Кинематический метод системного анализа конструкций зданий

[1] Евгений Николаевич Пересыпкин
[2] Елена Евгеньевна Юрченко
[3] Евгений Анатольевич Юрченко

[1] Сочинский государственный университет, Россия
354000, г. Сочи, ул. Советская, 26 а
доктор технических наук, профессор
E-mail: pen40@rambler.ru
[2] Сочинский государственный университет, Россия
354000, г. Сочи, ул. Советская, 26 а
кандидат технических наук, доцент
E-mail: wsonormalno@yandex.ru
[3] Сочинский государственный университет, Россия
354000, г. Сочи, ул. Советская, 26 а
аспирант
E-mail: wsonormalno@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается анализ напряжённо-деформированного состояния конструкций зданий при сейсмическом воздействии, основанный на применении кинематического метода. Дано описание аналогового эксперимента с использованием пьезоэффекта.

Ключевые слова: кинематический метод, динамическая система, сейсмическая волна, матрица перемещений, негэнтропия, пьезоэффект.

УДК 624.072

Спектральная теория расчёта сооружений на сейсмические воздействия, построенная на теории колебаний, представляет движение сооружения в виде разложения по собственным формам колебаний, и основным фактором разрушения в большинстве случаев являются изгибающие моменты, которые при амплитудах, близких к резонансным, достигают разрушающих величин. Один из недостатков этой концепции заключается в том, что собственные формы колебаний есть следствие стоячих волн. Реальные же сейсмические волны – это бегущие волны, а на фронте бегущей волны, где производная от смещений имеет наибольшее значение, возникают сдвиговые эффекты, порождающие большие поперечные силы. Кроме того, бегущие волны, прямые и отражённые, могут накладываться одна на другую в разных частях сооружения в зависимости от соотношения размеров сооружения и длины волны. В дискретных средах, каковыми являются здания, возникают явления дифракции, интерференции волн, которые в резонансно-колебательной доктрине не находят отражения.

Не исключая возможности больших деформаций зданий из-за резонансно-колебательных факторов, рассмотрим иную модель, связанную с поперечно-сдвиговой концепцией разрушения при сейсмическом воздействии от бегущей волны.

В 1950–1960-х гг. вопросами учета конечной скорости распространения волн для протяженных сооружений занимался Синицин А.П. [1]. Начиная с 1970-х годов, Хачиян Э.Е. и Амбарцумян В.А. [1] применили его разработки для изучения сейсмостойкости железобетонных каркасных зданий. При распространении сейсмического возмущения от основания здания на каждом этапе система характеризуется нарастающим количеством уравнений движения, степеней свободы, что приводит к различным начальным условиям для перемещений различных этажей и сдвигу фаз между инерционными нагрузками этажей, а затем к качественному и количественному изменению напряженного состояния всей системы.

В предлагаемом нами расчётном методе динамической системой будем считать модель здания, имеющую n степеней свободы. При этом анализу подвергнем только значения горизонтальных перемещений системы при единичном смещении некоторого узла, поскольку вертикальные перемещения значительно меньше. Перемещения узлов i при вынужденном единичном смещении узла j опишем в виде матрицы

$$V=\left\|v_{ij}\right\|,\quad i,j=1,2,\ldots,n. \qquad (1)$$

Эта матрица представляет собой поверхность смещений всех узлов конструкции при единичных смещениях каждого из рассматриваемых узлов. Строки её определяют деформированную ось конструкции при данном положении единичного смещения (сечение поверхности смещений плоскостью, параллельной координатной плоскости), столбцы – перемещения данной точки при различных положениях единичного смещения (линию влияния смещений точки).

Аналогичные матрицы строятся для поперечных сил и изгибающих моментов в узлах:

$$Q=\left\|q_{ij}\right\|,\quad M=\left\|m_{ij}\right\|,\ i,j=1,2,\ldots,n, \qquad (2)$$

где q_{ij}, m_{ij} - значения поперечной силы и изгибающего момента в i - м узле при единичном смещении j -того узла. Столбцы матриц Q и M являются линиями влияния i - точек конструкции при смещениях j - узлов. Пользуясь построенными линиями влияния, можно определять перемещения и усилия в узлах от внешнего воздействия, заданного в виде некоторого смещения отдельного узла или смещений многих узлов по форме произвольной кривой.

Пусть сейсмическая волна описывается выражением, известным из механики колебаний:

$$u(x,t)=a_o*\cos(\omega t-kx+\varphi), \qquad (3)$$

где a_o - амплитуда, x - текущая координата, t - время, ω - круговая частота, $k=\omega/c$ – волновое число, с - скорость фронта волны, φ - начальная фаза.

Для задания параметров сейсмической волны в наших расчетах использовались данные графиков 2.4 и 2.5 б [1]. В качестве примера представлены расчеты перемещений и усилий при сейсмической волне $u(x,t)=0{,}02*\cos(4t-0{,}008x+0)$.

В матричной форме с помощью линии влияния значение поперечной силы в узле i находится из выражения

$$Q_i=\left\|q_{ij}\right\|*\left|u_j\right|,\quad u_j=u(x_j,t_t)=a_o\cos(\omega t_t-kx_j+\varphi_t), \qquad (4)$$

где u_j – перемещения при положении волны на конструкции в момент времени t_t.

Сравнение значений поперечных сил и моментов с предельными допустимыми величинами позволяет сделать вывод об уровне работоспособности конструкции. Далее усилия в элементах рамы определялись при тех же параметрах круговых частот и амплитудах, но при начальных фазах $\pi/2$, $\pi/4$, $\pi/6$, $\pi/8$, то есть со сдвигом фазы. Эти расчеты проведены для случаев, когда размер здания больше ¼ длины волны и сдвиг фазы может заметно влиять на колебания здания. Оказалось, что значения поперечных сил, при всех вычислениях, имеют существенные различия для стоек, расположенных со стороны воздействия и стоек с противоположной от воздействия стороны. Кроме того, из расчётов следует, что в середине высоты рам существует область бифуркации, или особые точки, где значения поперечных сил в одну сторону от этих точек убывают, а в другую – возрастают.

Для рассматриваемой рамы были произведены расчеты на 8-балльные сейсмические нагрузки от собственного веса в программном комплексе ЛИРа. Оказалось, что при этом расчете поперечные силы в стойках как со стороны воздействия, так и с противоположной стороны практически одинаковы, а в уровнях перекрытий имеются скачкообразные изменения знака этих усилий.

В кинематическом методе не проявляется значение частоты. Для сопоставлений необходимо было подобрать вид динамического воздействия с такой же разницей в значениях поперечных сил со стороны воздействия и с противоположной, как в кинематических расчетах. В ЛИРе таким оказалось только гармоническое. Оно чувствительно к изменению фазы, амплитуды колебаний и представляет собой косинусоиду. Это воздействие соответствует закону (1), примененному в кинематическом методе. Результаты расчетов необходимы нам для определения частот колебаний и выявления сдвига фаз. Величины частот сравнивались с результатами при 8-балльных нагрузках в ЛИРе. Переменными были фазы и амплитуды колебаний от дополнительных весов, равных сосредоточенным силам в тех же точках, что и единичные смещения при кинематике. Вычисления произведены от собственного веса рамы, взятого пропорционально значениям функции волны: $u(x,t)=0{,}02*\cos(4t-0{,}008x+\varphi_t)$ при t=1 сек. Фаза в разных расчетах принята 0 (расчет 1), $\pi/4$ (расчет 2), $\pi/2$ (расчет 3), $\pi/8$ (расчет 7). Значения амплитуд и дополнительных весов в другом расчете при фазе 0 приняты удвоенными относительно расчета 1 (расчет 4). В следующем расчете гармонические колебания в виде удвоенных дополнительных весов и амплитуд при фазе 0 устанавливались с отметки 1 по отметку 5 *м* (расчет 5). Далее гармонические колебания в виде удвоенных дополнительных весов и амплитуд при фазе 0 устанавливались только на вершине рамы, на отметке 9 м (расчет 6).

Расчеты на гармонические нагрузки оказались сопоставимы с данными кинематического метода по разнице в величинах поперечных сил со стороны приложения воздействия и противоположной, по значениям, существенно большим, чем на 8-балльные нагрузки в ЛИРе, и по характеру их распределения по высоте рамы (без скачков в уровнях перекрытий). Как видно из рисунка 1, частоты при гармоническом воздействии, соответствующем кинематическому, находятся в пределах частот трех форм колебаний, вычисленных при 8-балльных расчетах в ЛИРе. Частоты в расчетах 1 и 7 совпадают с данными в ЛИРе на 8-балльные сейсмические нагрузки: при первой форме – 9,9 рад/сек, при второй форме – 29,04 рад/сек, при третьей форме – 44,64 рад/сек. Большая часть этих значений имеется в пределах между первой и второй формой. В середине высоты рамы на отметке 5 м частоты имеют одинаковые значения, и сдвиг фаз в уровне этой отметки равен 0.

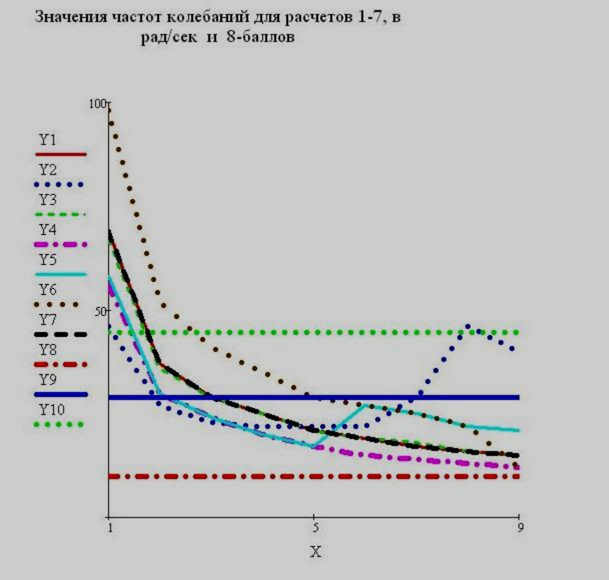

Рис. 1. Частоты колебаний в расчетах 1-7 при гармонических нагрузках и 8-балльных сейсмических нагрузках по трем формам

На рисунке 1 разные линии при гармонических нагрузках по $u(x,t)=0{,}02*\cos(4t-0{,}008x+\varphi_t)$ соответствуют:

- красная линия – расчёт 1, синяя точечная линия – расчёт 2, зеленая линия пунктиром - расчёт 3, фиолетовая линия штрих-пунктиром – расчёт 4; голубая линия – расчёт 5, коричневая точечная линия – расчёт 6; черная штриховая линия – расчёт 7;

при 8-балльных сейсмических нагрузках в ЛИРе:

- красная штрих-пунктирная линия – при первой форме колебаний,
- синяя линия - при второй форме колебаний,
- зеленая точечная линия – при третьей форме колебаний.

Для объяснения описанных особенностей поведения конструкций мы воспользовались методами системного анализа, которые интегрально характеризуют поведения систем. Здание под воздействием природных сейсмических, ветровых или техногенных динамических нагрузок может рассматриваться как динамическая система, для которой однозначно определено понятие состояния как совокупности некоторых величин в данный момент времени и задан закон, описывающий изменение (эволюцию) начального состояния с течением времени. Этот закон позволяет по начальному состоянию прогнозировать будущее состояние динамической системы и его называют законом эволюции.

При анализе сложных систем, состоящих из взаимосвязанных элементов, различают структуру системы и её функционирование. Для их описания эффективными являются методы теории графов. Структура системы определяется графом, в котором вершины соответствуют элементам системы, а рёбра – связям между элементами. Взаимодействие элементов выражается весами рёбер графа и динамикой этих весов. Изучение структуры и анализ функционирования систем проводятся путём сравнения её реального состояния и состояния соответствующей ей целевой функции.

Результатом каждого этапа расчета рассматриваемой модели были перемещения узлов. Полученные значения соотносились друг относительно друга и сводились в структурную матрицу величин горизонтальных перемещений:

$$A=//a_{ij}//_{N*N}, \tag{5}$$

где $a_{ij}=x_i-x_j$, $i,j=1...N$

Далее, поскольку $-1\leq a_{ij}\leq 1$ для всех $i,j=1...N$, то матрица A интерпретируется как структурная матрица перемещений $A=//a_{ij}//$. По определению она кососимметрична относительно нулевой главной диагонали, т. е. $a_{ij}= -a_{ij}$, $i\neq j$

Введём матрицы $A_s=A\bullet A^*$, где [ ]*- транспонированная матрица.

В отличие от исходной матрицы, матрица A_s – симметричная:

$$a_{ij}^{(s)}=\sum_{k=1}^{n}a_{ik}a_{jk}\ ,\quad a_{ji}^{(s)}=\sum_{k=1}^{n}a_{jk}a_{ik}\ ,\quad a_{ij}^{(s)}=a_{ji}^{(s)} \tag{6}$$

Величины горизонтальных перемещений узлов системы являются вершинами графа G и обозначаются как x_i ($i=1,2...N$), значения

$a_{ij}^{(s)}\quad (0\leq abs(a_{ij}^{(s)})\leq 1)$

есть дуги графа, связывающие его вершины. Степени смежности a_{ij} могут принимать значения в интервале [-1;1], а матрица $R(G)=A_s$ по определению является структурной матрицей системы.

Собственные значения матрицы A_s определяются из характеристического уравнения:

$$A_s-\lambda E=0, \tag{7}$$

где E – единичная матрица того же порядка, что и матрица A_s,

$\lambda_A=\lambda_{1A},\ \lambda_{2A},\ \lambda_{NA}$ – собственные значения матрицы A_s.

Сопоставляя полученное уравнение (7) с характеристическим уравнением $det([A]-\omega_j^2[E])=0$ (1.27а) [2], заключаем, что определенные нами собственные числа есть аналог значений собственных частот.

Для анализа характеристических корней всех расчетных схем применим понятие «эвклидово расстояние», позволяющее определить меру сходства (близости) между исследуемыми объектами по результатам определения собственных векторов, обладающих свойством ортогональности:

$$d(x_i x_j)=\sqrt{\sum_{k=1}^{m}(x_{ki}-x_{kj})^2} \tag{8}$$

Пусть число векторов есть $m(m<M)$, тогда множество собственных векторов можно рассматривать как m – мерную ортогональную систему координат, а множество параметров – как некоторую группу точек в этом пространстве. При этом факторная нагрузка i-того параметра системы на j-тую компоненту – фактор есть проекция i- той точки на j-тую координатную ось. Таким образом, в качестве меры сходства параметров исследуемой системы можно рассматривать расстояние между точками в пространстве факторов по формуле (8). Системы наших расчетных схем являются однородными, так как учитывают только один фактор – единичные горизонтальные перемещения. Понятие однородности основано на предположении, что геометрическая близость двух или нескольких параметров означает близость их «физического» состояния, то есть их сходство. Рассматривая эвклидово расстояние между собственными числами матрицы соседних отметок в каждой расчетной схеме, получим расстояние d, характеризующее состояние элемента конструкции между соседними отметками или узлами, которые и составляют размер элемента расчетной схемы.

Элементы, имеющие максимальные значения расстояний d, имеют максимальные различия в физическом состоянии по сравнению с другими элементами расчётной схемы. Выявление этих элементов необходимо для прогнозов развития деформаций и определения элементов деформированных расчетных схем с «нулевой» жесткостью.

Для рамы без связей в левой и средней стойке наибольшие различия в физическом состоянии наблюдаются выше первого перекрытия, по соседству с максимальными относительными значениями d находятся минимальные (d=0,99 и d=0,1), следовательно, здесь происходит скачкообразный переход в состояниях. На эпюрах поперечных сил для рамы этим участкам соответствуют:
- в левой стойке – рост значений от опоры до отметок 3-4 м, а затем убывание к отметке 5 м;
- в правой стойке значения неравномерно убывают к верху рамы, а относительные величины d практически не меняются;
- в раме с крестовыми связями убывание значений поперечных сил к верху рамы происходит скачкообразно, они то убывают, то возрастают, а затем опять убывают, на отметке 7 м они меняют знак. Возрастающим значениям поперечных сил соответствуют большие значения d, а убывающим или меняющим знак – меньшие значения d. Отсюда следует, что установка крестовых связей приводит к снижениям значений d, тем более в случае податливых связей при δ=-0,01, значит, структура рамы стабилизируется.

В работах по системному анализу рассматриваются анализ устойчивости режима функционирования динамической системы и проблема перехода системы из одного режима в другой, принципиально отличающийся. Система выбирает новый устойчивый режим, который может наследовать некоторые свойства предыдущего, а может быть и резко отличным. В таких случаях говорят о бифуркациях динамических систем, которые в нашей модели находятся в середине высоты рам, система в этих местах имеет резкие различия.

Дальнейший системный анализ выполнен по значениям негэнтропии, имеющей тот же смысл показателя качества энергии, что и энтропия. Значение негэнтропии двух следующих подряд состояний системы G_1 и G_2 вычисляется по выражению, предложенному Каганом Е.В.:

$$h(G_1|G_2) = -ln \frac{\sum_{i=1}^{N} |\lambda_{1i} - \lambda_{2i}|^N}{\sum_{i=1}^{N} |\lambda_{1i}|^{N/2} * \sum_{i=1}^{N} |\lambda_{2i}|^{N/2}}, \qquad (10)$$

где $h(G_1|G_2)$ - негэнтропия; G_1 и G_2 - матрицы размером N*N, описывающие два различных состояния системы; λ_{1i}, λ_{2i}, $i=1,2,...i$ - собственные числа матриц G_1 и G_2.

Такой анализ позволяет установить, на каком участке вертикального элемента системы горизонтальное смещение принесет наибольший ущерб, то есть вызовет максимальный хаос [3]. Значение негэнтропиии в этом случае будет максимальным. Кроме того, для перечисленных расчетных схем произведено сравнение относительных величин d и h.

Оказалось, что элементы с максимальными относительными значениями негэнтропии имеют минимальные относительные значения d. Следовательно, они имеют минимальные различия в физическом состоянии (по значениям d), но максимальные структурные изменения (по значениям негэнтропии h) и находятся в местах скачкообразных изменений значений d. Таким образом, максимальные значения негэнтропии соответствуют тем элементам расчетных схем, у которых происходят скачкообразные изменения физического состояния (максимум – минимум). А значит, максимальные значения негэнтропии характеризуют участки конструкций с наибольшими структурными изменениями, происходящими при внешних динамических воздействиях (см. рис. 2).

Максимальные значения h, как и минимальные значения d, находятся в элементах середины высоты рам и соответствуют точкам бифуркации, или особым точкам.

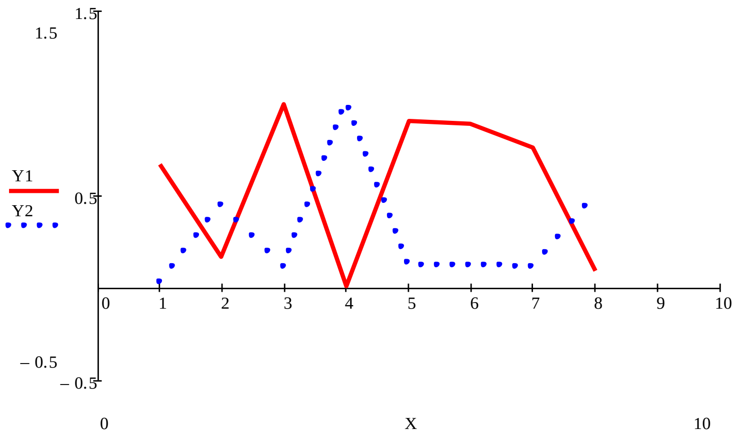

Рис. 2. Графики значений эвклидова расстояния d(Y1) и негэнтропии h(Y2) для левой стойки железобетонной рамы без крестовых связей

Для экспериментальной проверки полученных результатов механические колебания смоделированы с использованием пьезоэффекта, что позволило экспериментально установить положение точек бифуркации. Идея эксперимента заимствована у Ю.К. Бивина [4]. Физическая суть экспериментов заключается в регистрации возле колеблющегося объекта электрических сигналов, вызванных пьезоэлектрическим эффектом, по которым судят о состоянии этого объекта. Мы используем пьезоэлектрические свойства органического стекла и древесины, а именно, зависимость электрического поля вокруг образца от прикладываемых к образцу внешних механических нагрузок.

Оборудованием для проведения эксперимента служил персональный компьютер со звуковой картой. Для увеличения чувствительности ее линейного и микрофонного входов нами в виде приставки собран внешний двухканальный малошумящий микрофонный усилитель. Сигнал, снимаемый с исследуемого образца (2 канала), подаётся в микрофонный усилитель и усиливается до уровня 0,2 V, затем выводится на линейный вход звуковой карты.

Деревянная линейка, покрытая спирто-канифольным лаком, или линейка из оргстекла длиной 36 см жёстко закреплялась одним концом в массивной подставке в горизонтальном положении, образуя консоль. На поверхности линейки в разных точках устанавливались две пары приёмных антенн, подключенных к входам двухканального микрофонного усилителя при помощи кабелей с разъёмами. Выходы двухканального микрофонного усилителя подключались к двухканальному линейному входу звуковой карты персонального компьютера коаксиальными экранированными кабелями с разъёмами. С помощью программы Spectralab компьютер с двухканальным микрофонным усилителем работает как двухканальный осциллограф. Возбуждение колебаний производится отклонением линейки в нужной нам точке от нейтрального положения статической нагрузкой до появления контролируемого прогиба и последующим мгновенным удалением отклоняющего воздействия.

В такой схеме эксперимента определяется частота колебаний консоли по первой собственной форме и ее демпфирование при колебаниях в воздушной среде. Осциллограммы не вполне симметричны относительно нулевой линии. Это в совокупности может свидетельствовать о том, что при изгибе балки со стороны растяжения и сжатия возникают заряды различной полярности. Поэтому осциллограммы имеют форму, напоминающую синусоиду с убыванием амплитуды: антенны фиксируют напряженность поля от всех зарядов, возникающих при колебании консоли. Сам колебательный процесс является затухающим. Как и в экспериментах Ю.К. Бивина, мы располагали антенны на балке не только с двух ее сторон, но и с одной стороны. При этом мы также одну из антенн приблизили к жесткому защемлению на расстояние 0,4*l длины балки l, а другую – на расстояние 0,8*l от защемления. И тоже получили осциллограмму с колебаниями в фазе с наложением двух синусоидальных колебаний. Более высокая частота соответствует колебаниям по второй собственной форме свободных колебаний. По мнению Ю.К. Бивина, «...именно здесь колебания по второй собственной форме дают существенный вклад в суммарную напряженность электрического поля...».

Как изложено выше, в середине высоты рамы частоты колебаний при гармоническом воздействии, соответствующем кинематическому, приблизительно равны частотам колебаниям при 8-балльном воздействии между первой и второй формой.

Для определения влияния структурных неоднородностей (имитируемых пластилиновыми шариками) на скорость колебаний, выявления эффекта сдвига фаз, сравнения амплитуд колебаний проведена серия экспериментов с установкой антенн с одной стороны балки в двух из трех точек. На линейке длиной 36 см из оргстекла три шарика из пластилина установлены на отметках 30 см, 18 см, 0 см. Все смещения производились в месте установки антенны, соединенной с правым каналом. Опыты показывают, что скорость колебаний значительно гасится пригрузом у опоры и вблизи неё, а пригруз до середины длины консоли замедляет скорость распространения волн. Существен эффект сдвига фаз при измерении сигналов на конце консоли и в середине её длины.

Об относительно большом вкладе второй формы собственных колебаний в суммарном динамическом эффекте свидетельствуют расчёты реально проектируемых зданий. Например, расчёты, выполненные инженером А.С. Мухановым в программном комплексе Stark для монолитного железобетонного 9-этажного жилого дома по улице Искры в г. Сочи (фактор участия второй формы колебания составил 16,39 %) и 9-этажного жилого дома по улице Санаторной в г. Сочи (фактор участия второй формы колебаний 10,82 %).

Основные выводы

1. Для имитации волнового воздействия и учета не мгновенности распространения волны по зданию предложена динамическая модель расчета, в которой анализируются только значения горизонтальных перемещений, а в качестве времени воздействия используется шаг кинематического возмущения.

2. Разработаны интегральные оценки состояния конструкций зданий как структур методами системного анализа. Для их описания применены методы теории графов. Количественные оценки дают возможность образовывать деформированные схемы конструкций по максимальным значениям собственных чисел.

3. Качественные оценки структуры системы по величине эвклидова расстояния d и негэнтропии h позволяют выбирать способы усиления конструкций на основании сравнения нескольких расчетных схем.

4. Разработана схема экспериментальных исследований колебаний консолей с использованием пьезоэффекта. Для регистрации электрических колебаний собран микрофонный усилитель, работающий в диапазоне от 5 до 20000 Гц, подключаемый к линейному входу звуковой карты персонального компьютера, используемого в качестве двухканального осциллографа.

5. Экспериментально установлено, что скорость колебаний может быть значительно погашена пригрузом опор, а пригруз до середины длины консолей замедляет скорость распространения волн. Выявлен эффект сдвига фаз в схемах со смещением свободного края консоли при измерении сигналов на нем и в середине длины (этот результат совпадает с тем, что был получен и в натурных испытаниях железобетонной рамы Э.Е. Хачияном и др. [1]).

6. Сравнение величин амплитуд колебаний консолей со структурными неоднородностями конструкций, имитация которых выполнена грузами, выявило, что эти неоднородности не влияют на значения амплитуд колебаний у опор, в середине длины консолей их влияние оказывается значительным. При реальных волновых воздействиях, таким образом, необходим учет воздействий волн, доходящих до середины высоты здания.

Примечания:

1. Волновые процессы в конструкциях зданий при сейсмических воздействиях. М.: Наука, 1987. 157 с.

2. Бирбраер А.Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость. СПб.: Наука, 1998. 225 с.

3. Пересыпкин Е.Н., Пересыпкин С.Е., Юрченко Е.Е., Юрченко Е.А. Создание системы измерений поперечной силы при сейсмическом воздействии на здания и сооружения конструктивных схем Черноморского побережья. Отчет о НИР – УДК 550.34; 624.0427, N госрегистрации 01201001518. Сочи: СГУТиКД, 2010.

4. Бивин Ю.К. Исследование электрических полей при динамическом деформировании полимеров // Журнал технической физики, том 80, вып. 6, 2010. С. 58-63.

Kinematic Method of Building Structure System Analysis

[1] Evgeny N. Peresypkin
[2] Elena E. Yurchenko
[3] Evgeny A. Yurchenko

[1] Sochi State University, Russia
26a Sovetskaya Str., Sochi 354000
Dr. (Engineering), Professor
E-mail: pen40@rambler.ru
[2] Sochi State University, Russia
26a Sovetskaya Str., Sochi 354000
PhD (Engineering), Assistant Professor
E-mail: wsonormalno@yandex.ru
[3] Sochi State University, Russia
26a Sovetskaya Str., Sochi 354000
Postgraduate
E-mail: wsonormalno@yandex.ru

Abstract. The article analyses stress-strain state of building structure during earthquake load, based on kinematic method use, presents analogue experiment, using piezoelectric effect.

Keywords: kinematic method, dynamic system, seismic wave, motion matrix, negentropy, piezoelectric effect.

UDC 624.072