



А. Г. ТЯПИН
доктор технических наук

АО «Атомэнергопроект», г. Москва

УДК 624.042.7

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО АСИМПТОТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ: РАСЧЕТЫ В ЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ

В статье обсуждается суммирование сейсмических реакций на однокомпонентные воздействия при оценке реакции на шестикомпонентное воздействие, заданное на жестком фундаменте. Это воздействие вычислено комбинированным асимптотическим методом с учетом взаимодействия сооружения с грунтовым основанием, и качательная составляющая в определенной степени коррелирована с горизонтальной составляющей движения жесткого фундамента. Корреляция приводит к тому, что традиционное суммирование реакций по правилу корня квадратного из суммы квадратов (ККСК), вполне применимое при расчетах на трехкомпонентное воздействие, иногда может давать неконсервативные результаты при расчете на шестикомпонентное воздействие. Альтернативное правило суммирования было предложено автором ранее: оно подразумевает прямое суммирование двух пар максимальных реакций на горизонтальные и качательные компоненты воздействия в одной вертикальной плоскости, и только затем суммирование получившихся четырех составляющих по правилу ККСК. На конкретном примере сравнивается консерватизм различных подходов. Все реакции (и на однокомпонентные, и на шестикомпонентные воздействия) вычислены в частотном диапазоне.

Ключевые слова: сейсмическая реакция, расчет в частотном диапазоне, суммирование максимальных реакций, взаимодействие сооружений с основанием.

Комбинированный асимптотический метод (КАМ) разработан для учета взаимодействия сооружения с основанием при сейсмических воздействиях [1]. Результатом расчета такого взаимодействия в т.н. «первой опции КАМ» является шестикомпонентная акселерограмма движения жесткого фундамента под податливым сооружением. На последнем этапе проводится расчет модели сооружения на жестком фундаменте, на который подается кинематическое воздействие в виде указанной выше акселерограммы. В т.н. «второй опции КАМ» результатом расчета взаимодействия сооружения с основанием является шестикомпонентная акселерограмма движения платформы, на которой с помощью «платформенного подвеса» (системы поступательных пружин и демпферов) установлена модель сооружения (с жестким или податливым фундаментом). Как и в первой опции, эта акселерограмма на последнем этапе используется в качестве кинематического возбуждения, но это уже другая акселерограмма, и на этот раз она подается не на фундамент, а на платформу под фундаментом и подвесом.

Подробнее рассмотрим к этому последнему этапу расчета. Он может проводиться как в прямом времени (например, модальным методом, поскольку система однородна по демпфированию), так и в частотном диапазоне с применением преобразования Фурье (и с получением реализаций во времени усилий, как и в первом случае), а также по линейно-спектральной теории (в этом случае вычисляются только

максимальные по модулю реакции). Расчет во времени чаще всего используется для получения акселерограмм и спектров ответа для различных точек в сооружении (например, поэтажных спектров ответа, используемых в дальнейшем для проектирования оборудования). Такая практика существует в АЭП около десяти лет.

Расчет же внутренних усилий, необходимых для проектирования строительных конструкций, традиционно проводится по линейно-спектральной теории. При этом, как отмечалось выше, воздействие задается шестикомпонентным (будь то воздействие на жестком фундаменте или воздействие на платформе под фундаментом). В линейно-спектральной теории реакции вычисляются на однокомпонентные воздействия, заданные по отдельности. Возникает вопрос, как суммировать максимальные по модулю реакции на различные компоненты воздействия.

Этот вопрос уже рассматривался автором в [2]. При трехкомпонентном задании воздействия (традиционно применяемом в гражданском строительстве в предположении о том, что взаимодействие сооружения с основанием отсутствует и что движение фундамента совпадает с трехкомпонентным движением поверхности основания в отсутствии сооружения) все три поступательные компоненты акселерограммы считаются статистически независимыми. Независимыми считаются и реакции на эти три компоненты (подчеркнем, что три компоненты воздействия направлены по трем разным осям, реакции же в данном случае рассматриваются в одном и том же направлении для выбранной строительной конструкции). На самом деле, вторая независимость не следует строго из первой независимости: сооружения могут отфильтровывать определенные составляющие воздействий таким образом, что реакции будут коррелированными даже при статистически независимых воздействиях; однако этим на практике пренебрегают. Независимость реакций дает право суммировать их максимумы по правилу ККСК (корня квадратного из суммы квадратов). Такое суммирование закреплено в нормах [3].

Применимо ли аналогичное правило к суммированию реакций на шесть компонент воздействия? Конечно, применимо, если они статистически независимы друг от друга. Однако здесь как раз и возникает проблема. Даже в самом простом случае симметричного сооружения на жестком фундаменте оказывается, что горизонтальная реакция фундамента связана с качанием фундамента в той же вертикальной плоскости. Если представить себе простейшую платформенную модель системы «основание-сооружение», в которой модель симметричного сооружения установлена на платформу на шести сосредоточенных «грунтовых пружинах», то за счет поднятия центра тяжести сооружения над фундаментом в каждой горизонтально-качательной собственной форме появятся одновременно и горизонтальные, и качательные перемещения фундамента. И только вертикальные и крутильные формы для симметричного сооружения отделятся от горизонтально-качательных форм. А качательные формы отделятся от горизонтальных форм в той же вертикальной плоскости только в том невероятном случае, если сооружение сведется к сосредоточенной массе в точке крепления грунтовых пружин.

Одновременное присутствие качания и горизонтального перемещения фундамента в каждой форме означает, что в самом распространенном случае, когда сейсмическая реакция определяется модальной реакцией по небольшому числу «доминантных» форм, горизонтальная и качательная реакция по каждой форме будут полностью коррелированы между собой. Когда форм много, корреляция в суммарной реакции перестанет быть полной, но не исчезнет совсем. Как следствие, суммарная реакция на шестикомпонентное воздействие, вычисленная по правилу ККСК, не учитывающему корреляцию между качанием и горизонтальным движением фундамента, может оказаться неконсервативной.

До сих пор речь шла о первой опции КАМ, т.е. о движении фундамента. Но во второй опции КАМ движение платформы вычисляется через то же самое движение фундамента. Если

НАКОПЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ МОДАЛЬНЫХ МАСС

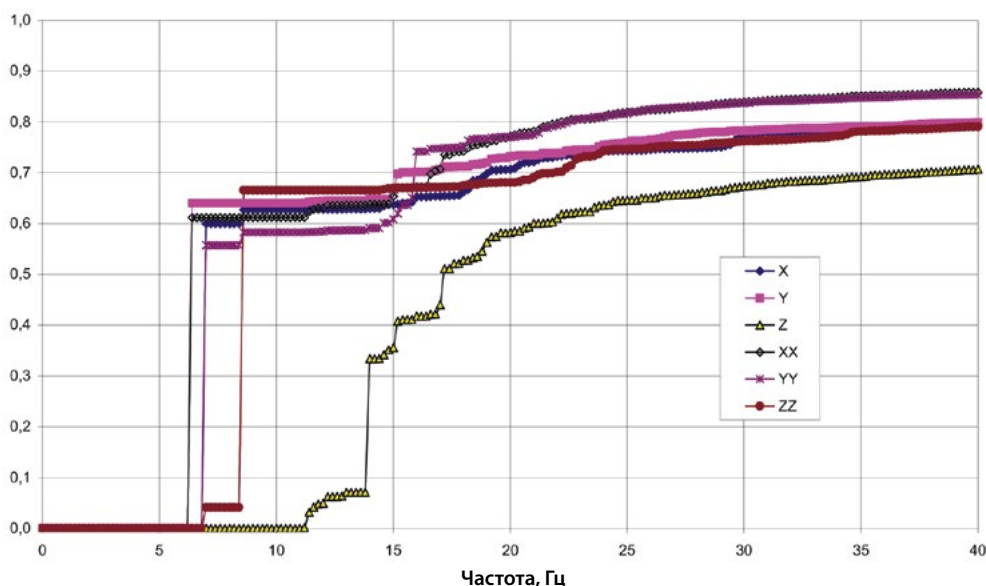


Рисунок 1 — Накопление относительных модальных масс по шести степеням свободы

ПОСТУПАТЕЛЬНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ ИНЕРЦИЯ

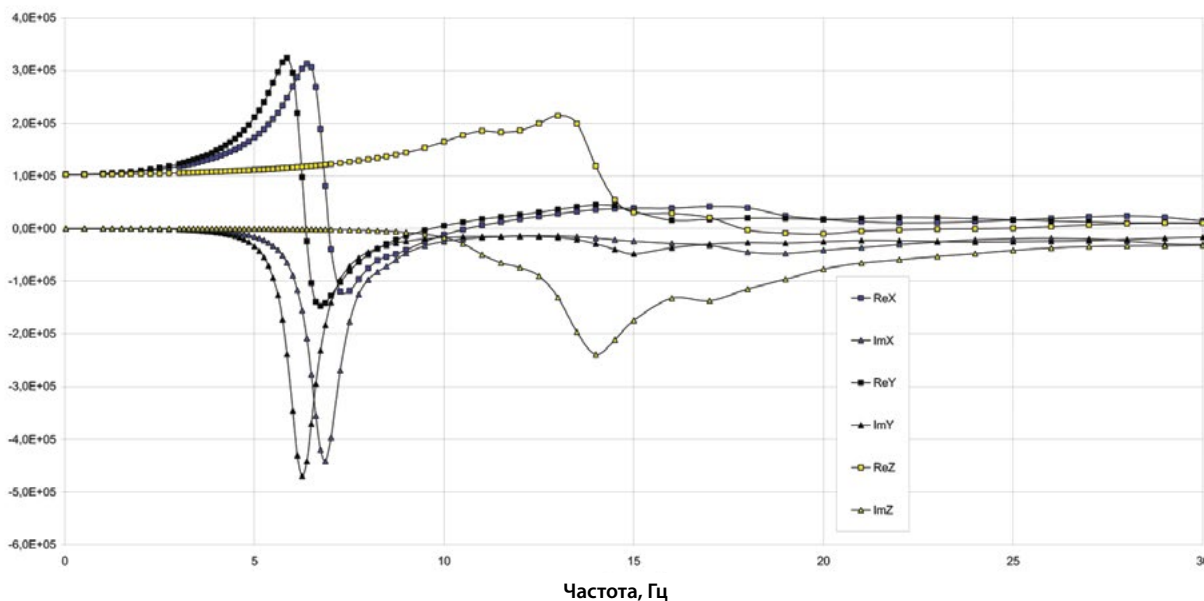


Рисунок 2 — Диагональные элементы матрицы динамической инерции в поступательных направлениях

ВРАЩАТЕЛЬНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ ИНЕРЦИЯ

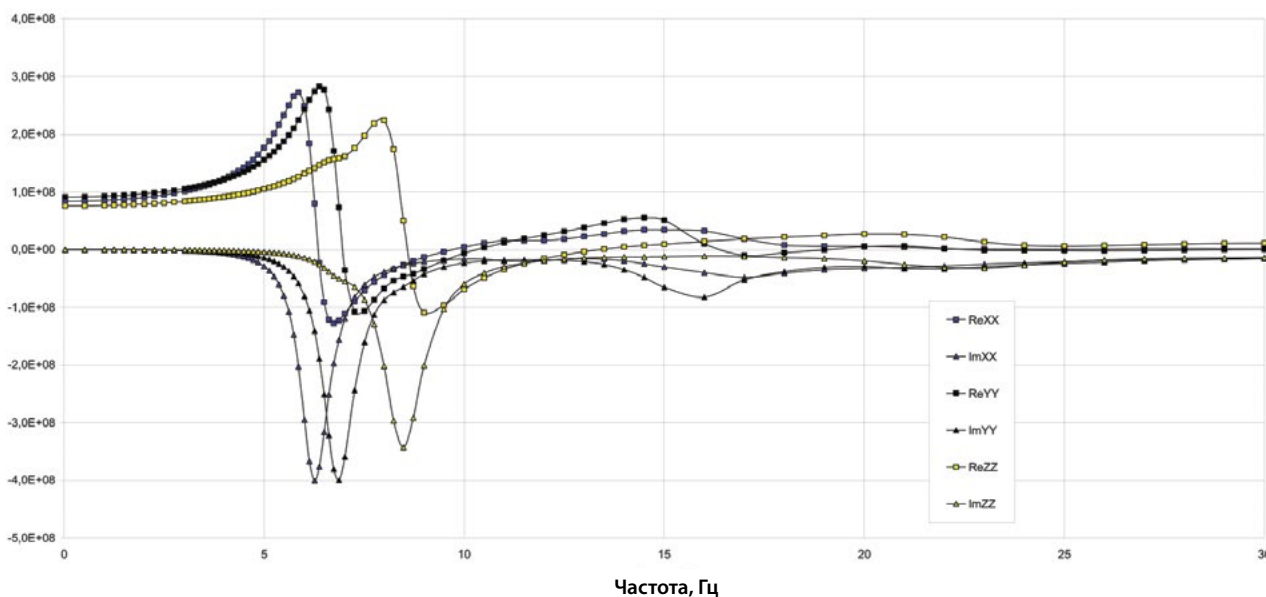


Рисунок 3 — Диагональные элементы матрицы динамической инерции во вращательных направлениях

движение фундамента содержало коррелированные компоненты, нет уверенности, что и движение платформы не будет их содержать.

Автор в [2] на конкретном примере продемонстрировал неконсерватизм правила ККСК применительно к шестикомпонентному воздействию на фундаменте. Он предложил заменить его на более консервативное правило: суммировать максимумы реакции на горизонтальные и качательные компоненты воздействия, заданные в одной вертикальной плоскости, прямо по модулю и только затем применять правило ККСК к получившимся четырем слагаемым реакции. Имеются в виду два «горизонтально-качательных» слагаемых, «вертикальный» слагаемый и «крутильный» слагаемый – названия слагаемых здесь даются не по направлению реакции

(оно одно и то же для всех слагаемых), а по направлению компонент воздействия.

Как неоднократно отмечалось (в том числе и автором в [4]), линейно-спектральная теория точна только для систем с одной степенью свободы; все правила суммирования (как для отдельных модальных реакций на одно и то же однокомпонентное воздействие, так и для реакций на разные компоненты воздействия) носят приближенный, статистический характер. Это означает, что любые предложения по их совершенствованию должны быть апробированы практикой расчетов конкретных объектов.

В настоящей статье как раз и разбирается подобный пример расчета. Для начала расчет проводится не по линейно-спектральной теории (это планируется на будущее),

ПОСТУПАТЕЛЬНЫЕ СПЕКТРЫ 7%

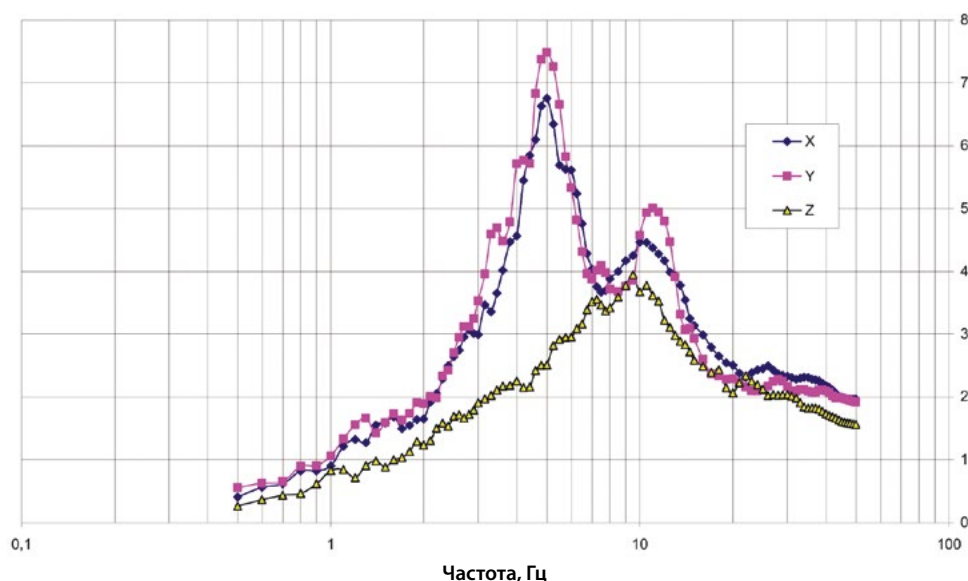


Рисунок 4 — Спектры ответа для поступательных компонент реакции жесткого фундамента

ВРАЩАТЕЛЬНЫЕ СПЕКТРЫ 7%

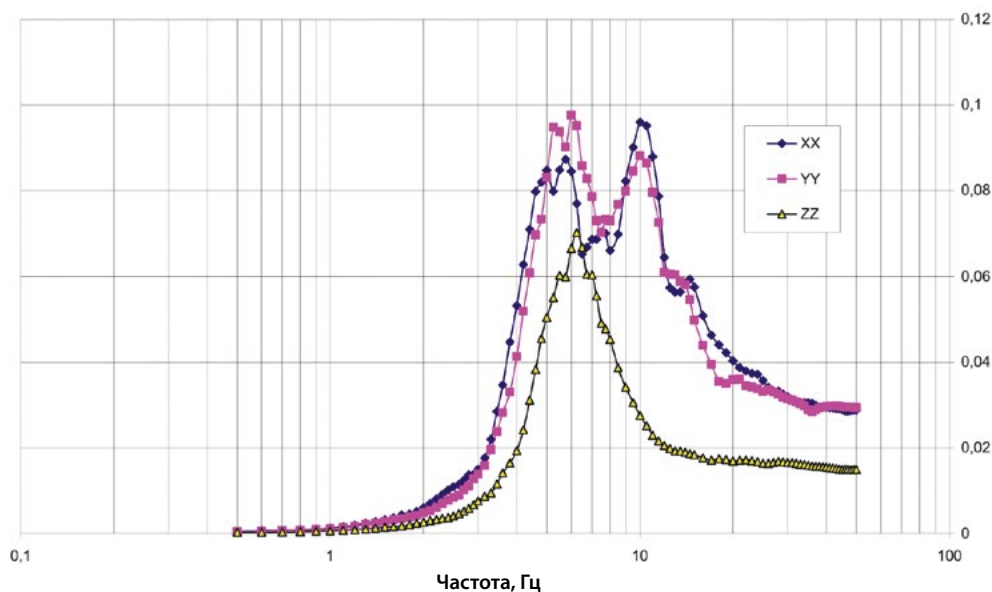


Рисунок 5 — Спектры ответа для вращательных компонент реакции жесткого фундамента

а в частотном диапазоне. В принципе, результаты такого расчета должны соответствовать результатам расчета в прямом времени. Интересно то, как реакции на однокомпонентное воздействие соотносятся с реакцией на шестикомпонентное воздействие с теми же компонентами, действующими одновременно. Понятно, что в линейной системе реакции во времени будут суммироваться алгебраически, но интересно, как при этом поведут себя максимумы модулей реакции во времени.

Для достаточно тяжелого сооружения (массой около 102 тыс.т) с большой в плане фундаментной плитой (размеры фундамента в плане 67,8 x 61,8 м) проведен модальный анализ детальной модели, построенной в программе ABAQUS [5], на защемленном фундаменте. На рис.1 показано накопление относительных модальных масс по шести степеням свободы.

Мы видим, что первые частоты горизонтально-качательных форм составили 6,24 Гц в плоскости OYZ и 6,83 Гц в плоскости OXZ. Соответствующие формы являются доминирующими с точки зрения модальных масс.

Затем была построена матрица динамической инерции по методике [4]. При этом демпфирование в железобетоне задавалось равным 7%. При построении матриц учитывались первые 722 формы, частоты которых не превышают 51 Гц. На рис.2 и 3 показаны действительные и мнимые части комплексных диагональных элементов матрицы динамической инерции: отдельно для трех поступательных направлений и для трех вращательных направлений.

С помощью КАМ были рассчитаны колебания жесткого фундамента сооружения на грунтовом основании при сейсмическом воздействии. Спектры ответа для шести

компонент этой сейсмической реакции фундамента (для нас в дальнейшем реакция на фундаменте станет воздействием для верхнего строения) приведены на рис. 4 и 5 отдельно для поступательных, отдельно для вращательных компонент. Они построены для демпфирования в осцилляторах 7%.

Подчеркнем один важный момент. На самом деле, с помощью КАМ рассчитывалось двенадцать однотипных сооружений на разных грунтовых основаниях и при несколько разных воздействиях. Для каждого из них рассчитывалась шестикомпонентная реакция жесткого фундамента, затем спектры этой реакции по каждому из шести направлений были обогнуты по двенадцати сооружениям. Под эти шесть огибающих спектров была синтезирована новая шестикомпонентная акселерограмма. Спектры ускорений для ее компонент как раз и приведены на рис. 4 и 5. Принципиально важно, что при синтезе компонент была разорвана корреляция между качанием и горизонтальными реакциями: все шесть компонент акселерограммы статистически независимы (коэффициенты попарной корреляции находятся в пределах 0,15).

Если провести расчет в частотном диапазоне, умножая матрицу динамической инерции на воздействие на фундаменте, мы получим интегральные силы под подошвой фундамента. Эти силы востребованы при оценке несущей способности основания и потенциала отрыва и проскальзывания по подошве.

Однако нас в данном случае интересуют силы не под, а над подошвой фундамента. Для определения интегральных сил над подошвой требуется построить матрицу динамической инерции для верхней части сооружения (над фундаментом), чтобы затем умножать ее в частотном диапазоне на заданное на фундаменте воздействие, как сказано выше. Поскольку фундамент принят жестким, а воздействие подается непосредственно на него, достаточно построить для этого фундамента традиционную (чисто действительную) матрицу инерции 6×6 и вычесть ее из матрицы динамической инерции полного сооружения. Скажем, из трех первых диагональных элементов матрицы динамической инерции будет вычитаться просто масса фундаментной плиты – это в нашем случае около 13 тысяч тонн. Получившуюся матрицу динамической инерции верхней части будем использовать, как и полную матрицу: умножать ее в частотном диапазоне на шестикомпонентное воздействие на фундаменте и получать в итоге шестикомпонентные реализации во времени интегральных усилий – на этот раз это будут усилия не под, а над подошвой. Они приводятся в системе координат, связанной с подошвой фундаментной плиты, но поступательные компоненты от параллельного переноса осей вообще не зависят, а вращательные изменятся не очень значительно. Для нас это особого значения не имеет, так как мы будем исследовать вопросы суммирования реакций на однокомпонентные воздействия – все равно, в какой системе координат, лишь бы эта система была одной и той же при сравнении.

В Таблице 1 приведены максимальные по времени модули интегральных усилий над фундаментной плитой, полученные расчетом в частотном диапазоне. Отдельно вычислялась реакция на шестикомпонентное воздей-

ствии (обозначение 6D) и на шесть однокомпонентных воздействий, заданных по отдельности по каждому направлению (в этом случае использовался тот же алгоритм, что и для шестикомпонентного воздействия, но пять из шести компонент задавались нулевыми). По столбцам показаны реакции по разным направлениям. В конце таблицы приведены результаты обработки реакций на однокомпонентные воздействия по трем правилам: ККСК (английская аббревиатура SRSS), по правилу, предложенному автором в [2] (обозначение AGT) и по правилу прямой суммы модулей.

Мы видим, что результаты ККСК (SRSS) оказались немногим неконсервативными (за исключением крутильного момента). Напомним, что компоненты воздействия в данном случае не коррелированы между собой, так что этот неконсерватизм является не следствием обсуждавшейся выше корреляции между качанием и горизонтальной реакцией, а просто проявлением статистического характера правил суммирования (в данном случае – правила ККСК). В рассмотренном примере самый большой неконсерватизм проявился в качании вокруг оси Y (столбец YY в таблице) и составил 12%.

Результаты по правилу прямого суммирования модулей являются, как и должно быть, самыми консервативными, но степень этого консерватизма представляется чрезмерной с инженерной точки зрения.

Результаты применения правила AGT являются, как и ожидалось, немного менее консервативными по сравнению с прямым суммированием (а для вертикального направления – даже неконсервативными, хотя степень неконсерватизма здесь минимальна). Но и здесь степень консерватизма в целом достаточно велика.

Главный интерес представляет следующий вопрос. Если бы мы не огибали спектры на фундаменте по двенадцати расчетным случаям, а рассчитали максимальные реакции и усилия по каждому зданию и грунту в отдельности, то мы не потеряли бы корреляцию между качанием и горизонтальной реакцией. Какой была бы интегральная сила над подошвой, рассчитанная таким образом?

В Таблице 3 приведены результаты расчета интегральных усилий над подошвой по одному из четырех зданий – построенному на самом мягком основании из четырех рассмотренных. Формат аналогичен Таблице 1.

Напомним, что принципиальное отличие второго расчета от первого заключается в сохранении корреляции между горизонтальными и качательными компонентами воздействия на фундаменте в одной вертикальной плоскости. Сравнивая таблицу 4 с таблицей 2, можно заметить, что с учетом корреляции во втором расчете степень консерватизма правила ККСК (SRSS) не уменьшилась, а увеличилась по сравнению с первым расчетом. Остался лишь совсем небольшой неконсерватизм по степени свободы YY. Таким образом, в рассматриваемом случае сочетание качания с горизонтальной реакцией сработало, скорее, в сторону уменьшения реакции.

Отметим, что в Таблице 3 реакция по направлениям X и Z на однокомпонентное воздействие на фундаменте, заданное по тому же направлению, оказалась большей, чем реакция на шестикомпонентное воздействие. В по-

Таблица 1 — Максимальные по времени модули интегральных усилий над фундаментной плитой, полученные расчетом в частотном диапазоне

Воздействия	x	y	z	xx	yy	zz
6D	3,676E+05	3,766E+05	1,770E+05	1,044E+07	1,079E+07	2,558E+06
x	2,889E+05	3,547E+03	3,216E+03	1,020E+05	7,984E+06	1,287E+06
y	3,276E+03	3,433E+05	8,850E+03	9,210E+06	1,079E+05	1,560E+05
z	2,225E+03	7,805E+03	1,737E+05	4,096E+05	2,070E+05	4,495E+04
xx	1,791E+03	1,472E+05	9,253E+03	4,599E+06	6,743E+04	7,978E+04
yy	1,569E+05	2,317E+03	2,953E+03	7,522E+04	5,134E+06	9,674E+05
zz	2,541E+04	2,412E+03	2,277E+02	6,683E+04	7,643E+05	2,261E+06
Суммирование						
SRSS	3,298E+05	3,736E+05	1,742E+05	1,030E+07	9,526E+06	2,782E+06
AGT	4,466E+05	4,906E+05	1,747E+05	1,382E+07	1,314E+07	3,202E+06
Прямая сумма	4,785E+05	5,066E+05	1,982E+05	1,446E+07	1,426E+07	4,796E+06

Таблица 2 — Отношения результатов обработки реакций на однокомпонентные воздействия к результатам расчета на шестикомпонентное воздействие

	x	y	z	xx	yy	zz
SRSS/6D	0,90	0,99	0,98	0,99	0,88	1,09
AGT/6D	1,21	1,30	0,99	1,32	1,22	1,25
Прямая сумма/6D	1,30	1,35	1,12	1,39	1,32	1,87

Таблица 3 — Результаты расчета интегральных усилий над подошвой по одному из четырех зданий

Воздействия	x	y	z	xx	yy	zz
6D	2,637E+05	2,642E+05	1,451E+05	6,329E+06	7,139E+06	1,463E+06
x	2,647E+05	2,021E+03	2,115E+03	6,723E+04	6,453E+06	1,306E+06
y	2,685E+03	2,486E+05	7,954E+03	6,063E+06	8,446E+04	1,120E+05
z	2,151E+03	7,451E+03	1,505E+05	3,264E+05	1,108E+05	3,751E+04
xx	1,333E+03	9,872E+04	8,697E+03	2,941E+06	4,748E+04	5,208E+04
yy	8,100E+04	1,275E+03	2,112E+03	4,070E+04	2,613E+06	6,040E+05
zz	1,371E+04	1,056E+03	1,958E+02	2,657E+04	3,761E+05	1,108E+06
Суммирование						
SRSS	2,772E+05	2,676E+05	1,510E+05	6,747E+06	6,974E+06	1,821E+06
AGT	3,460E+05	3,474E+05	1,515E+05	9,011E+06	9,075E+06	2,215E+06
Прямая сумма	3,656E+05	3,591E+05	1,716E+05	9,465E+06	9,685E+06	3,220E+06

Таблица 4 — Отношения результатов обработки реакций из Таблицы 3 на однокомпонентные воздействия к результатам расчета на шестикомпонентное воздействие

	x	y	z	xx	yy	zz
SRSS/6D	1,05	1,01	1,04	1,07	0,98	1,24
AGT/6D	1,31	1,32	1,04	1,42	1,27	1,51
Прямая сумма/6D	1,39	1,36	1,18	1,50	1,36	2,20

Таблица 5 — Попарные коэффициенты корреляции между компонентами реакции фундамента во втором расчете

	x	y	z	xx	yy	zz
X	1					
Y	0,0401	1				
Z	-0,0333	0,0786	1			
XX	-0,0093	-0,0401	0,0071	1		
YY	0,1360	-0,0340	0,0942	-0,0865	1	
ZZ	0,2028	-0,0639	-0,0319	-0,1110	0,2475	1

добных случаях правило ККСК уже само по себе оказывается консервативным, и добавление дополнительного консерватизма, которое предлагал автор в [2], является лишним. По мнению автора, степень консерватизма ККСК (см. первую строку Таблицы 4) в данном случае вполне удовлетворительна.

Приведем в Таблице 5 попарные коэффициенты корреляции между компонентами воздействия на фундаменте во втором расчете. Матрица коэффициентов корреляции симметрична; показан только нижний треугольник.

Как видим, корреляция между горизонтальными и качательными компонентами (пары X/YY и Y/XX) оказалась недостаточно большой, чтобы считать соответствующие компоненты статистически связанными (напомним, критерий связанности – превышение уровня 0,15). Больше оказалась корреляция между крутильной компонентой реакции и компонентами горизонтальной и качательной реакции в плоскости OXZ, - очевидно, из-за несимметрии сооружения. Теперь понятно, почему правило ККСК показало такой хороший результат, а дополнительный консерватизм оказался избыточным, – просто корреляция между качанием и горизонтальной реакцией оказалась в данном случае не очень большой и не сыграла заметной роли.

Итак, рассмотренный пример показал, что при задании шестикомпонентного воздействия на жестком фундаменте интегральные силы, полученные по правилу суммирования ККСК (SRSS), могут быть достаточно консервативны. Причина в том, что корреляция между горизонтальными и качательными компонентами реакции фундамента не обязательно оказывается большой.

Приведенный пример показывает также, что роль качания фундамента является достаточно существенной – реакции на качательные однокомпонентные воздействия

составили больше трети от реакций на поступательные компоненты воздействия в той же вертикальной плоскости.

Какие предварительные рекомендации можно дать по итогам проведенных расчетов? При практическом применении КАМ в результате первой опции определяются шестикомпонентные реакции на жестком фундаменте в формате ускорений во времени. Нетрудно оценить попарную корреляцию шести компонент движения жесткого фундамента. Если эта корреляция оказывается небольшой (в пределах 0,15), как в рассмотренном в настоящей статье примере, нет необходимости вводить дополнительный консерватизм – достаточно при расчете усилий использовать правило ККСК. Впрочем, эти рекомендации надо будет проверить на других примерах.

Читатель может спросить: а зачем вообще понадобилось вычислять реакции во времени на однокомпонентные воздействия (с помощью расчетов в частотном диапазоне), если с тем же успехом и в шесть раз быстрее можно сразу рассчитать во времени «эталонную» реакцию на шестикомпонентное воздействие? Ответ такой – следующим шагом должно стать исследование результатов расчета по линейно-спектральной теории, а вот там придется иметь дело как раз с результатами расчета на каждую компоненту воздействия в отдельности (прежде чем переходить к правилам суммирования по компонентам воздействия). Эти «однокомпонентные» линейно-спектральные реакции мы и будем сравнивать с «однокомпонентными» реакциями, рассчитанными во времени. Ожидается, что расхождение должно быть невелико, – тогда выводы настоящей статьи останутся в силе и для линейно-спектральных расчетов усилий, которые проводятся на практике. Автор планирует посвятить этой теме следующую публикацию.

Литература

1. Тяпин А.Г. Расчет сооружений на сейсмические воздействия с учетом взаимодействия с грунтовым основанием. Научное издание. М.: Издательство АСВ, 2013. - 392 с.
 2. Тяпин А.Г. Консервативное огибание сейсмических воздействий на жестком фундаменте в задачах взаимодействия сооруже-

ний с основанием. Часть IV: исследование консерватизма для пространственного расчета // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2014. №2. С.23-28.
 3. Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures and Commentary. ASCE4-98. Reston, Virginia, USA. 1999.
 4. Тяпин А.Г. Учет взаимодействия сооруже-

ний с основанием при расчетах на сейсмические воздействия. Руководство по расчетам. М.: Издательство АСВ. 2014. 136 с.
 5. ABAQUS. Version 6.8. Dassault Systèmes Simulia Corp., Providence, RI, USA. 2008.

Материалы хранятся по адресу:
 105005, г. Москва, Бакунинская ул.,7, стр.
 (АО «Атомэнергопроект»)
 тел.: (499)267-35-03, e-mail: atyapin@bvcsp

ТЯПИН А., D. Sc., JSC "Atomenergoproject", Moscow

COMBINED ASYMPTOTIC METHOD IN CALCULATION OF THE INTERNAL STRUCTURAL FORCES: FREQUENCY-DOMAIN ANALYSIS

Abstract

The combination rule for the responses to 1D excitations along 6 DOFs applied to the rigid basement is discussed. This 6D excitation at the basement is calculated in SSI analysis by the combined asymptotic method. Rocking components are correlated with horizontal components of the rigid basement's motion. As a result, conventional SRSS rule applicable for 3D excitation may sometimes lead to non-conservative results. The author suggested

the alternative rule: direct sum of the responses to horizontal and rocking excitation components in the same vertical plane and after that SRSS for the four responses. Here the conservatism of different approaches is compared. All the responses (to 1D and 6D excitations) are calculated in the frequency domain.

Keywords: seismic response, frequency-domain analysis, degradation of the soil properties, soil-structure interaction, 1D wave propagation in the horizontally-layered soil.

References

1. Tyapin A.G. Seismic analysis of structures accounting for the soil-structure interaction. Moscow: ASV. 2013. 392 p. (in Russian)
2. Tyapin A.G. Conservative enveloping of the seismic load at the rigid basement in SSI problems. Part IV: study of conservatism in 3D analysis // Earthquake Engineering. Structural safety . 2014. No.2. Pp. 23-28. (in Russian).
3. Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures and Commentary. ASCE4-98. Reston, Virginia, USA. 1999.
4. Tyapin A.G. Accounting for the soil-structure interaction effects in seismic analysis of structures. Manual for analysis. Moscow: ASV. 2014. 136 p. (in Russian)
5. ABAQUS. Version 6.8. Dassault Systèmes Simulia Corp., Providence, RI, USA. 2008.

Для цитирования: Тяпин А. Г. Опыт использования комбинированного асимптотического метода для вычисления внутренних усилий в строительных конструкциях: расчеты в частотном диапазоне // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2017. № 6. С. 27-34.

For citation: Tyapin A. G. Combined asymptotic method in calculation of the internal structural forces: frequency-domain analysis // Earthquake engineering. Constructions safety. 2017. № 6. P. 27-34.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «СЕЙСМОСТОЙКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО. БЕЗОПАСНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ»

Текст:

1. **Объем статьи** не должен превышать **40 000** знаков.
2. **Количество авторов** статьи – не более 3-х.
3. **Сведения об авторе** должны содержать: ФИО, регалии, место работы и должность, почтовый и электронный адреса, контактный телефон **на русском и английском языках**. Необходима фотография в формате TIF, JPG.
4. **Ключевые слова** к статье* должны быть **на русском и английском языках**.
5. **Аннотация** к статье должна содержать 100–250 слов **на русском и английском языках**. Аннотация на английском языке не должна полностью повторять текст аннотации на русском языке. Статья должна содержать: введение, цели задачи, методы, результаты, заключение.
6. Обязательно наличие **библиографического списка** с ссылками по тексту на русском (ГОСТ Р7.0.5–2008) и английском языках (или латиницей по правилам Scopus).
7. Обязательное приложение – **рекомендательное письмо** от организации, которую представляет автор, **рецензия** или **экспертное заключение** (для аспирантов или соискателей ученой степени кандидата наук).

Иллюстрации:

1. **Рисунки** должны быть представлены в форматах файлов (под PC): **PDF, EPS, AI, CDR**;
2. **Фото** должны быть представлены для публикации в форматах файлов (под PC): **TIFF, JPG**;
3. **Разрешение** файлов – не менее **300 dpi**;
4. **Таблицы, схемы и диаграммы** должны быть встроены в статью и иметь связи (быть доступными для редактирования) с программой, в которой они созданы (**Excel, Corel Draw**);
5. Обязательно наличие **подписей к иллюстрациям**, оформленных отдельным списком.
6. **Данные в таблицах** даются полностью **без сокращений**.
7. **Математические формулы и выражения** должны быть записаны в **Microsoft Word** или с помощью редактора **Microsoft Equation 3.0**.
8. **УДК статьи**.

Ждем ваши материалы по адресу:
109456, а/я 29, г. Москва
 или по e-mail: **info@raee.su**,
 т/ф.: **(499) 174–70–65**