здания гипермаркета, возведенного в г. Волжском для установления соответствия его расчетным показателям .....	431
4.4.1. Краткое описание несущих конструкций .....	432
4.4.2. Содержание экспериментов .....	432
4.4.3. Организация и проведение экспериментов. ....	434
4.4.4. Результаты проведенного эксперимента .....	436
4.4.5. Анализ результатов экспериментов и расчетов. ....	458
4.5. Определение динамических характеристик высотных зданий .....	461
4.5.1. Измерения динамических характеристик «сталинской» высотки по адресу: Садово-Кудринская площадь, дом 1 .....	462
4.5.2. Измерения динамических характеристик административного здания .....	467
4.5.3. Определение частот собственных колебаний 40-этажного здания (жилой комплекс «Северный парк» по адресу: Москва, Ленинградское шоссе, 25) .....	471
4.5.4. Определение частот собственных колебаний 40-этажного здания на ул. Маршала Жукова в Москве. ....	475
Заключение .....	481
Библиографический список .....	483