

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗДАНИЯ СПОСОБОМ ЕДИНИЧНОГО СКАЧКА

Ковалев А.А., аспирант кафедры механики и сейсмостойкости сооружений

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Экспериментальным путем определены динамические характеристики здания способом единичного скачка.

Динамическая паспортизация, единичный скачек, спектр.

По количеству жертв и пострадавших, вызванных природными катастрофами, лидирующее положение в этом «черном» списке принадлежит землетрясениям и вызванным ими последствиям. Человек не научился пока предотвращать или предсказывать землетрясения. Единственным средством защиты от них является обеспечение сейсмостойкости зданий и сооружений. В пределах Украины Крым является наиболее сейсмоуязвимым регионом, свидетельством чего служат каталоги сильных землетрясений прошлого и современные карты сейсмического районирования. Для обеспечения сейсмотехнической безопасности объектов региона необходимо периодическое проведение "стресс-тестов", не допускающих остаточных деформаций. Особенно актуально это для объектов повышенной ответственности, но нужно также для существующих и строящихся гражданских и промышленных зданий. Динамическая паспортизация (ДП), включенная в строительные нормы (ДБН В.1.1-12:2006 – п. 1.3.3) [1, 2], призвана быть эффективным средством контроля сейсмической и механической устойчивости зданий и сооружений.

Для разработки методики ДП и ее успешного применения необходимо решить ряд задач: выбор способа возбуждения сооружения, совмещение территориального зонирования с динамическими характеристиками конструкций, разработка рекомендаций по локальному усилению конструкций, обработка данных в единицах измерения, удобных для конструкторов и проектировщиков. Необходимо разносторонне проработать каждую из этих задач, решив ее экспериментальным и аналитическим путями. Требуется объединить полученные результаты в единый инструмент, который позволит надежно, быстро и точно определять (и прогнозировать) поведение конструкций сооружения в динамике, наблюдать динамику изменения однородности конструкции, выявлять напряжения в материале.

При выборе способа возбуждения конструкции необходимо учитывать его аналитическую обоснованность, экономичность, удобство использования. Опыт наших работ позволяет рекомендовать в данном случае "способ **единичного скачка**". С одной стороны, он может быть реализован для конкретного сооружения, с другой – имеет достаточно строгое теоретическое обоснование.

В предыдущих работах с применением калиброванной аппаратуры экспериментальным путем было показано, что отклик на единичный скачек приводит непосредственно к **определению частотной характеристики** [3].

Решение уравнения свертки $\int_0^t K(t-\tau)x(\tau)d\tau = y(t)$, соответствующее возбуждению

$$x(t) \equiv U(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0 \\ 1 & \text{при } t > 0 \end{cases}, \quad (1)$$

называется откликом $q(t)$ на единичный скачок, описывающим переход системы под влияние скачкообразного воздействия из состояния покоя в состояние возбуждения. В соответствии с этим

$$q(t) = \int_0^t K(t-\tau)U(\tau)d\tau = \int_0^t K(\tau)d\tau,$$

откуда следует простая связь между откликом на единичный скачок и импульсной переходной характеристикой:

$$K(t) = \frac{d}{dt}q(t) \quad (2)$$

В случае, когда отклик на единичный скачок известен аналитически, численно или экспериментально, можно определить отклик $y(t)$ на любое возбуждение $x(t)$, что непосредственно следует из формулы (1) после подстановки в нее значения $K(t)$, определяемого формулой (2) [4].

Рассмотрим возможность получения частотной характеристики объекта с помощью единичного скачка на примере реального здания (рис. 1). Исследуемое здание является частным жилым домом на одну семью. Характеристика объекта: двухэтажное здание с мансардой и подвальным этажом (высота этажа 3.000), размеры в плане 9x10 м, фундамент ленточный, заглубленный на 3,8 м, конструктивная схема – каркасно-каменная, заполнитель – блоки из пиленого ракушника, на полу залита цементно-песчаная стяжка $\delta = 50$ мм и устроены «теплые полы».

Для применения способа единичного скачка здание в уровне пола первого этажа обвязывалось стальным тросом $\varnothing = 5$ м, на втором конце которого были последовательно закреплены металлическая вставка, динамометр и лебедка. Лебедка крепилась к бетонному блоку на расстоянии 30 м от здания. Посредством лебедки задавалось натяжение троса с заданным усилием 4 кН, затем перерезалась металлическая вставка, и происходил резкий сброс нагрузки. После этого вставка обновлялась и эксперимент повторялся. В результате такого скачкообразного воздействия здание переходило из состояния покоя в состояние возбуждения, что позволяло регистрировать его собственные затухающие колебания. Регистрация велась при помощи двух комплектов сейсмоприемников СМЗ-КВ, которые устанавливались согласно нанесенной сетке (3x2,7 м) в 16 точках на первом и втором этажах и в 8 точках на мансардном этаже (рис. 2).



Рис. 1. Частный жилой двухэтажный дом с мансардой и подвальным этажом на одну семью

В результате обработки этих записей были получены спектры (рис.4) откликов здания на динамическую нагрузку. Приведены примеры спектров, полученных на разных этажах. Несмотря на наличие в доме теплых полов, которые могли бы играть роль механической развязки между железобетонным перекрытием и поверхностью пола, полученные спектры являются весьма информативными. На них четко видны два максимума: первый на частоте 0,7 Гц, что соответствует собственной частоте маятника сейсмоприемника; второй на частоте 6 Гц, которая характеризует основную колебательную систему – здание. Достоверность полученных результатов подтверждается

высоким качеством настройки идентичности двух параллельных каналов, установленных в каждой точке наблюдений (см. рис. 3).

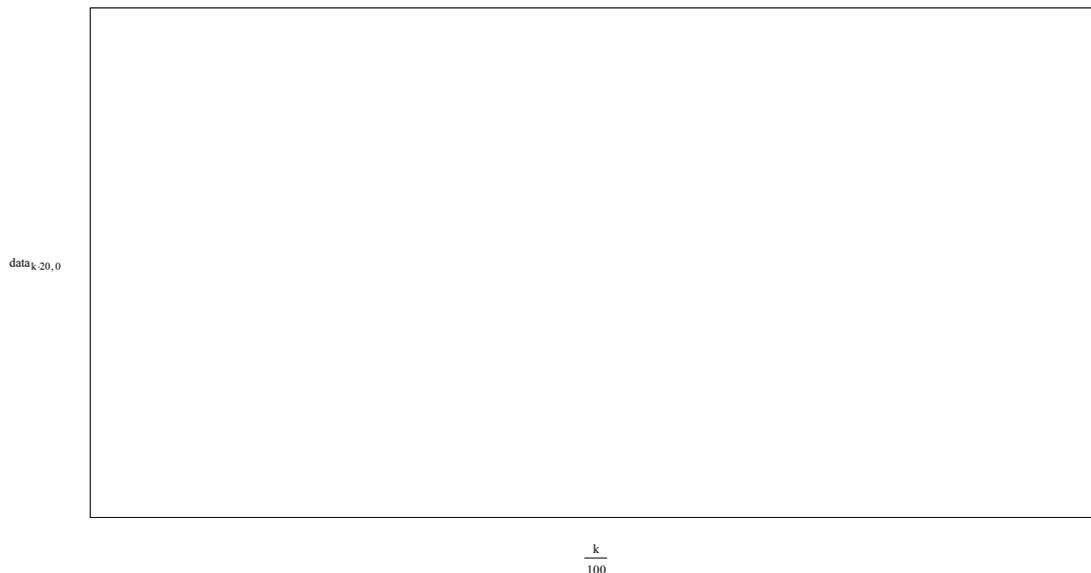


Рис. 2. Пример записи отклика здания на единичный скачек в т.3.3 на мансардном этаже

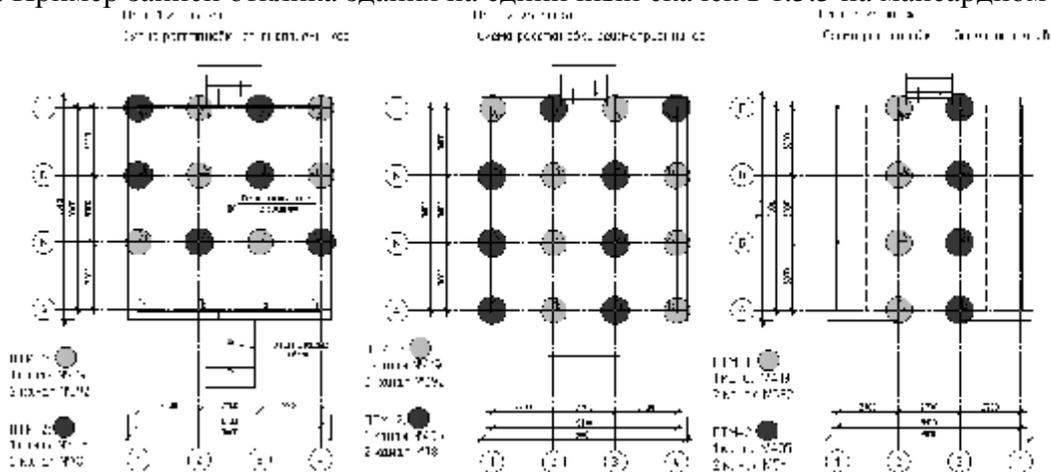


Рис. 3. Настройки идентичности двух параллельных каналов, установленных в каждой точке наблюдений

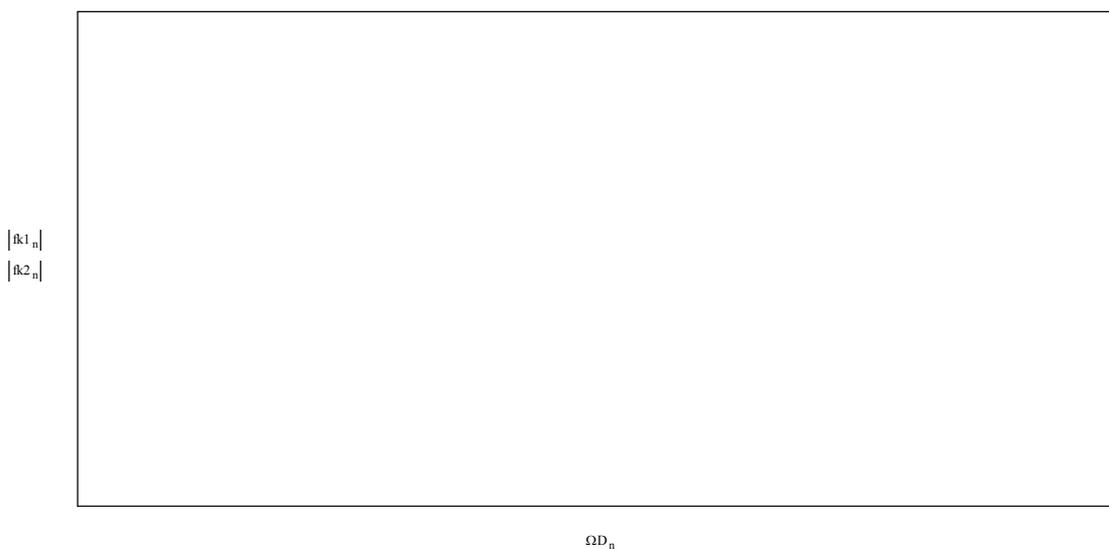
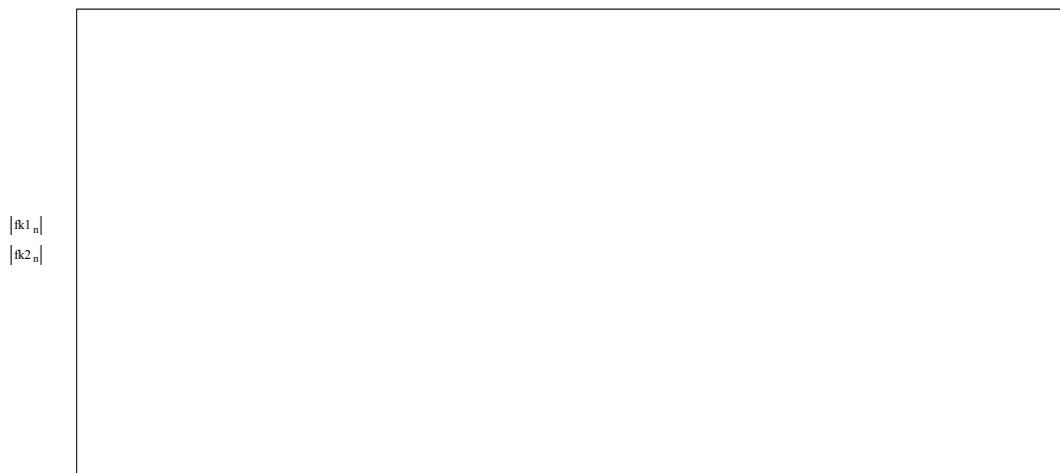


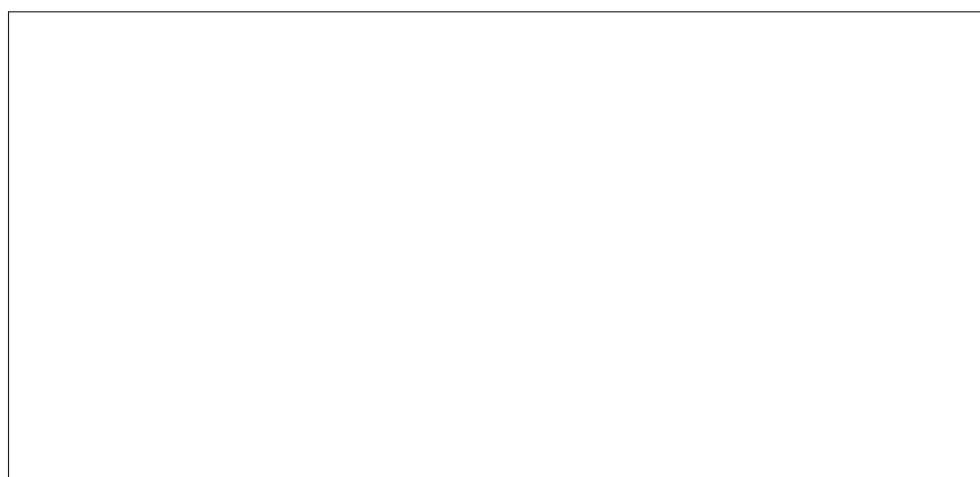
Рис. 3. Отклик в т. 4.2 на первом этаже



$|fk1_n|$
 $|fk2_n|$

ΩD_n

Отклик в т. 2.2 на втором этаже



$|fk1_n|$
 $|fk2_n|$

ΩD_n

Отклик в т. 3.3 на мансардном этаже

Рис. 4. Спектры откликов здания на динамическую нагрузку

ВЫВОД

Экспериментально с применением способа единичного скачка было проведено обследование и получены динамические характеристики реального здания. Полученные результаты справедливы для зданий малой этажности правильной формы. Это является шагом к разработке методики ДП. Изучение зданий сложной конфигурации и большей этажности будет являться темой дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. ДБН В.1.1-12: 2006. 84 с. «Строительство в сейсмических районах Украины». ГП «Укрархбудинформ».
2. Г.Н. Бугаевский, О.В. Волосович, А.Г. Бугаевский «Динамическая паспортизация зданий и сооружений - основа повышения качества строительства объектов». НАПКС сборник научных трудов выпуск №24-25. с. 10-13.
3. Разработка методики возбуждений колебаний зданий и сооружений для проведения динамической паспортизации./ Ковалев А.А., Агапов В.Н.//– Симферополь: НАПКС, 2011.– Вып. 35.– С. 157–166).
4. Шульбаев А. Н. Диссертация на соискание научной степени «Алгоритмы решения обратной задачи сейсмометрии», 105 с.