

УДК 624.042.8:69.059.7

канд. техн. наук, профессор Банах В.А.,
Банах А.В., Гребенюк И.В., Федченко А.И.,
Запорожская государственная инженерная академия

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ

Проанализировано влияние динамических воздействий малой интенсивности на эксплуатируемые здания при их реконструкции. Показана необходимость контроля параметров напряженно-деформированного состояния конструкций и показателей комфорта. Приведены рекомендации по формированию расчетных моделей.

Ключевые слова: расчетные модели, деформированное состояние здания, напряженно-деформированное состояние конструкций, сложные инженерно-геологические условия, динамические воздействия малой интенсивности

Актуальность проблемы. При реконструкции зданий и сооружений используются техника и оборудование, вызывающие динамические воздействия на конструкции. Эти воздействия можно отнести к категории воздействий малой интенсивности, и хотя они, на первый взгляд, не оказывают существенного влияния на прочность и жесткость несущих конструкций, их влияние на находящихся в помещениях людей может оказаться крайне негативным.

Известно, что на человека негативно влияют некоторые диапазоны частот, вызывающие отрицательную реакцию организма и регламентируемые санитарными нормами. Метод прямых приборных замеров динамических характеристик при работе оборудования дает возможность контролировать соблюдение норм, однако в этом случае отсутствует возможность прогнозирования негативного влияния динамических воздействий на человека независимо от его пространственного положения в здании. Возможность моделирования таких процессов может позволить оценку опасности и прогнозирование развития негативных процессов во времени.

Кроме того, незначительный вклад динамических воздействий малой интенсивности в предельные для конструкций нагрузки характерен для зданий, эксплуатируемых в нормальных и благоприятных условиях. В тех же случаях, когда отдельные конструкции или здание в целом уже находятся в предельном состоянии или близки к нему вследствие эксплуатации в сложных инженерно-геологических условиях, даже незначительное приращение усилий и напряжений в конструктивных элементах может привести к исчерпанию

експлуатационного ресурса здания.

Динамические воздействия малой интенсивности, особенно в случае их постоянного, продолжающегося годами и десятилетиями, влияния, вызывают местное усталостное разрушение материалов конструкций, что также может явиться причиной снижения эксплуатационного ресурса здания. Таким образом, требуется количественная и качественная оценка влияния этого вида воздействий на конструктивные элементы эксплуатируемых зданий.

Показатели комфорта для людей, находящихся в эксплуатируемых зданиях, напрямую зависят от частотных спектров отклика элементов этих зданий при указанных динамических воздействиях, включающих также и звуковые волны (показатели уровня шума), и ветровые воздействия. Анализ динамических реакций зданий и их конструкций на эти воздействия также необходим для обеспечения требуемых нормами условий комфорта.

Решению проблем, связанных с моделированием динамических воздействий, в том числе и на деформированные здания и сооружения, посвящен ряд исследований В.П.Агапова, А.С.Городецкого, В.В.Кулябко, А.В.Перельмутера, С.Ф.Пичугина, В.И.Сливкера и др. [1-5]. Но проблеме учета технологических воздействий, в том числе и малой интенсивности, при реконструкции эксплуатируемых зданий с учетом их деформированного состояния, до сих пор уделялось недостаточно внимания.

Целью данного исследования является выявление и анализ особенностей работы на динамические воздействия малой интенсивности эксплуатируемых зданий, находящихся в процессе реконструкции и деформированных вследствие воздействий неравномерных осадок оснований.

Материалы исследования. Работа выполнялась в рамках Постановления Кабинета Министров Украины № 409 от 05 мая 1997 г. «Про забезпечення надійності та безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж», а также в рамках госбюджетных исследований Запорожской государственной инженерной академии «Особливості проектування, експлуатації та реконструкції будівель і споруд, методів їх розрахунку та об'ємно-планувальних рішень в складних умовах будівництва».

К динамическим воздействиям малой интенсивности для эксплуатируемых зданий могут быть отнесены:

– технологические воздействия от строительного оборудования и инструментов, используемых при реконструкциях и ремонтах (например, пробивка проемов в стенах, плитах перекрытий, демонтаж элементов, восстановление и усиление несущих конструкций и так далее);

– технологические воздействия от бытового и промышленного оборудования, не соответствующего назначению сооружения (промышленные

кондиционеры, холодильные установки, вентиляционные и компрессорные агрегаты и тому подобное в сооружениях при их перепрофилировании);

– звуковые воздействия от внешних источников шума, в том числе находящихся за пределами учитываемых расстояний при передаче воздействий через грунт, вызывающих динамический отклик конструкций здания или дискомфорт человека в этом здании (самолет, железная дорога, большегрузный транспорт, взрывы в карьерах, громкая работа оборудования в непосредственной близости к зданию и так далее);

– ветровые воздействия для зданий повышенной этажности и высотных зданий и сооружений, когда необходим частотный анализ для обеспечения требований комфорта и прочности.

Для моделирования этих воздействий в исследовании используется конечноэлементный подход, который реализуется программным комплексом LIRA-Windows версии 9.4 (лицензия НИИАСС № 1Д/549 для ЗГИА № 9У037014).

Для правильного учета динамических воздействий малой интенсивности на конструкции здания составляется его подробная пространственная расчетная модель с учетом основных конструктивных элементов, причем, в отличие от статической, в динамическую модель включаются ненесущие и самонесущие элементы (при условии правильного задания их сопряжения с несущими конструкциями). При этом желателен учет податливости стыков, физической и геометрической нелинейности.

При выполнении локальной реконструкции в здании (например, в масштабах одного этажа или одной квартиры), возникает вопрос о необходимости использования расчетной модели всего здания или только определенного ее фрагмента с правильно описанными граничными условиями (закреплениями, объединениями перемещений и прочим). В этом случае возможны различные подходы, связанные с необходимостью оценки влияния динамических воздействий только на прочность конструкций, или и на комфорт в том числе.

Для получения параметров напряженно-деформированного состояния конструкций оказывается достаточным использование фрагментов расчетных моделей. При этом исследования влияния работы перфоратора (работы выполнялись на перекрытии жилого дома на разном расстоянии от несущих стен) показали, что отклонение амплитудно-частотных характеристик для модели отдельной плиты составили при варьировании места приложения динамического воздействия 18,6...27,4 %, при включении в расчетную модель несущих стен – 3,2...8,8 %, а при задании соседних участков плит и стен, на которые они опираются, в пределах одного этажа выше и ниже перекрытия –

1,7...5,9 %.

Кроме того, был проведен анализ вклада динамических воздействий в характеристики напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов. Результаты анализа приведены на рис. 1...2.

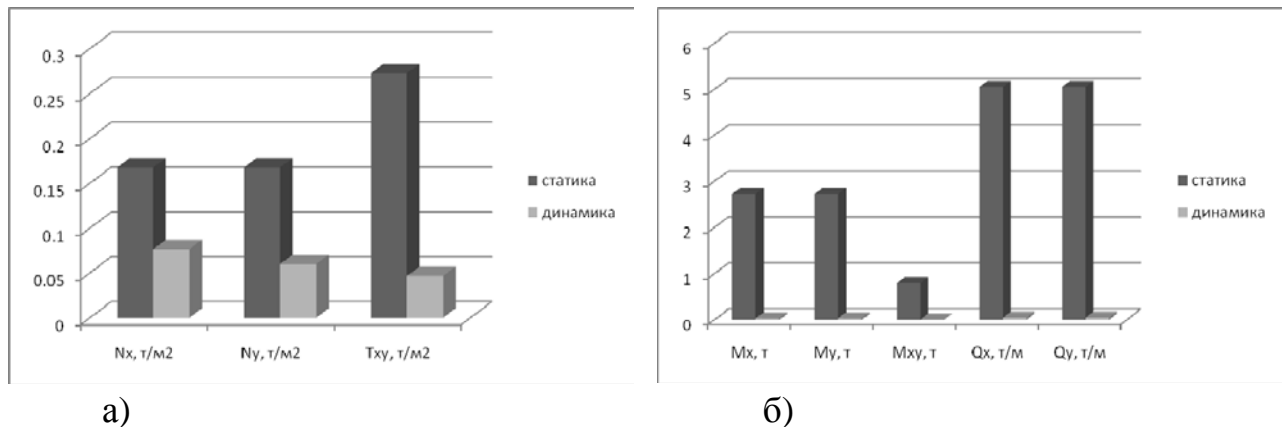


Рис. 1. Соотношение параметров напряженного состояния в элементах плиты перекрытия от статических и динамических нагрузок: а) напряжения; б) распределенные усилия

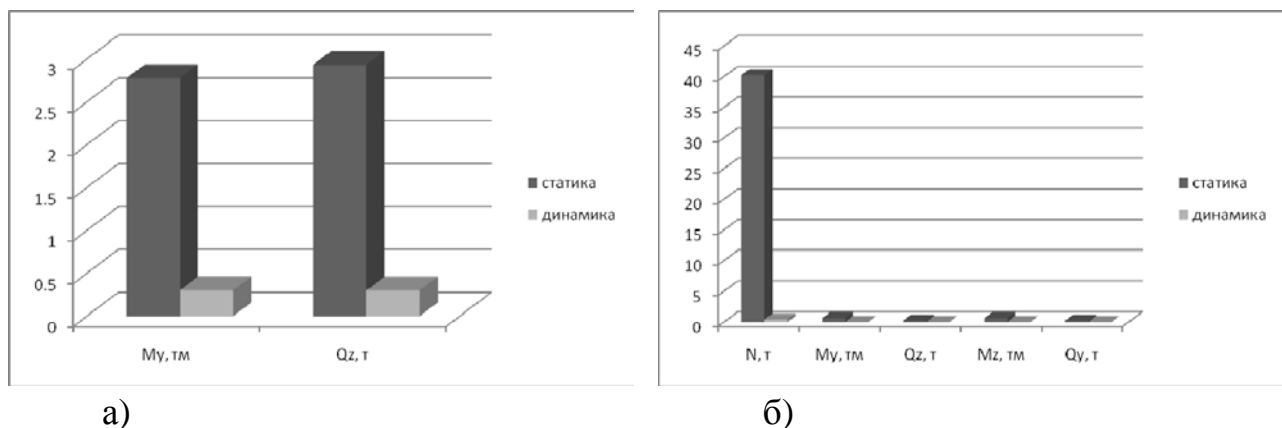


Рис. 2. Соотношение параметров напряженного состояния в стержневых элементах от статических и динамических нагрузок: а) балки; б) колонны

Результаты анализа показывают, что напряжения в плитах перекрытия при динамических воздействиях малой интенсивности могут возрасти в диапазоне 17,1...45,6 % по сравнению со значениями от статической нагрузки. Распределенные усилия (на погонный метр) в плитах изменяются незначительно (в пределах 2 %). Доля динамической составляющей в напряженном состоянии балок перекрытия – в пределах 11 %, а в колоннах изменения практически отсутствуют (до 1 %).

Таким образом, для некоторых видов конструкций изменение напряженного состояния, вызванное динамическими воздействиями малой интенсивности, может оказаться существенным и привести к потере эксплуатационных качеств здания. Особенно это актуально для зданий, деформированных вследствие неравномерных деформаций основания в

сложных инженерно-геологических условиях. В этом случае даже незначительное приращение напряжений или усилий в конструкциях, находящихся практически в предельном состоянии, может привести к их фактическому разрушению или исчерпанию эксплуатационного ресурса.

Следовательно, для зданий и сооружений, находящихся в деформированном состоянии и подвергаемых реконструкции, для правильной оценки влияния на прочностные характеристики динамических воздействий малой интенсивности необходимо выполнять расчеты объекта в целом или его фрагмента с количественным и качественным анализом результатов.

При определении влияния вибраций от строительной техники и оборудования на организм человека целесообразно оперировать полной расчетной моделью исследуемого объекта, так как необходимо анализировать весь спектр амплитудно-частотных характеристик, как здания в целом, так и отдельных его конструкций, на предмет соблюдения санитарных норм по частотам, вызывающим негативную реакцию человеческого организма. Исследования показали, что строительное и ремонтное оборудование, используемое при реконструкции и ремонте зданий, может вызывать воздействия, безопасные для строительных конструкций, но отрицательно сказывающиеся на самочувствии людей. Например, при выполнении пробивки проема во внутренней стене пятиэтажного кирпичного жилого здания в г. Запорожье, где проводилось обследование в процессе реконструкции, были зафиксированы «запретные» частоты на перекрытии пятого этажа, а применение виброрейки для укладки бетонной смеси на перекрытии над подвалом вызвало аналогичную реакцию перекрытия четвертого этажа, где были произведены замеры.

Для исследования динамической реакции конструкций здания на воздействия от технологического оборудования рассмотрим реконструированное жилое пятиэтажное здание в г. Запорожье по адресу: ул. 40 лет Советской Украины, дом 90а, в котором на первом этаже после перепрофилирования помещений расположена прачечная-химчистка, и на перекрытии над подвалом установлено оборудование с циклическими двигателями (частота до 1000 об./мин.). Здание бескаркасное, несущие наружные стены из силикатного кирпича, внутренние – несущие из глиняного кирпича, остальные – гипсобетонные, перекрытия – сборные железобетонные многопустотные плиты, фундаменты – ленточные железобетонные монолитные, подготовка основания – грунтовая подушка толщиной 2,2 м.

Фрагмент расчетной модели здания, представленный на рис. 3, а, включает в себя несущие стены, перегородки, плиты перекрытия, конструкции фундамента. Основание учитывалось специальными элементами,

моделирующими односторонние упругие связи.

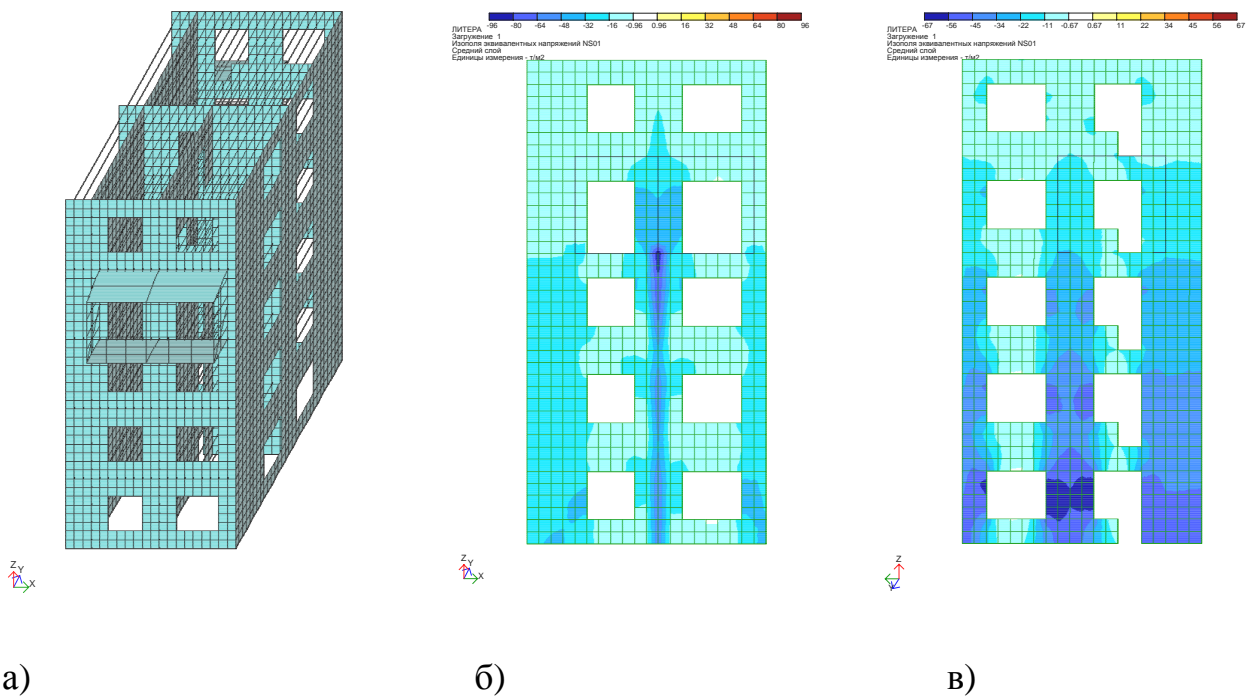


Рис. 3. Фрагмент расчетной модели реконструируемого здания (а) для расчета на воздействия от технологического оборудования и главные сжимающие напряжения от статической нагрузки в кирпичной кладке наружных несущих стен (б-в)

По результатам расчета определены расчетные сочетания усилий и главные напряжения в несущих конструкциях. Для определения главных напряжений использован модуль ЛИТЕРА программного комплекса ЛИРА-Windows. Вычисления производились по расчетным сочетаниям усилий. При этом использованы критерии теории наибольших главных напряжений.

В расчете учтена деформированная схема здания, полученная в результате проведения его обследования, и частичная реконструкция, связанная с устройством нового и расширением существующего балконов, а также расширение оконных проемов в уровне четвертого этажа. При определении прочностных характеристик кирпичной кладки был учтен ее возраст, присутствие агрессивных компонентов окружающей среды и наличие дефектов.

Распределение главных сжимающих напряжений в наружных стенах от статической нагрузки показано на рис. 3, б-в. Максимальное значение – 960 кН/м^2 , что меньше предельно допустимого для кирпичной кладки с учетом ее возраста и наличия дефектов – 1020 кН/м^2 .

При расчете на динамические воздействия от работы технологического оборудования на перекрытии первого этажа была задана гармоническая нагрузка от дополнительной массы $1,0 \text{ кН}$ с частотой $16,7 \text{ об./с}$ (1000 об./мин.), приложенная в месте предполагаемой установки этого оборудования. Также прикладывалась динамическая нагрузка, моделирующая работу перфоратора

при расширении проемов, как импульсная (ударная) нагрузка от дополнительной массы 0,5 кН и повторяемостью 5 ударов в секунду, в уровне простенков четвертого этажа. Расчет выполнялся как для определения амплитудно-частотных характеристик и параметров напряженно-деформированного состояния конструкций, так и во временной области для определения виброперемещений, виброскоростей и виброускорений.

При определении параметров напряженно-деформированного состояния конструкций от динамического воздействия были получены приращения главных сжимающих напряжений в местах их максимальных значений от статических нагрузок в размере 93...137 кН/м². Таким образом, суммарные главные сжимающие напряжения составляют 1053...1097 кН/м², что превышает прочность кладки 1020 кН/м². Следовательно, работа технологического оборудования в данном здании приведет к возникновению предельных состояний в кирпичной кладке, причем наиболее уязвимыми являются места крепления несущих конструкций при устройстве нового балкона, что говорит о недопустимости стихийной реконструкции зданий, эксплуатируемых в сложных инженерно-геологических условиях.

Расчет во временной области выполнен для той же модели на интервале 10 секунд. Виброперемещения, виброскорости и виброускорения по направлениям для контрольных точек расчетной модели приведены на рис. 4...5.

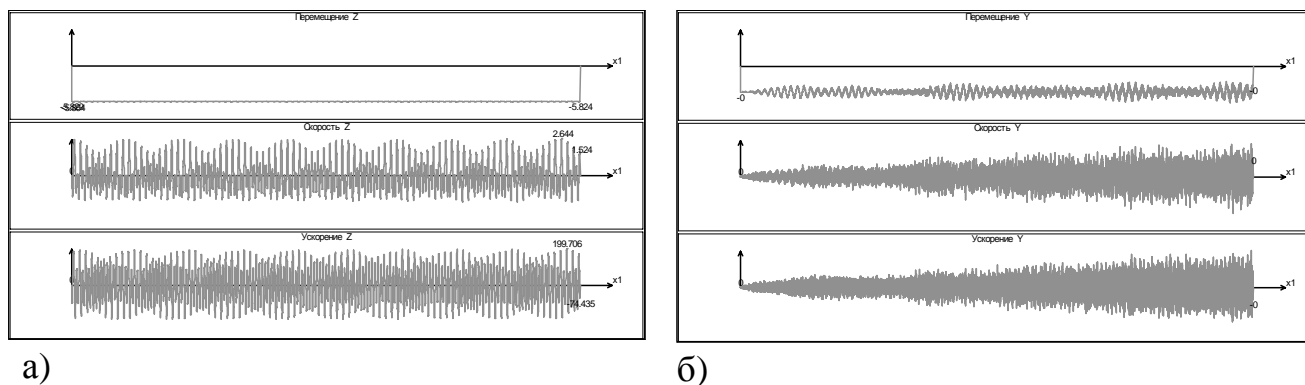
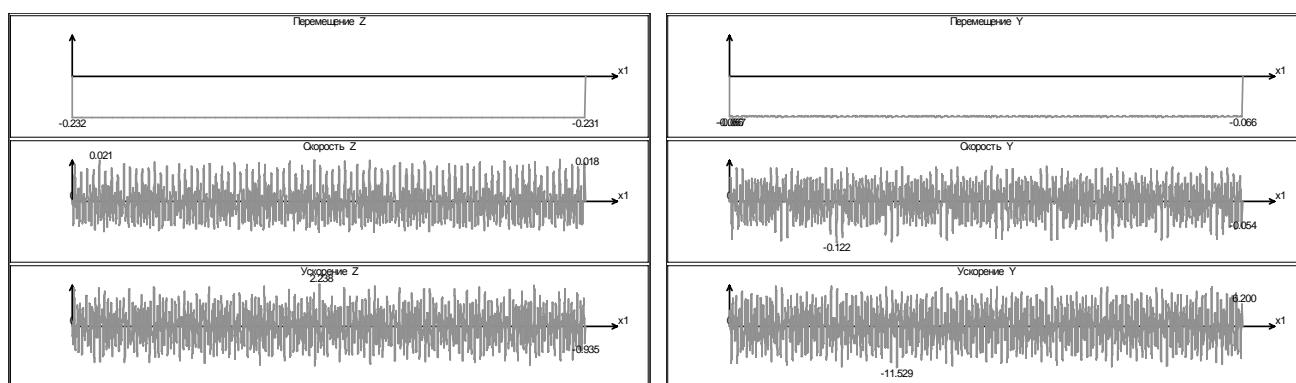


Рис. 4. Виброграммы вертикальных (а) и горизонтальных (б) колебаний плиты перекрытия (перемещения, скорости и ускорения) в интервале 10 с при работе центрифуги (16,7 об./с)



а)

б)

Рис. 5. Виброграммы вертикальных (а) и горизонтальных (б) колебаний наружной стены (перемещения, скорости и ускорения) в интервале 10 с при работе перфоратора (5 ударов/с)

Сопоставление динамических характеристик конструкций при работе технологического оборудования приведены в табл. 1...2, частотный спектр колебаний – на рис. 6.

Таблица 1

Динамические характеристики в контрольных точках здания по результатам натуральных замеров

| Воздействия | Колебания | Динамические параметры | | | |
|-------------|----------------|------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| | | Частота, Гц | Амплитуда перем., мкм | Скорость, мм/с | Ускорение, мм/с ² |
| Центрифуга | Вертикальные | 7.00 | 54.00 | 2.370 | 204.35 |
| | Горизонт. по X | - | - | - | - |
| | Горизонт. по Y | - | - | - | - |
| Перфоратор | Вертикальные | 0.15 | 20.00 | 0.019 | 1.78 |
| | Горизонт. по X | 2.50 | 6.50 | 0.102 | 16.02 |
| | Горизонт. по Y | 2.60 | 6.20 | 0.101 | 16.53 |

Таблица 2

Динамические характеристики в контрольных точках расчетной модели

| Воздействия | Колебания | Динамические параметры | | | |
|-------------|----------------|------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| | | Частота, Гц | Амплитуда перем., мкм | Скорость, мм/с | Ускорение, мм/с ² |
| Центрифуга | Вертикальные | 7.20 | 58.24 | 2.644 | 199.70 |
| | Горизонт. по X | 17.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Горизонт. по Y | 19.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Перфоратор | Вертикальные | 0.16 | 23.20 | 0.021 | 2.24 |
| | Горизонт. по X | 3.00 | 6.70 | 0.122 | 11.53 |
| | Горизонт. по Y | 3.00 | 6.70 | 0.122 | 11.53 |

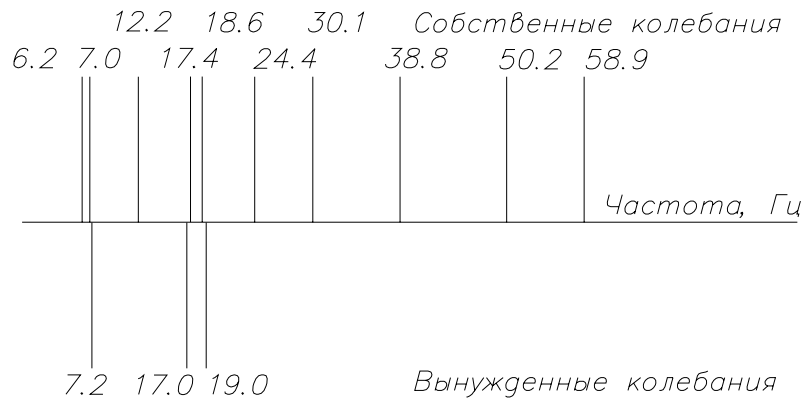


Рис. 6. Частотный спектр собственных и вынужденных колебаний расчетной модели при технологических воздействиях

Анализ результатов расчета, представленных для контрольных точек перекрытия первого этажа при работе центрифуги и простенка четвертого этажа при расширении проемов перфоратором в табл. 2, и их сопоставление с результатами натурных замеров (см. табл. 1) позволяют сделать вывод о близости динамических характеристик модели и реального объекта. Отклонения параметров составляют 3,0...13,8 % для амплитуд перемещений, 9,5...17,2 % для скоростей и 2,3...30,3 % для ускорений.

Кроме того, зафиксировано превышение допустимого ускорения вертикальных колебаний при работе центрифуги, составляющее по результатам натурных замеров $204,35 \text{ мм/с}^2$, по результатам расчета – $199,70 \text{ мм/с}^2$ при предельно допустимом 150 мм/с^2 . Это говорит о нарушении санитарных требований и необходимости применения специальных мероприятий по гашению колебаний от работающей центрифуги.

Таким образом, подробный и полный учет в расчетных моделях динамических воздействий малой интенсивности позволяет получить характеристики, влияющие не только на прочность конструкций, но и на человеческий организм. Учет приведенных особенностей в расчетных моделях позволяет также прогнозировать негативные динамические воздействия при реконструкции.

Выводы. Подробный и полный учет в расчетных моделях динамических воздействий малой интенсивности позволяет получить характеристики, влияющие не только на прочность конструкций, но и на человеческий организм. Учет приведенных особенностей в расчетных моделях позволяет также прогнозировать негативные динамические воздействия при реконструкции.

Литература

1. Агапов В. П. Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости пространственных тонкостенных подкрепленных конструкций / В. П. Агапов. – М.: Издательство АСВ, 2000. – 152 с.
2. Городецкий А. С. Компьютерные модели конструкций / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров. – К.: Издательство «Факт», 2005. – 344 с.
3. Кулябко В. В. Динамика конструкций, зданий и сооружений. Ч. 1 : Статико-динамические модели для анализа свободных колебаний и взаимодействия сооружений с основаниями и подвижными нагрузками / В. В. Кулябко. – Запорожье: ЗГИА, 2005. – 232 с.
4. ПК ЛИРА, версия 9. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций : справочно-теоретическое пособие / [под. ред. А. С. Городецкого]. – К.-М.: «Факт», 2003. – 464 с.
5. Перельмутер А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – М.: Изд-во ДМК Пресс, 2007. – 595 с.

Анотація

Проаналізований вплив динамічних навантажень малої інтенсивності на експлуатовані будівлі при їх реконструкції. Показана необхідність контролю параметрів напружено-деформованого стану конструкцій і показників комфорту. Приведені рекомендації по формуванню розрахункових моделей.

Ключові слова: розрахункові моделі, деформований стан будівлі, напружено-деформований стан конструкцій, складні інженерно-геологічні умови, динамічні дії малої інтенсивності

Annotation

Influence of dynamic loading of small intensity on reconstruction building is analyzed. The necessity of control of parameters of the stress-strain state of constructions and indexes of comfort is shown. The brought recommendations over on forming of calculation models.

Keywords: calculation models, deformed state of building, stress-strain state of constructions, difficult geological conditions, dynamic influences of small intensity