
УДК 624.012.2:624.042.8

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТА НА СИСТЕМУ «ОСНОВАНИЕ – ФУНДАМЕНТ – РЕКОНСТРУИРУЕМОЕ ЗДАНИЕ»

Канд. техн. наук О. В. Кичаева

ОЦІНКА ВПЛИВУ ДИНАМІЧНОЇ ДІЇ ТРАНСПОРТУ НА СИСТЕМУ «ОСНОВА – ФУНДАМЕНТ – БУДІВЛЯ, ЩО РЕКОНСТРУЮЄТЬСЯ»

Канд. техн. наук О. В. Кічаєва

INFLUENCE DYNAMIC IMPACT OF TRANSPORT ON THE «BASE – FOUNDATION – RECONSTRUCTED BUILDINGS» SYSTEM

Ph.D. tehn. O. V. Kichaeva

В крупных областных городах обращается особое внимание на перераспределение транспортных потоков, особенно в центральной части города, в связи с чем возникают предложения о направлении части транспорта второстепенными улицами после их расширения и реконструкции. В статье произведена оценка действия динамического воздействия транспорта на систему «основание – фундамент – реконструируемое здание» в сложных инженерно-геологических условиях. В данном случае предполагалось, что

активное трехполосное движение транспорта пойдет мимо кирпичного дома, имеющего более чем почтенный возраст и значительный физический износ. Предложена расчетная схема такой системы, а также решения для определения скоростей движения системы. Определено, что движение автомобильного транспорта вблизи этого здания является опасным для его целостности; установлено вероятность появления резонанса для первых трех частот.

Ключевые слова: динамическое воздействие, колебания, резонанс, система «основание – фундамент – реконструируемое здание».

Визначено, що у великих обласних містах звертається особлива увага на перерозподіл транспортних потоків, особливо в центральній частині міста, у зв'язку із чим виникають пропозиції про направлення частини транспорту другорядними вулицями після їх розширення і реконструкції. Виконано оцінювання дії динамічного впливу транспорту на систему «основа – фундамент – будівля, яка реконструюється» в складних інженерно-геологічних умовах. Передбачалося, що активний трисмуговий рух транспорту піде повз цегляний будинок, що має більш ніж поважний вік і значний фізичний знос. Запропоновано розрахункову схему такої системи, а також рішення для визначення швидкостей руху системи. Визначено, що рух автомобільного транспорту поблизу цієї будівлі є небезпечним для його цілісності; установлено ймовірність появи резонансу для перших трьох частот.

Ключові слова: динамічний вплив, коливання, резонанс, система «основа – фундамент – будівля, що реконструюється».

Accounting for fluctuations that reflect the character of the natural and technogenic loads on the existing buildings and facilities, it is an urgent task for the cities. The major regional cities highlights the redistribution of traffic flows, especially in the central part of the city, in connection with which there are proposals on the transport direction of the on-vtoroste foam streets after expansion and reconstruction. Often, these streets are lined with old buildings that have damage, obsolete physically and mentally, and the base of these buildings become the degraded state due to many years of leakage of water communications.

In this paper, the estimation of influence of dynamic effects of transport «basis – the foundation – reconstructed building» system in difficult engineering-geological conditions. It was assumed that the active three-lane traffic going past the brick house, which has more than respectable age and considerable physical wear and tear.

A design scheme of the system, as well as the decision to determine the velocities of motion of the system. Location of the building along the roadway allows us to consider the work of building and roadbed in two-dimension, namely only in the transverse direction. For the building - a width between adjacent piers for the roadway – a long section of the carriageway width equal to the diameter of the building. As a design scheme is adopted elastic half-plane in the plane strain conditions – to the roadway and surrounding soil for the building – lateral frame, which is in the surrounding soil. Deformation characteristics of the structural elements of the roadway are determined according to their materials, as well as the characteristics of the soil layers are determined based on the kind of soil engineering and geological surveys. To assess the impact of transport on the building model was created to carry out the design scheme of the numerical experiment in the software complex SCAD. The quantities applied loads considered as the amplitude values of load, the frequency characteristics of which lie in the range of the previously obtained frequency spectrum. These characteristics also depend on the transverse dimensions adopted in the calculation scheme. It was determined that the movement of road transport near this building is dangerous for his integrity; it determined the probability of occurrence for the first three resonance frequencies.

Keywords: *dynamic effects, vibrations, resonance system «base – the foundation – reconstructed building».*

Введение. На протяжении всего цикла существования строительного объекта следует учитывать колебания, отражающие характер нагрузок природного и техногенного происхождения, которые не всегда запланированы при проектировании здания (сооружения). Надежность существующих зданий и сооружений зависит от состояния составляющих их конструкций (надземных и подземных), состояния оснований, величины и особенностей воздействия. В крупных областных городах особое внимание должно быть обращено на перераспределение транспортных потоков, особенно в центральной части города, в связи с чем возникают предложения о направлении части транспорта по второстепенным улицам после их расширения и реконструкции. Проблема в том, что зачастую второстепенные улицы застроены зданиями, перешагнувшими 70-100-летний рубеж, имеющими повреждения, устаревшими физическими и морально, а основания этих зданий переходят в деградированное состояние из-за многолетних утечек из водонесущих коммуникаций.

Анализ последних источников исследований и публикаций. В работе М.М. Калужнюка и В.К. Рудя [1] исследовались параметры колебаний грунта, возникающие при забивке свай и шпунта, и их влияние на здания; результаты легли в основу нормативного документа [2]. Определено, что повреждения зданий и сооружений обусловлены неравномерными осадками, возникающими вследствие прохождения волн от забиваемых свай в грунтах оснований этих зданий (сооружений). Грунт рассматривается как твердое деформируемое тело в силу того, что основную часть энергии несут именно поперечные и рэлеевские волны. В качестве

модели грунта используется упругое полупространство, материал его принят идеально упругим, однородным и изотропным, а связь между напряжениями и деформациями линейной. Такие допущения достаточно согласуются с опытными данными. Рассмотрена вероятность появления трещин более 0,5 мм в зависимости от различных аргументов (возраст здания, этажность, конструкция материала стен, состояние здания, тип фундамента, тип грунта). Определены допустимые скорости колебаний грунтов в зависимости от вида и конструктивных особенностей зданий и сооружений, этот диапазон варьируется от 0,4 до 6 см/с. Получены зависимости динамических напряжений в кладке стен, а также в грунте под фундаментами от частоты колебаний грунта и жесткости основания.

В монографии В. И. Осипова [3] всесторонне изучены динамические явления, развивающиеся в дисперсных грунтах, принципиально различных по своей природе: существуют механизмы тиксотропного, гравитационного и пльвунного разжижения дисперсных грунтов. Л. Р. Ставницер в книге [4] изложил результаты исследований влияния сейсмических колебаний на прочностные свойства грунтов. При этом рассматривается влияние направления сейсмических воздействий на устойчивость оснований.

Постановка цели и задачи исследования. В контексте изучения особенностей деформирования системы «основание – фундамент – реконструируемое здание» в некоторых случаях требуется оценить влияние динамических воздействий от транспорта на здание, уже имеющее физический износ, определить вероятность появления резонанса для различных частот.

Поэтому целью данной работы являлась оценка влияния динамического воздействия от трех полос транспорта на систему «основание – фундамент – реконструируемое здание». При этом рассматриваемое здание имеет многочисленные дефекты и повреждения, а основания являются замоченными.

Основная часть исследования.

Натурное обследование здания. Обследованное здание жилого дома расположено в центральной части Харькова и имеет в плане Г-образную форму. Более короткая часть его фасада имеет размер 13,83 м, участок поворота – 1,93 м и длинная часть дворового фасада – 57,45 м (по внешнему обводу). Ширина здания 7,00 м в осях. Острая торцевая его часть имеет размеры 8,2 м. Высота 3-этажной части дома 13,5 м, 2-этажной части – около 10 м.

Здание имеет разную этажность: в осях «1» – «6» – 3 этажа, в осях «7» – «8» – 2 этажа. Подвал располагается под всем зданием, в нем расположены канализационная сеть, трубы водопровода и теплоснабжения.

Сооружение является бескаркасным, с продольными и поперечными несущими стенами. Оно имеет жесткую конструктивную схему.

Фундаментные (подвальные) стены под внутренними и наружными стенами здания выполнены из кирпичной кладки, толщина подвальных стен 700 мм. Глубина заложения фундамента очень большая. По данным вскрытия фундамента у торцевой стены, отметка подошвы фундамента находится на глубине 8 м (фундамент бетонный на кирпичном щебне).

Контрольные скважины показали, что в разных частях здания фундаменты опираются на различные грунты: в пределах осей «1» – «5» – на пески мелкие средней плотности с характеристиками: плотность $\rho = 19,28 \text{ кН/м}^3$; влажность $w = 0,26$; модуль деформации $E = 23 \text{ МПа}$; угол внутреннего трения $\phi = 27$; удельное сцепление $c = 1 \text{ кПа}$; в пределах осей «5» –

«8» – на алевролиты палеогенового возраста тугопластичные с характеристиками: $\rho = 17,29 \text{ кН/м}^3$, влажность $w = 0,48$, модуль деформации $E = 15 \text{ МПа}$, $\phi = 20$, $c = 27 \text{ кПа}$.

Стены подвала – из керамического кирпича, толщина стен 700 мм. Фундаменты являются продолжением стен подвала. Высота подвала около 3 м. Надподвальное перекрытие – железобетонное по металлическим балкам с шагом 0,8-0,85 м, толщина железобетонной плиты – 100-120 мм, в качестве крупного заполнителя использован кирпичный щебень.

Стены здания также из керамического кирпича. На третьем этаже в осях «1» – «6» и на втором этаже в осях «7» – «8» наружная стена по оси «А» деревянная. При испытаниях кирпича определено, что он примерно соответствует марке М50 (в стенах подвала) и М75 (в стенах этажей). Средняя прочность раствора кладки (условная марка) на сухих участках стен составляет $32,6 \text{ кгс/см}^2$ (3,2 МПа). Прочность раствора в мокрых стенах подвала значительно ниже – в среднем $10,29 \text{ кгс/см}^2$ (1,0 МПа).

Междуэтажные перекрытия – железобетонные по металлическим двутавровым балкам, шаг балок – 800-900 мм, чердачное перекрытие – деревянное балочного типа. Высота 1-го и 2-го этажей в 3-этажном здании (оси «1» – «6») – 3,57 м (в чистоте), высота 3-го этажа – 3,07 м в квартире и 2,7 м на лестничной клетке (в чистоте). Высоты 1-го и 2-го этажей 2-этажного здания – 3,87 и 3,25 м соответственно.

Крыша – одно- и двухскатная, с полупроходным чердаком. Несущими конструкциями являются деревянные стропила, которые посередине поддерживаются подкосами из бревен и опираются на стойки из круглых бревен.

Натурные обследования выявили наличие в несущих наружных стенах следующих дефектов. Кирпичная кладка по главному фасаду имеет множественные

трещины шириной раскрытия от волосных до 20 мм (см. рис. 1). Большинство трещин располагаются в уровне 1-го этажа, меньшая часть – в уровне 2-го этажа. Отмечаются трещины шириной раскрытия 2-5 мм и в простенках, которые пересекают 6-8 рядов кладки. Наблюдается разрушение и расслоение кирпичной кладки, в некоторых местах до высоты цоколя. Обширные участки стен главного фасада

сильно замачиваются атмосферными водами во время дождя в результате неудовлетворительного состояния водосточных труб, а также обрывом одной из них на уровне перекрытия 2-го этажа. Замачивание также обусловлено и самой конструкцией крыши, при которой атмосферная вода имеет возможность прямо попадать на стены здания.

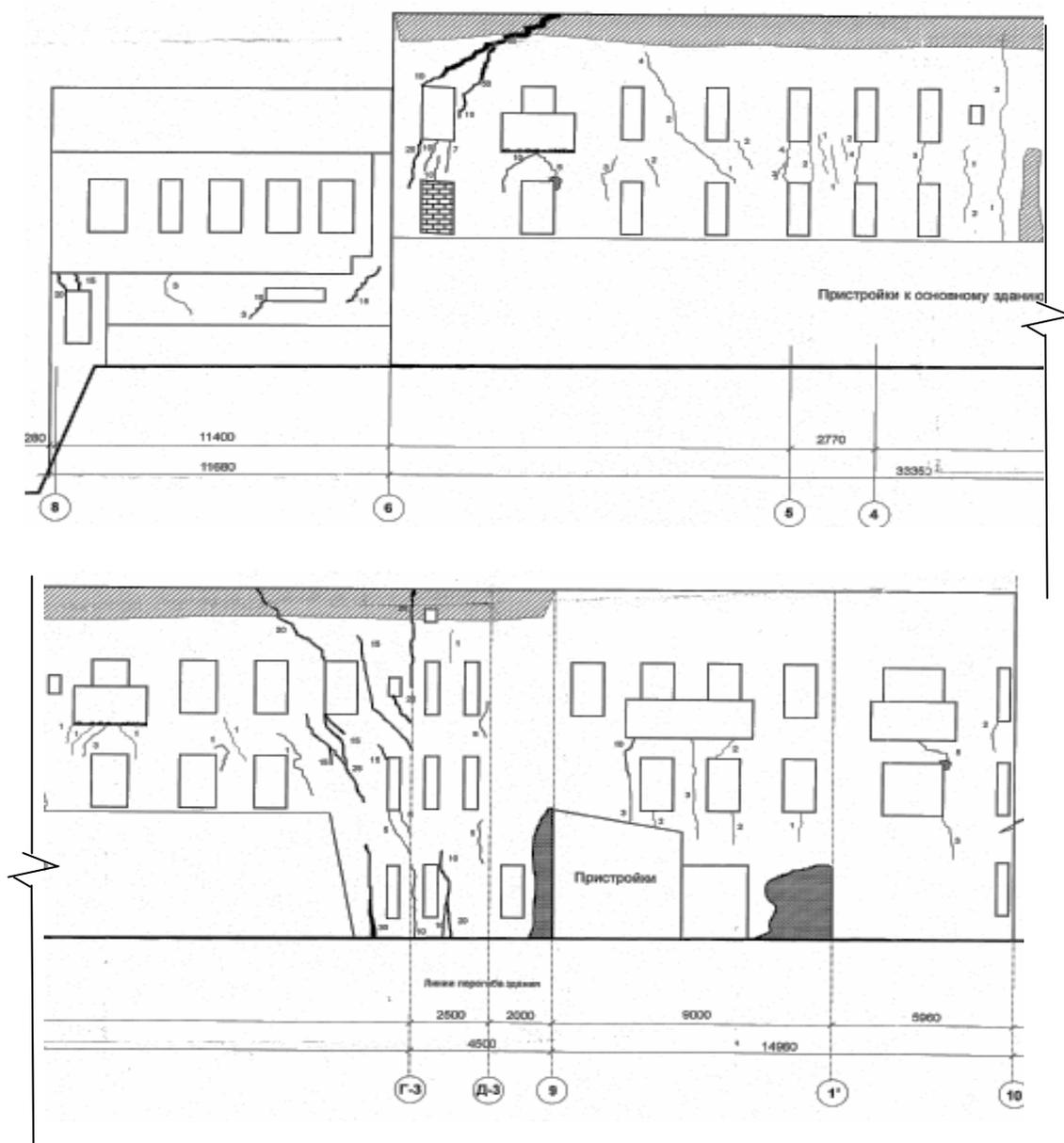


Рис. 1. Развертка здания, дворовой фасад

Основной причиной возникших в здании деформаций является его неудовлетворительная эксплуатация, следствием которой есть:

1) вымывание, вынесение и превращение грунтов основания в грунты с большим показателем текучести, превышающем 1, вследствие испорченных систем ВК;

2) систематическое замачивание кирпичных стен здания, фундаментов и грунтов вследствие неудовлетворительного состояния отмостки и водосточных труб.

Вышеуказанные явления привели:

1) к значительным неравномерным осадкам здания, следствием которых явилось возникновение в них дополнительных усилий, превышающих допустимые, и перераспределение напряжений в несущих конструкциях. Это проявилось следующим образом: в возникновении многочисленных трещин в несущих стенах с максимальной шириной раскрытия до 60 мм, в появлении отколов и расслоения кирпичной кладки; в разрушении опорных участков перемычек, в перекосе оконных и дверных проемов, в выпучивании стены из плоскости, в прогибе перекрытий и несущих стен, в отклонении конструкций от проектного положения и отсутствии должного их опирания, в просадке фундаментов, отрыве их от стен подвала и обрушении участков стен подвала;

2) коррозии несущих конструкций в виде: разрушения защитного слоя бетона в плитах перекрытий и балконов; коррозии кирпичной кладки стен подвала и фундаментов; коррозии металлических элементов; загнивания деревянных конструкций.

По виду влияния на материал несущих конструкций все эти проявления имеют физическое, химическое и биохимическое происхождение.

Еще одной причиной износа здания является его более чем столетний возраст. Нормами установлен срок службы таких

зданий при нормальных условиях в 100-125 лет. Однако опыт показывает, что в нормальных эксплуатационных условиях большинство конструкций не исчерпывают физико-механических свойств материала, и поэтому нормативные сроки службы являются в значительной мере условными, т.е. технический срок службы обычно больше нормативного.

Помимо физического износа здания наблюдается и его моральный износ.

Распространение колебаний в грунтах. Колебательные системы могут подвергаться различным воздействиям, которые отражают различную природу или характер колебательных процессов [5, 6]. Все колебательные процессы классифицируются по различным признакам и их можно включить в следующие группы [7]:

– детерминированные процессы (периодические, гармонические, полигармонические, непериодические, почти периодические, переходные);

– случайные (стационарные, эргодические, неэргодические, нестационарные со своей классификацией по типам нестационарностей);

– импульсные (ударные).

В грунтах распространяются продольные волны, при которых грунт испытывает деформации растяжения и сжатия и поперечные волны, при которых возникают деформации сдвига и поворота. Продольные волны распространяются в грунте с большей скоростью, чем поперечные. В гравии и щебне средней крупности, каким является основание полотна проезжей части, величины скоростей для продольных и поперечных волн соответственно составляют [9-11, 15]: $C_1 = 760$ м/с; $C_2 = 180$ м/с.

Таким образом, колебания, возникающие от движения машин по дорожному полотну, находящемуся на расстоянии трех метров, достигают поверхности стен подвала здания за время t , равное

$$t = 3/760 = 3,95 \cdot 10^{-3} \text{ c}; \quad t = 3/250 = 0,012 \text{ c}, \quad (1)$$

т.е. по человеческому восприятию времени практически мгновенно.

Уровень колебаний, распространяющихся в грунте от вибраций, возникающих под воздействием автомобильного транспорта, можно оценить по формуле [4, 10]

$$A_{\delta,h} = A_{0,v,h} \left(\frac{1}{\delta [1 + (\delta - 1)^2]} + \frac{\delta^2 - 1}{(\delta^2 + 1) \sqrt{3\delta}} \right), \quad (2)$$

где $A_{\delta,h}$ – амплитуда вертикальных (горизонтальных) колебаний грунта;

$A_{0,v,h}$ – амплитуда вынужденных колебаний источника в уровне $\delta = r/r_0$, где r_0 – приведенный радиус подошвы источника колебаний.

Тогда при $r_0 = 1 \text{ м}$; $\delta = 3,0/1 = 3,0$; $r = 3,0 \text{ м}$ по формуле (2) имеем $A_{\delta,h} = 0,34 \cdot A_{0,v,h}$.

Частотный спектр возникающих колебаний. Частота колебаний зависит от расстояния между задними и передними колесами автомобилей, от скорости движения, а также от неровностей дорожного полотна.

В среднем частоту колебаний можно оценить по формуле [10]

$$f = V/B, \quad (3)$$

где v – скорость движения автомобиля;

B – расстояние между передними и задними колесами. Учитывая, что скорость автомобилей, как и расстояние между автомобилями, может меняться в широких пределах, считаем, что спектр частот является практически сплошным в диапазоне частот 0,36-8 Гц (при расчете по формуле (3)).

Воздействие движения транспорта на основание под фундаментом здания. Учитывая соотношения (1) для времени достижения здания продольными и поперечными волнами колебаний, а также результат расчета по формуле (3), свидетельствующий о малой степени

затухания амплитуд волн, можно полагать, что колебания здания будут происходить одновременно с колебаниями дорожного полотна с частотами, лежащими в пределах соотношений (2).

Колебания в основном носят вертикальный характер, поскольку дорожное полотно расположено параллельно главному фасаду здания. Горизонтальные колебания могут возникнуть от неровностей дорожного полотна, при котором происходят поперечные колебания автомобилей, а также при объезде стоящего транспорта либо при обгоне. Можно считать, что частоты горизонтальных колебаний находятся в пределах, определяющихся по формуле (2).

При криволинейном движении под влиянием центробежных сил инерции происходит перераспределение квазистатических собственных вертикальных давлений колес в поперечной плоскости [10]. Динамический эффект бокового воздействия автомобиля не превышает 10 % вертикального статического давления колес для эксплуатационных скоростей движения современных легковых автомобилей.

Боковые квазистатические воздействия F_q зависят только от центробежных сил инерции и могут быть найдены по формулам [12]:

– для задних колес

$$F_1 = (m_1 + Mb/B) \cdot \frac{v^2}{2r}, \quad (4)$$

– для передних колес

$$F_2 = (m_2 + Ma/B) \cdot \frac{v^2}{2r}, \quad (5)$$

где m_1 и m_2 – соответственно массы передних и задних колес;

M – масса автомобиля с пассажирами;

a и b – соответственно расстояние от центра тяжести до передних колес и задних колес.

Суммарная величина бокового воздействия равна

$$F = Gv^2/g2r, \quad (6)$$

где G – вес автомобиля с пассажирами;

V – скорость движения автомашин;

R – радиус обгона (объезда).

Средняя величина амплитуды бокового давления, вызывающая горизонтальные колебания, найдена по формуле (6) и равна $0,5F$.

Величина A может меняться в широких пределах (тс): $0 < F < 0,6$.

Силы торможения, действующие вдоль проезжей части, не являются периодическими нагрузками, поэтому не опасны для здания.

На величины вертикальных нагрузок влияют неровности проезжей части. Размеры неровностей могут быть найдены путем натуральных испытаний. В то же время стационарный микропрофиль проезжей части по нормам [10] не должен создавать дополнительную вертикальную нагрузку более $0,3 \text{ Mg}$, микропрофиль с одиночными неровностями должен создавать нагрузку не более $0,5 \text{ Mg}$.

Таким образом, на дорожное полотно, непосредственно связанное с основанием под фундамент рассматриваемого жилого здания (расстояние от проезжей части до здания равно 3 м), действуют следующие нагрузки:

– вертикальная –

$$F_z = 1,3G_m f_1(t), \quad (7)$$

– горизонтальная –

$$F_z = 0,5 f_1(t), \quad (8)$$

где G_m – вес легковых автомашин;

F – боковая нагрузка, определяемая по формуле (6);

$F_{1(t)}$ – периодическая функция, частотный диапазон которой лежит в пределах $0,4 < F < 8 \text{ Гц}$.

Обоснование и выбор расчетной схемы для основания под фундаментом здания и проезжей части дорожного полотна. Расположение здания вдоль дорожного полотна позволяет рассматривать работу сооружения и земляного полотна в двухмерном измерении, а именно только в поперечном направлении. Для здания – это поперечник между соседними простенками (либо между соседними окнами). Для дорожного полотна – это участок длинной проезжей части, равный ширине поперечника здания.

Таким образом, в качестве расчетной схемы принимается упругая полуплоскость в условиях плоской деформации – для дорожного полотна и окружающего грунта, для здания – поперечная рама, находящаяся в окружающем грунте. Деформационные характеристики конструктивных элементов дорожного полотна определяются в соответствии с их материалами также, как и характеристики слоев грунта определяются видом грунта на основании инженерно-геологических изысканий. Деформационные характеристики поперечника здания определяются деформационными характеристиками материалов стен, перекрытий, стен подвала и фундаментов, найденными путем лабораторных исследований. Эти характеристики зависят также от поперечных размеров в принятой расчетной схеме.

Коэффициенты поглощения энергии, по Сорокину, для кирпичной кладки принимаются равными [9, 11]:

– кирпичная кладка: $\psi = 0,24$, $\phi_{cp} = 0,038$;

– перекрытие: $\psi = 0,44$, $\phi_{cp} = 0,07$.

Модель динамической расчетной схемы здания представлена на рис. 2 в виде системы с конечным числом степеней

свободы. Динамическая расчетная схема содержит 34 точечные массы и обладает 68 степенями свободы.

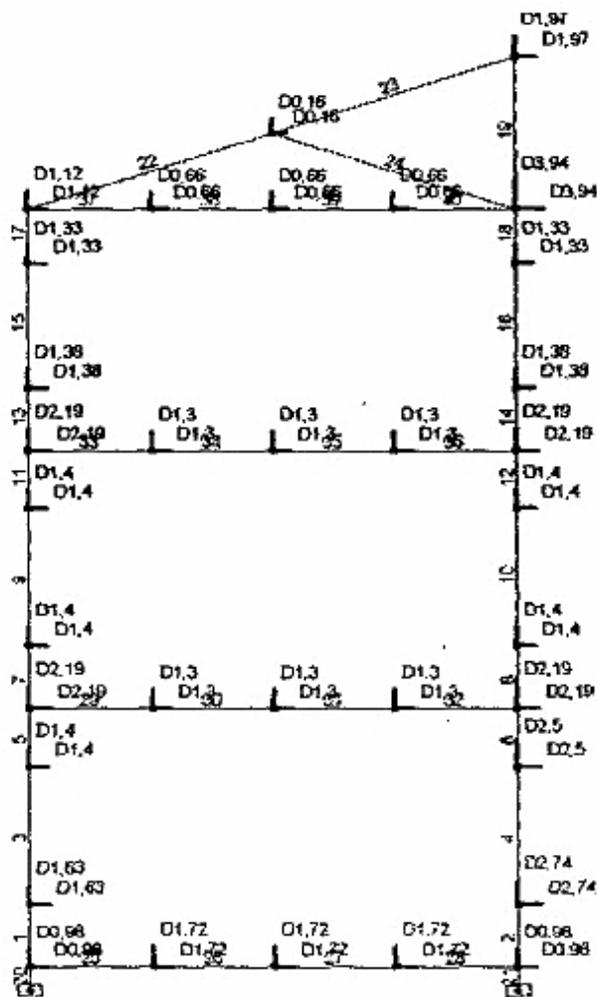


Рис. 2. Динамическая расчетная схема здания и ее параметры в SCAD

Были определены первые 10 форм свободных колебаний здания. В первых трех формах преобладают поперечные колебания стен со слабо выраженными колебаниями перекрытия. Четвертая форма колебаний – смешанная, с поперечными колебаниями стен и перекрытий, где все-таки преобладают перемещения стен. У пятой и шестой форм колебаний преобладают перемещения перекрытия.

Значения частотных характеристик здания в пределах первых восьми частот: первая – 0,64761 Гц; вторая – 2,232 Гц;

третья – 4,43636 Гц; четвертая – 5,6192 Гц; пятая – 5,81107 Гц; шестая – 6,382 Гц; седьмая – 6,72273 Гц; восьмая – 7,902 Гц – попадают в диапазон частот, вызываемых движением транспорта. Поэтому возможны резонансные явления.

Следует иметь в виду, что при учете деформационных свойств основания, на котором стоит здание, частоты свободных колебаний несколько уменьшаются, поэтому девятая и десятая частоты могут также попасть в зону частотных характеристик, создаваемых движением

автомашин по проезжей части дороги, и вызвать резонансные явления при больших скоростях автомашин.

Для оценки влияния транспорта на здание была создана модель расчетной схемы для выполнения численного эксперимента в программном комплексе SCAD для Windows. Модель представлена на рис. 3. Строение проезжей части, основание под фундаментом здания и стены подвала промоделированы плоскими конечными элементами, работающими в условиях плоской деформации. Поперечник здания (стены и перекрытия) промоделирован стержневыми конечными элементами плоской рамы с численным представлением жесткостных параметров.

Нагрузка прикладывалась для трех полос движения для автомашин с характеристиками, близкими к характеристикам легковых машин ВАЗ и ГАЗ. Величины прикладываемых нагрузок рассматривались как амплитудные значения нагрузок, частотные характеристики которых лежат в диапазоне ранее найденного спектра частот.

Характер вертикальных и горизонтальных перемещений полотна дороги и основания под фундаментами здания приведены в виде полей вертикальных и горизонтальных перемещений (рис. 4). Хорошо видно, что перемещения проезжей части и основания дорожного полотна вызывают перемещения основания под фундаментом здания и, следовательно, перемещение всего здания. Также получены перемещения здания, являющиеся также амплитудными характеристиками при вертикальном нагружении, которое создают легковые автомобили.

При вертикальных перемещениях полотна дороги, равных 1,12 мм, стены подвала (и фундаменты) получают перемещения по вертикали порядка 0,14 мм, по горизонтали – порядка 0,32 мм. Результат близок к результату, полученному по формуле (2). Различия в величинах обусловлено тем, что в расчетной схеме имеют место слои с различными деформационными характеристиками.

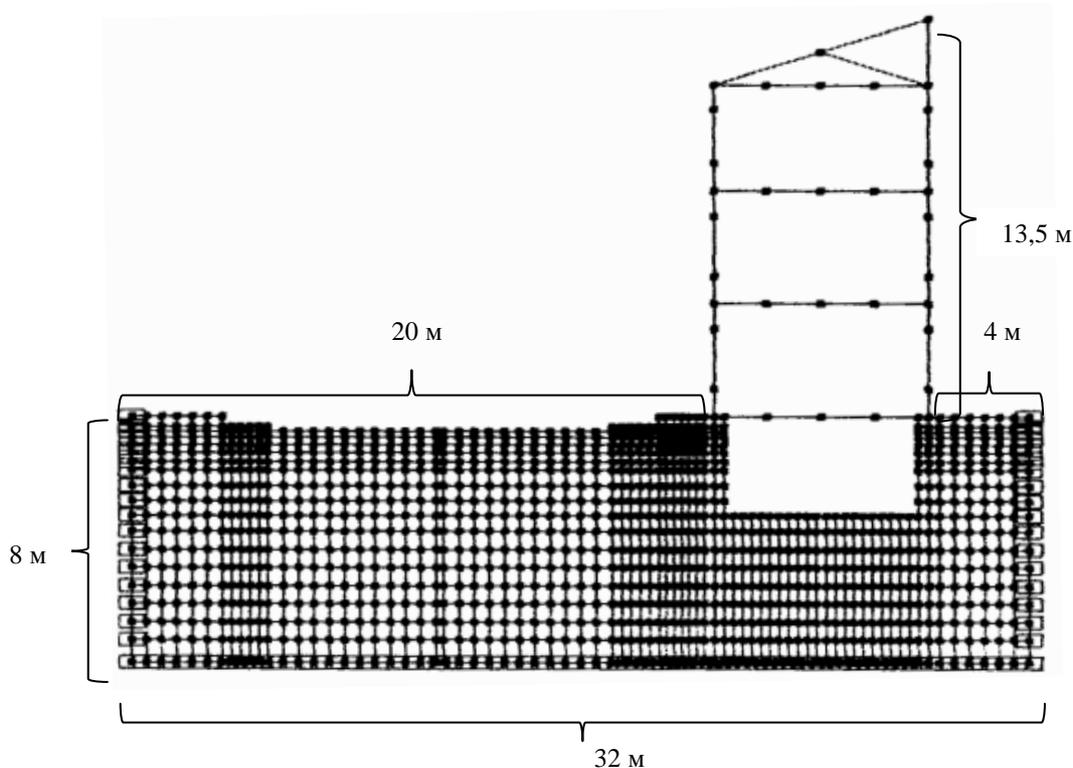


Рис. 3. Расчетная схема здания с проезжей частью мостовой

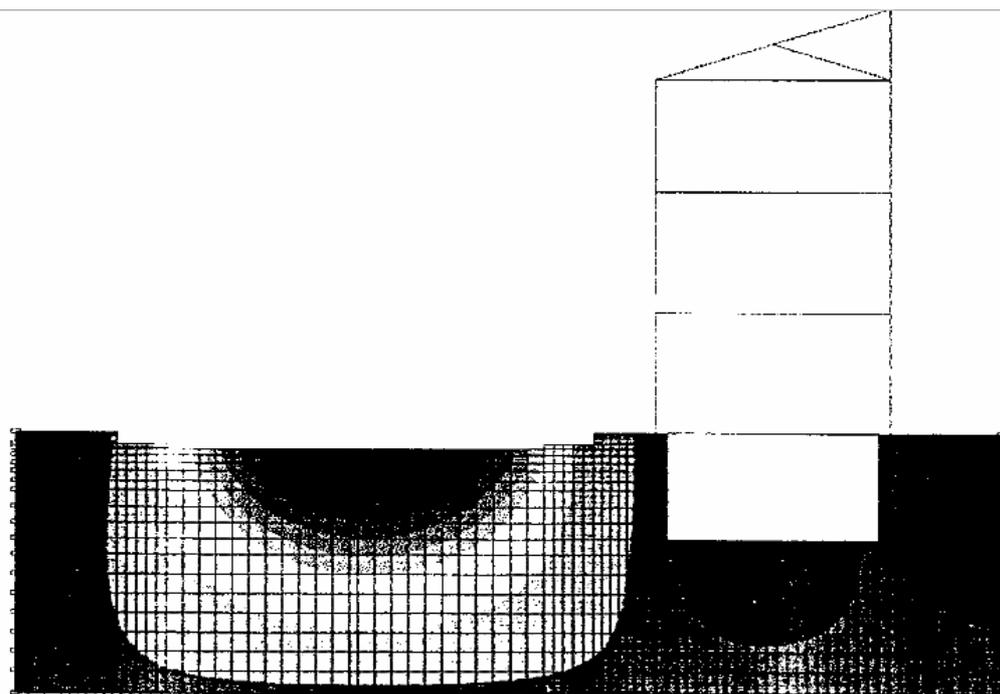


Рис. 4. Вертикальные перемещения грунтового основания, вызванные тремя потоками легковых машин типа ВАЗ (диапазон от 0,1 до – 0,89 мм)

Учет резонансных явлений, связанных с движением транспорта. Дифференциальные уравнения вынужденных колебаний здания как системы с 68 степенями свободы, при учете поглощения энергии колебаний, по теории Е.С. Сорокина, имеют вид [9]

$$\sum_{k=1}^{n=68} M_k \cdot \delta_{jk} \cdot \ddot{y}_k + (1 + i\gamma) y_i = \Delta_{ip}(t). \quad (9)$$

Здесь M_k – сосредоточенные массы, имеющие степени свободы в вертикальном и горизонтальном направлениях;

\ddot{y}_k – перемещения k массы вдоль вертикальной либо горизонтальной координаты;

δ_{jk} – единичное перемещение j массы от единичной силы, приложенной к k -й массе;

Δ_{ip} – перемещение j массы от внешней нагрузки;

$i = \sqrt{-1}$ – мнимая единица;

γ – коэффициент неупругого сопротивления материала. Принимаем его равным 0,054 как среднюю величину между коэффициентом неупругого сопротивления для кирпичных стен $\gamma = 0,035$ и для железобетонного перекрытия $\gamma = 0,073$.

При косинусоидальном изменении динамической нагрузки, создаваемой проезжающим транспортом, решение системы (9) имеет вид

$$y_k = \sum_{s=1}^r \frac{X_{ks}}{\rho_s} \Delta_{ps} \cdot \cos(\omega t - v_s), \quad (10)$$

где $S = 1, 2, \dots, r$ – порядковый номер формы свободных колебаний;

X_{ks} – коэффициент формы восьми свободных колебаний для массы k ;

Δ_{ps} – коэффициент влияния, учитывающий форму собственных колебаний, распределение масс системы и

перемещения, вызванные амплитудным значением динамической нагрузки,

$$\Delta_{ps} = \frac{\sum_{k=1}^n m_k \Delta_{kp} X_{ks}}{\sum_{k=1}^n m_k y_{ks}^2}, \quad (11)$$

ρ_s – коэффициент, учитывающий соотношение частот вынужденных и собственных колебаний,

$$\rho_s = \sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\Theta_s}\right)^2\right]^2 + \gamma^2}, \quad (12)$$

Θ_s – круговая частота собственных колебаний по форме s ;

ω – круговая частота вынужденных колебаний;

ν_s – угол сдвига фазы между силой и перемещением по s -й форме колебаний,

$$\nu_s = \arctg \frac{\gamma}{1 - \frac{\omega^2}{\Theta_s^2}}. \quad (13)$$

В случае наступления r -го резонанса, т.е. при совпадении $\omega = \Theta_r$, преобладают перемещения, соответствующие форме r . Коэффициент принимает значение

$$\beta_r = \gamma. \quad (14)$$

Перемещения k -й массы при резонансе имеет вид

$$y_k = \sqrt{a_{ks}^2 + A_{kr}^2} \sin(\Theta_r t + \lambda_k), \quad (15)$$

где a_{ks} – алгебраическая сумма вне резонансных перемещений k -й массы,

$$A_{kr} = \frac{\Delta_{pr}}{\gamma_r} X_{ks}. \quad (16)$$

Поскольку a_{ks} , как правило, значительно меньше A_{ks} , в дальнейшем учитываем только A_{kr} .

Скорости перемещений расчетной схемы определяются тогда соотношением

$$(\dot{y}_k) = A_{kr} \Theta_r (\cos \Theta_r t + \lambda_k). \quad (17)$$

Амплитудное значение скорости равно $A_{kr} A_r$.

Для первых трех форм характеристиками являются горизонтальные перемещения и массы M_x . Вертикальные перемещения малы и ими можно пренебречь. Для пятой и шестой форм преобладающими являются вертикальные перемещения. Здесь горизонтальными перемещениями можно пренебречь.

Учитывая это, с помощью программы Microsoft Excel была создана программа для вычислений амплитуд перемещений и скоростей узлов расчетной схемы здания. По результатам расчета скорости колебания стен и перекрытий достигают следующих величин:

- при первом резонансе – 8,88 мм/с;
- при втором резонансе – 2,76 мм/с;
- при третьем резонансе – 7,55 мм/с;
- при пятом резонансе – 1,02 мм/с.

При остальных резонансах скорости и перемещения оказываются ниже. Этот результат получен только для вертикальной составляющей транспортной нагрузки.

Учет горизонтальных сил, возникающих при движении транспорта, приведет к более высоким (примерно в 2 раза) скоростям движения конструкций здания. Это видно из сопоставления эпюр горизонтальных перемещений основания полотна дороги и основания здания, построенных для вертикальных и горизонтальных сил.

Результаты. Для оценки влияния колебаний на здание от автомобильного транспорта можно использовать данные нормативного документа [2], которые позволяют установить возможность выполнения забивки свай по скорости

колебаний основания под фундаментом существующего здания. Естественно, что природа возникновения колебаний может быть отличной от рассмотренной в нормах, но суть воздействия от периодической нагрузки на здание остается прежней. По нормам грунты основания, полученные в результате инженерно-геологических изысканий, – пески средней плотности и мягкопластичные суглинки (в местах замачивания) – относятся к грунтам второй группы.

Рассматриваемое кирпичное здание с трещинами шириной более 3 мм относится к третьей группе зданий и сооружений. Допустимые скорости колебаний грунта для этих условий устанавливаются нормами в 0,5 см/с. Решение, полученное выше для скоростей движения динамической системы, в случае появления резонансных явлений дает скорости движения масс здания и, следовательно, грунта в пределах 0,7 – 0,9 см/с.

Выводы из исследования и перспективы дальнейшего развития в этом направлении. Таким образом, было предложено: 1) расчетную схему системы «основание – фундамент – реконструируемое здание» при динамических воздействиях транспорта в сложных инженерно-геологических условиях; 2) решение для определения скоростей движения данной системы. Показано, что движение автомобильного транспорта вблизи здания является опасным для его целостности, так как может привести к дальнейшему раскрытию трещин в кирпичных стенах и значительному снижению пространственной жесткости и быстрому износу вплоть до обрушения. В то же время вероятность появления резонанса невелика и составляет для первой частоты 0,0625, для второй и третьей частоты – 0,025. Рекомендовано немедленное проведение капитального ремонта по восстановлению здания.

Список использованных источников

1. Калюжнюк, М. М. Сваебойные работы при реконструкции [Текст] / М.М. Калюжнюк, В.К. Рудь. – М.: Стройиздат, 1989. – 160 с.
2. ВСН 358-76. Инструкция по забивке свай вблизи зданий и сооружений [Текст]. – М.: ЦБНТИ, 1976. – 54 с.
3. Осипов, В. И. Динамическое разжижение водонасыщенных грунтов: природа и факторы, его определяющие [Текст] / В.И. Осипов // Инженерная геология. – 1988. – № 2. – С. 3-31.
4. Ставницер, Л. Р. Сейсмостойкость оснований и фундаментов [Текст] / Л. Р. Ставницер. – М.: Изд. АСВ, 2010. – 448 с.
5. Бендат, Дж. Прикладной анализ случайных данных [Текст] / Дж. Бендат, А. Пирсон; пер. с англ. под ред. акад. И. Н. Коваленко. – М.: Мир, 1989. – 540 с.
6. Бишоп, Р. Колебания [Текст] / Р. Бишоп; пер. с англ. под ред. Я. Г. Пановко. – 2-е изд., перераб. – М.: Наука, 1979. – 160 с.
7. Немчинов, Ю. И. Сейсмостойкость зданий и сооружений: в 2-х ч. [Текст] / Ю. И. Немчинов. – К., 2008. – 480 с.
8. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения [Текст] / под общ. ред. В. А. Ильичева и Р. А. Мангушева. – М.: АСВ, 2014. – 740 с.
9. Справочник по динамике сооружений [Текст] / под общ. ред. Б. Г. Коренева, И. М. Рабиновича. – М.: Стройиздат, 1972. – 511 с.
10. Динамический расчет зданий и сооружений [Текст] / под общ. ред. Б. Г. Коренева, А. Ф. Смирнова. – М.: Стройиздат, 1986. – 461 с.
11. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений: в 2 кн. Кн. 2 / под ред. А. А. Уманского. – М.: Стройиздат, 1973. – 416 с.

12. Фундаменти будівель і споруд [Текст]: довідковий посібник / Ю. Л. Винников, В. А. Муха, А. В. Яковлев та ін. – К.: Урожай, 2002. – 432 с.

13. Auersch, L. Amplification and reduction phenomena of soil-building interaction by finite-element boundary-element calculations and simplified methods [Text] /L. Auersch // Proceedings of the IX International Conference on Structural Dynamics, EURODYN 2014, Porto, Portugal, 30 June – 1 – 2 July, 2014. – P. 591 – 599.

14. Cacciola P. Vibration control of structures through structure-soil-structure-interaction / P. Cacciola, A. Tombari // Proceedings of the IX International Conference on Structural Dynamics, EURODYN 2014 (30 June – 2 July 2014). – Porto, Portugal, 2014. – P. 559 – 567.

15. Dynamic analysis of slab track on multi-layered transversely isotropic saturated soils subjected to train loads. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, December 2014, Volume 13, Issue 4, P. 731–740 (БД Scopus).

Кічаєва Оксана Володимирівна, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой механіки ґрунтів, фундаментів і інженерної геології Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова. Тел.: +380679538406. E-mail: o_kichaeva@mail.ru.

Kichaeva Oxana Vladimirovna, PhD., Sc. associate professor, Head of the Department of Soil Mechanics, Foundations and Engineering Geology, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Тел.: +380679538406. E-mail: o_kichaeva@mail.ru.

Стаття прийнята 24.11.2016 р.