

Нигметов Г. М., канд. техн. наук, доц., вед. науч. сотр.,
Савинов А. М., науч. сотр.,
Нигметов Т. Г., мл. науч. сотр.
(ФГБУ «ВНИИ ГОЧС» (ФЦ), г. Москва),
Горностаев А. В., гл. спец.
(ФАУ «Главгосэкспертиза России», г. Москва),
Глазков Д. А., канд. техн. наук,
Акбиев М. Р., зам. руководителя управления
(ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», г. Москва)

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТРЕХМЕРНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ НАТУРНЫХ ВИБРАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ФРАГМЕНТА ДЕРЕВЯННОГО КАРКАСНО-ПАНЕЛЬНОГО ЗДАНИЯ)

Задача обеспечения качества измерений для оценки работы объектов на сейсмостойкость представляется весьма актуальной. При измерениях с помощью акселерометров для оценки перемещений в пространстве не всегда имеется возможность построить модель с малой погрешностью результатов вычислений (интегрирования). Отработка построения такой модели возможна при проведении натуральных испытаний зданий, их фрагментов и моделей, которые выполняются с помощью специального вибрационного силового оборудования (вибромашин).

В статье на примере натуральных испытаний фрагмента деревянного каркасно-панельного здания приведены результаты исследований, с построением численной модели пространственного движения здания при динамическом воздействии, а также сравнения с аналогичными значениями таких перемещений, зарегистрированных с помощью велосиметров и акселерометров.

Ключевые слова: акселерометр, велосиметр, вибромашина, динамическое воздействие, жесткость сооружения, испытания, каркасно-панельные здания, сейсмостойкость, фрагмент

Введение

Совершенствование технологии проведения натуральных испытаний зданий и сооружений является актуальной проблемой. Как правило, такие испытания проводятся на реальных объектах, их фрагментах или моделях, с загрузкой управляемой статической и динамической нагрузкой самым распространенным типом воздействия — с помощью вибрационной машины.

Для измерений реакции испытуемого объекта на предварительно заданное динамическое воздействие используется специальное измерительное оборудование — тензодатчики и акселерометры. С помощью тензодатчиков определяются количественные характеристики деформаций (перемещения, сдвиги, раскрытие трещин и пр.), а по записям с акселерометров можно определить периоды собственных колебаний, начальную и ко-

нечную жесткость здания, а также иные динамические характеристики до и после определенного этапа испытаний.

По мнению авторов данной статьи, комплексная (интегральная) оценка совокупности полученных характеристик изменения деформаций (перемещения, изгибы, сдвиги, перекосы) и жесткости (мгновенной частоты или периода собственных колебаний здания) позволяет сделать однозначный вывод об изменении категории сейсмостойкости объекта.

Существует методика [1], которая позволяет путем обработки и сравнительной оценки полученных характеристик определять сейсмостойкость конструкции на различных этапах нагружения конструкции.

Многочисленные исследования для зданий различных конструктивных систем показали сохраняющиеся зависимости (соотношения) между указанными

выше характеристиками, что естественно наводит на мысль о возможности с их применением свести обследование к необходимости оценки пространственных перемещений исследуемого объекта.

Постановка задачи

Представим, что для полноценной оценки пространственного характера работы объекта при испытаниях минимально необходимо зафиксировать и сопоставить перемещения различных его точек. С помощью полученных данных о перемещениях можно построить модель движения здания и определить наличие опасных крутильных колебаний.

В настоящее время не существует датчиков, измеряющих перемещение с необходимой точностью в условиях сильных динамических колебаний. Для статических и дискретных измерений можно использовались высокоточные тахеометры, однако



Рисунок 1 — Фрагмент здания, подвергнутого динамическому воздействию от вибромашины инерционного действия ВИД 12/19М [5]



Рисунок 2 — Пункт регистрации и сбора результатов испытаний

с помощью них нельзя измерять колебания конструкции с высокой частотой.

Помочь решить проблему оценки пространственной работы (перемещений) объектов позволяет метод динамико-геофизических испытаний, основанный на оценке интегральной жесткости сооружения и его конструктивных элементов по характерным признакам-критериям, проявляющимся при обработке динамических параметров системы «грунт-сооружение» [2], [3].

Проверку эффективности предложенного динамико-геофизических исследований на конкретном примере позволяет Программа расчетно-экспериментальных исследований фрагментов каркасно-панельных зданий, реализованная под научным руководством канд. техн. наук Акбиева Р.Т. группой специалистов ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», ФГБУ «ВНИИГЧС (ФЦ) и Евразийской СЕЙСМО Ассоциацией, реализованная по заданию заказчика — АО «Сахалин-инжиниринг» [4].

Возможности предлагаемого метода для оценки сейсмостойкости двухэтажного фрагмента каркасно-панельного здания изложены ниже.

Описание и результаты исследований

Рассмотрим результаты динамико-геофизических испытаний двухэтажного фрагмента каркасно-панельного здания в натуральную величину, построенного из изделий заводского изготовления, выпускаемых на основе домостроительной технологии АО «Сахалин-инжиниринг», которые проводились по описанной ниже методике для оценки изменений состояния испытываемого объекта, а именно его

интегральной жесткости, иных динамических характеристик, категории технического состояния, т.е. сейсмостойкости этого фрагмента.

Общий вид объекта исследований приведен на рисунках 1, 2.

Известно, что одним из признаков, характеризующих жесткость объекта является период или частота его собственных колебаний. Так, в работах [3], [6] показано, что период собственных колебаний сооружения прямо пропорционален его массе и обратно пропорционален его жесткости, поэтому измеряя частоту или период собственных колебаний по описанной в этих работах методике можно оценить его жесткость.

Для оценки нормативного значения периода собственных колебаний сооружения применяются выражения, полученные из решения дифференциальных уравнений, описывающих колебание конструкции

$$T_1 = k \times \sqrt{\frac{m}{EJ}}, \quad (1)$$

где m — масса системы, кг на м;

EJ — жесткость системы, как произведение модуля упругости на момент инерции, $\text{Н} \times \text{м}^2$;

— коэффициент, учитывающий конструктивную схему сооружения.

В ходе натурных испытаний двухэтажного фрагмента деревянного каркасно-панельного здания одновременно с другим оборудованием использовались трехкомпонентные акселерометры, входящие в комплект измерительного комплекса МДК «Струна — Стрела», установленные по схеме, приведенной на рисунке 3.

Как видно из рисунка, расстановка датчиков на фрагменте осуществлялась таким образом, чтобы фиксировать кру-

тильные колебания здания как в плоскости, так и в пространстве: датчик 1 установлен на основании (ж/б плита), датчик 2 внизу конструкции на первом этаже здания, датчик 3 — на втором этаже здания, датчики 4, 5 расположены на верхнем перекрытии здания в противоположных углах.

Для получения перемещений в местах установки приборов по данным зарегистрированных в этих местах ускорений воспользуемся стандартной формулой, приведенной в [6]

$$s = s_0 + \int_0^t (v * dt + a * t * dt). \quad (2)$$

При отсутствии возможности измерить точное начальное положение, а также не известной начальной скорости погрешность измерений может достигать 50%, в связи с чем такая точность не вполне пригодна для оценки величин перемещений.

При натурных испытаниях фрагмента, в связи с этим, дополнительно перемещения контролировались лазерным

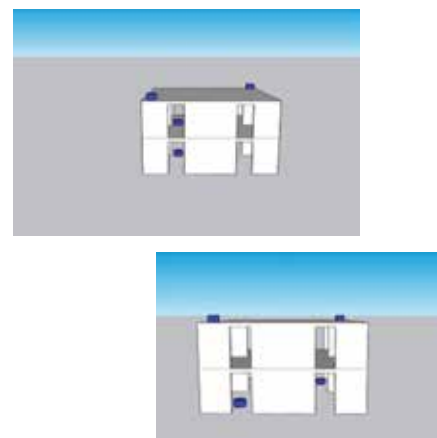


Рисунок 3 — Расстановка датчиков при испытаниях фрагмента каркасно-панельного здания

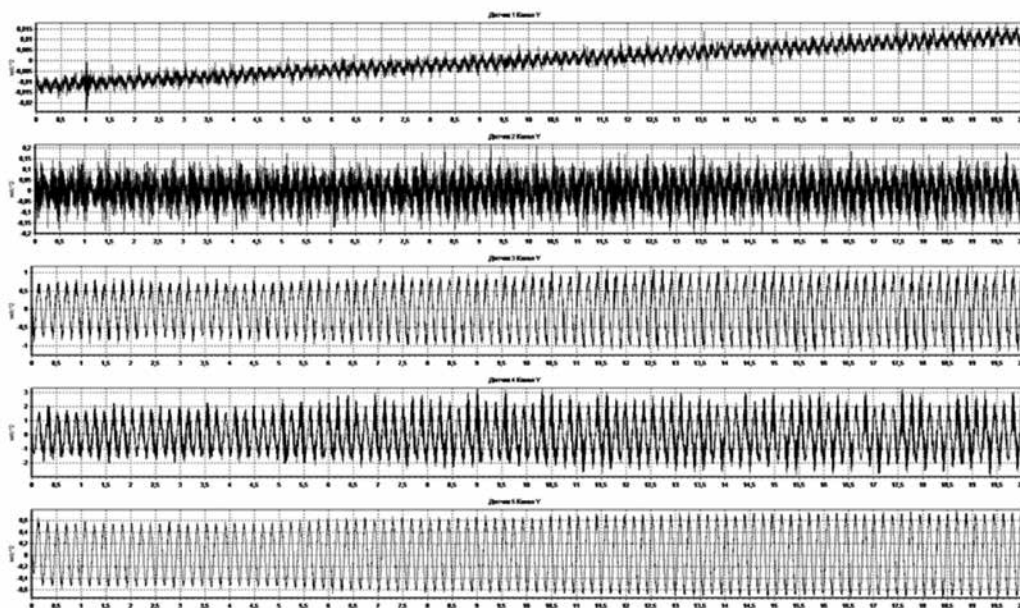


Рисунок 4 — Акселерограммы, полученные с датчиков при динамическом воздействии по оси Y по направлению вращения балансиров вибромашины в течении 20 с

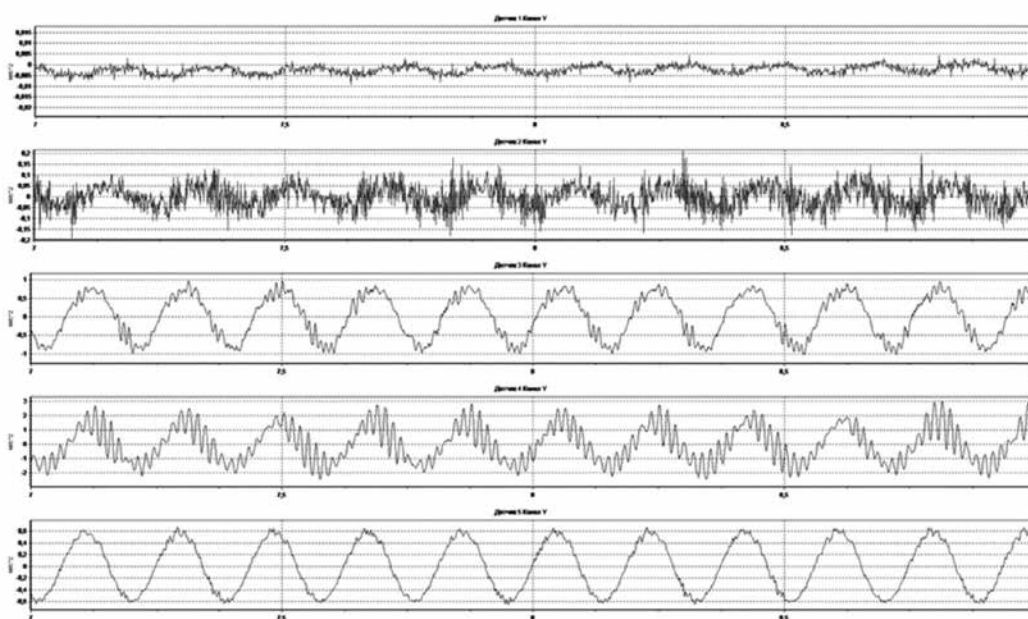


Рисунок 5 — Акселерограммы, полученные с датчиков при динамическом воздействии по оси Y по направлению вращения балансиров вибромашины в течении 2 с (развертка)

тахеометром, а также путем возможности преобразования записей скоростей, полученных с велосиметров, установленных рядом с акселерометрами, что привело к погрешности регистрации и расчетов (контроля) перемещений до 10%.

Примеры колебаний здания в виде записей ускорений (акселерограмм) по оси Y от динамического воздействия на 5 датчиках приведены на рисунках 4, 5.

Как видно из приведенных рисунков ускорение датчиков 1, 2, 3, 4 и 5 происходит со сдвигом по фазе. При этом

датчики 5 и 4 расположены на верхнем перекрытии фрагмента здания, датчик 5 — ближайший к вибромашине, датчик 3 расположен на перекрытии 2 этажа. Отметим, что результатам статических и динамических испытаний именно по оси Y были выявлены наибольшие деформации фрагмента.

По результатам анализа полученных записей акселерограмм и их обработки численными методами построена деформированная модель здания при высоких уровнях динамического нагружения (ри-

сунк 6), в которой для улучшения визуализации установленные перемещения увеличены в 50 раз.

Отметим, что такие деформации были достигнуты при нагрузках, в 2 раза превышающих соответствующие нагрузки, рассчитанные для фрагмента здания, запроектированного на 8 баллов (проектное значение). В эксперименте максимальное снижение жесткости составило 30,3%, которое согласно методике [1] соответствует «работоспособному» или «ограниченно-работоспособному» техническому состоя-

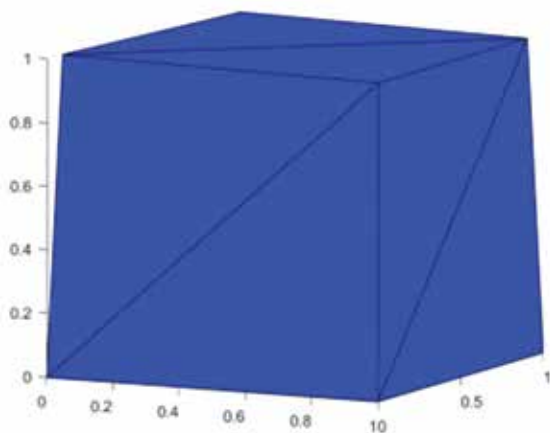


Рисунок 6 — Деформационная модель фрагмента здания по результатам динамических испытаний

нию. При этом, наибольшие повреждения были обнаружены на первом этаже.

Заключение

Исследования, проведенные на двухэтажном фрагменте каркасно-панельного здания при высоких уровнях динамического воздействия, подтвердили необходимость повышения точности измерений и формирования картины трехмерных перемещений объекта путем надлежащей установки измерительного оборудования

для получения и соответствующей обработки записей ускорений и скоростей (акселерограмм и велосигрограмм).

Полученная в результате картина пространственного деформирования исследуемого объекта при совместном использовании с иными показателями (перекосы, повреждения, изменения жесткости, иных динамических характеристик) позволяет составить объективное суждение о механизмах обеспечения его сейсмостойкости.

Библиография

1. Методика оценки и сертификации инженерной безопасности зданий и сооружений. — М.: ВНИИ ГОЧС МЧС России. 2003.
2. Акбиев Р.Т. Патент RU 98810 U1 «Вибромашина инерционного действия для возбуждения колебаний, последующего мониторинга и оценки динамических свойств конструкций, зданий и сооружений». / Заявка № 2010127970/28; Заявлено

07.07.2010 г. Изобретения (Заявки и патенты), 2010, № 30.

3. Нигметов Г.М., Акатьев В.А., Савинов А.М., Нигметов Т.Г. Оценка сейсмостойкости зданий динамико-геофизическим методом с учетом особенности взаимодействия сейсмической волны с системой «грунт — сооружение». // Строительная механика и расчет сооружений. 2018. № 1 (276).
4. Акбиев Р.Т., Горностаев А.В. О требованиях к программе комплексных расчетно-экспериментальных исследований сейсмостойкости деревянных каркасно-панельных зданий. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2020. № 2.
5. Смирнов В.И., Акбиев Р.Т., Никитина Е.А., Чубаков М.Ж. К вопросу о применении каркасно-щитовых деревянных зданий в районах повышенной сейсмической опасности // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2006, № 2.
6. Чакак А.А. Физика. Выпуск 1. Кинематика механического движения. / Учебное пособие для учащихся Университетской физической школы, занимающихся по дистанционной форме обучения. — Оренбург: Оренбургский государственный университет (ОГУ). 2011.

eng

Nigmatov G. M., Savinov A. M., Nigmatov T. G., Gornostaev A. V., Glazkov D. A., Akbiev M. R.

COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF THREE-DIMENSIONAL DISPLACEMENTS (ON THE EXAMPLE OF FULL-SCALE VIBRATION TESTS OF A FRAGMENT OF A WOODEN FRAME-PANEL BUILDING)

The task of ensuring the quality of measurements to assess the work of objects for seismic resistance is very relevant. When measuring with accelerometers to estimate movements in space, it is not always possible to build a model with a small error in the results of calculations (integration). Working out the construction of such a model is possible when conducting full-scale tests of buildings, their fragments and models, which are carried out with the help of special vibrating power equipment (vibratory machines).

In the article, using the example of full-scale tests of a fragment of a wooden frame-panel building, the results of research are presented, with the construction of a numerical model of the spatial movement of the building under dynamic influence, as well as comparisons with similar values of such movements recorded using bicycle meters and accelerometers.

Keywords: accelerometer, velocimeter, vibration machine, dynamic impact, rigidity of structures, tests, frame-panel buildings, earthquake resistance, fragment

References

1. Metodika ocenki i sertifikacii inzhenernoj bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij. — М.: ВНИИ ГОЧС МЧС России. 2003. (in Russian)
2. Akbiev R.T. Patent RU 98 810 U1 «Vibromashina inercionnogo dejstviya dlya vzbuzhdeniya kolebanij, posleduyushchego monitoringa i ocenki dinamicheskikh svojstv konstrukcij, zdaniy i sooruzhenij». / Заявка № 2010127970/28; Заявлено 07.07.2010 г. Изобретения (Заявки и патенты), 2010, № 30. (in Russian)
3. Nigmatov G.M., Akat'ev V.A., Savinov A.M.,

- Nigmatov T.G. Ocenka sejsmostojkosti zdaniy dinamiko-geofizicheskim metodom s uchetom osobennosti vzaimodejstviya sejsmicheskoy volny s sistemoy «grunt – sooruzhenie». // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij. 2018. № 1 (276). (in Russian)
4. Akbiev R.T., Gornostaev A.V. O trebovaniyah k programme kompleksnyh raschetno-eksperimental'nyh issledovanij sejsmostojkosti derevyannyh karkasno-panel'nyh zdaniy. // Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. 2020. № 2. (in Russian)
5. Smirnov V.I., Akbiev R.T., Nikitina E.A.,

- CHubakov M.ZH. K voprosu o primenении karkasno-shchitovyh derevyannyh zdaniy v rajonah povyshennoj sejsmicheskoy opasnosti // Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. 2006, № 2. (in Russian)
6. CHakak A.A. Fizika. Vypusk 1. Kinematika mekhanicheskogo dvizheniya. / Uchebnoe posobie dlya uchashchihsya Universitetskoj fizicheskoy shkoly, zanimayushchihsya po distancionnoj forme obucheniya. — Orenburg: Orenburgskij gosudarstvennyj universitet (OGU). 2011. (in Russian)