

М.С. ВАЙНШТЕЙН

*Доктор технических наук, профессор, ОАО Моспроект,
Тел. 8(499)2508079, e-mail: office@mosproject.ru*

РАСЧЕТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ В РАЙОНАХ ВОЗМОЖНОГО ПРОЯВЛЕНИЯ КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ В Г. МОСКВЕ.

В 1984 г Управлением Моспроект-1 (ныне ОАО Моспроект) совместно с Техническим управлением МГИ, Глав АПУ и Мосгоргеотрестом была разработана «Инструкция по проектированию зданий и сооружений в районах г. Москвы с проявлением карстово-суффозионных процессов». Инструкция была выпущена взамен изданных Моспроект-1 в 1979 г. «Временных указаний по проектированию зданий в районах г. Москвы с проявлением карстово-суффозионных процессов». По этой инструкции территория г. Москвы, в зависимости от интенсивности проявления карстовых процессов, классифицировалась на картах инженерно-геологического районирования на опасные, потенциально опасные и неопасные для строительства районы. Проектирование объектов на каждом участке строительства допускалось с учетом конкретной инженерно-геологической оценки территории объекта, в результате чего уточнялась классификация карстовой опасности участка. Согласно «Инструкции», при проектировании в районах с проявлением карстовых процессов необходимо предусматривать оснащение зданий и сооружений автоматической системой сигнализации на период эксплуатации. Кроме того, следует обеспечивать в полах подвалов и в фундаментах устройство сквозных отверстий размером не менее 150 X 150 мм с шагом 6X6 м для нагнетания, в случае необходимости, цементного раствора или бетона. Для потенциально опасных районов при проектировании зданий и сооружений требуется обеспечить их устойчивость при внезапном проявлении карстовых процессов в течении времени, необходимого для эвакуации людей. Это может быть достигнуто сочетанием конструктивных и расчетных мероприятий. Согласно инструкции, в качестве фундаментов на естественном основании следует применять, как правило, монолитные железобетонные плиты или перекрестные ленты, для свайных оснований – монолитные ростверки, обеспечивающие свободное выскальзывание из ростверка свай, попавших в карстовую воронку. Фундаменты должны иметь консоли, выступающие за пределы габаритов здания, величина которых определяется расчетом. Для крупнопанельных домов с малым шагом поперечных стен на монолитных плитах длина дома не должна быть менее двух секций. Некоторые типы сборных жилых домов строить в таких районах не рекомендуется. При достаточном обосновании целесообразность строительства определяется расчетом и возможностью оперативно осуществить инженерно-технические меры защиты, повышающие жесткость здания и инженерно-геологические меры защиты участка строительства в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

При проведении расчетов необходимо учитывать в потенциально опасных районах совместную работу надземной и подземной частей здания, включая фундаменты и сваи при образовании в любом месте под зданием одной карстовой воронки диаметром 6 метров. При этом прочность конструкций и стыков здания должна быть обеспечена. Расчет на прочность при возникновении карстовой воронки относится к расчетам на особые воздействия и проводится на нормативные нагрузки с понижающим коэффициентом. Ветровые, инерционные и климатические воздействия в этих случаях не учитываются.

С учетом изложенных выше положений сформулируем основные подходы к расчетам зданий и сооружений в потенциально опасных в карстовом отношении районах. Рассматривается трехмерная конструктивно - подобная модель здания на упругом основании, включая надземную, подземную части и фундаменты как пространственная конечно-элементная система на действие вертикальных нагрузок при возможности возникновения в любой точке основания под фундаментом «нулевой» зоны отпора диаметром 6 метров. Далее рассмотрим две методики проведения расчетов, иллюстрирующих механизм реализации положений о расчете, записанных в «Инструкции».

Методика 1.

Цель расчетов – а это серия расчетов модели здания в «линейной» постановке при различных положениях карстовой воронки круглого очертания под фундаментом в плане – определить необходимые прочностные характеристики и сечения арматуры конструктивных элементов здания и фундаментов, обеспечивающих нормальную эксплуатацию объекта при развитии одной воронки до 6 м. в диаметре. Иными словами, расчетом допускается возникновение и развитие воронки до 6 м. в диаметре в любом месте под фундаментом без нарушения эксплуатационных характеристик здания. «Расчетный запас» прочности дома обеспечивает в случае возникновения и развития карстовой воронки (при «покрытых» карстах в условиях г. Москвы) резерв времени, за который должна «сработать» сигнализация и можно будет принять специальные меры для стабилизации объекта, предусмотренные в паспорте проекта

Методика 2

Цель расчетов – а это серия расчетов модели здания в физически «нелинейной» постановке при различных положениях карстовой воронки круглого очертания под фундаментом в плане – определить возможность лавинообразного (прогрессирующего) разрушения здания при «локальном» (до 6 м. в диаметре) разрушении основания под фундаментом. В случае, если расчетным путем можно показать, что при локальном выбывании грунта (при внезапном проявлении карстовых процессов) не наблюдается лавинообразный (мгновенный) процесс развития разрушения конструкций здания, появляется

ресурс времени, в течение которого необходимо, как минимум, обеспечить эвакуацию людей.

В качестве иллюстрации ниже приводятся фрагменты расчетов конструкций одного из объектов в г. Москве - 19 этажного жилого дома с встроено - пристроенным двухэтажным подземным гаражом.

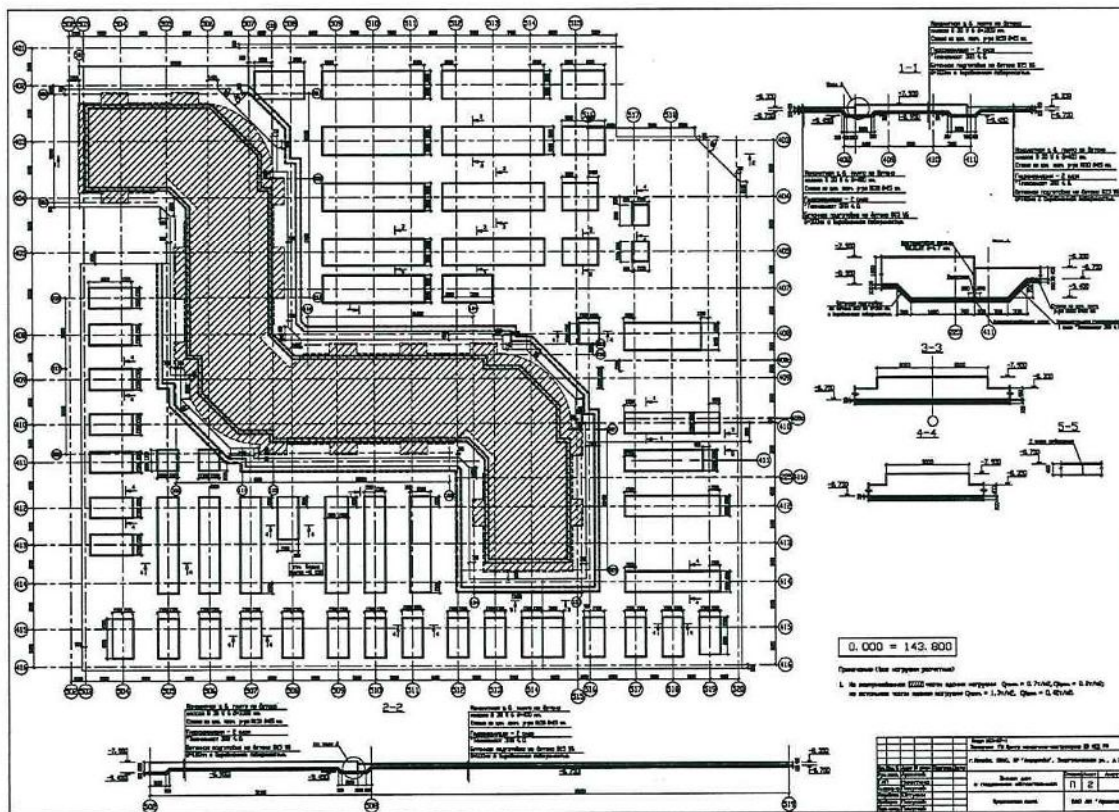


Рис.1

Дом на фундаментной плите (см. рис.1, 2) с подземным гаражом, отделенным по контуру (периметру) многоэтажной части деформационным швом.

Пространственная модель здания включает в себя фундаментную плиту, перекрытия, вертикальные несущие конструкции из монолитного железобетона. Коэффициент жесткости основания $C1 = 1050 \text{ тс/м}^3$.

Методика 1. Требуется определить перемещения, усилия и обеспечить необходимое армирование несущих конструкций здания на фундаментной плите как для обычных грунтовых условий, так и в условиях возможного проявления карстов – воронки диаметром 6 м.

Методика 2. Численно исследуются задачи расчета здания на фундаментной плите в нелинейной постановке, позволяющие выявить возможность лавинообразного (прогрессирующего) разрушения конструкций здания, либо его части вследствие возникновения под ним локального разрушения основания.

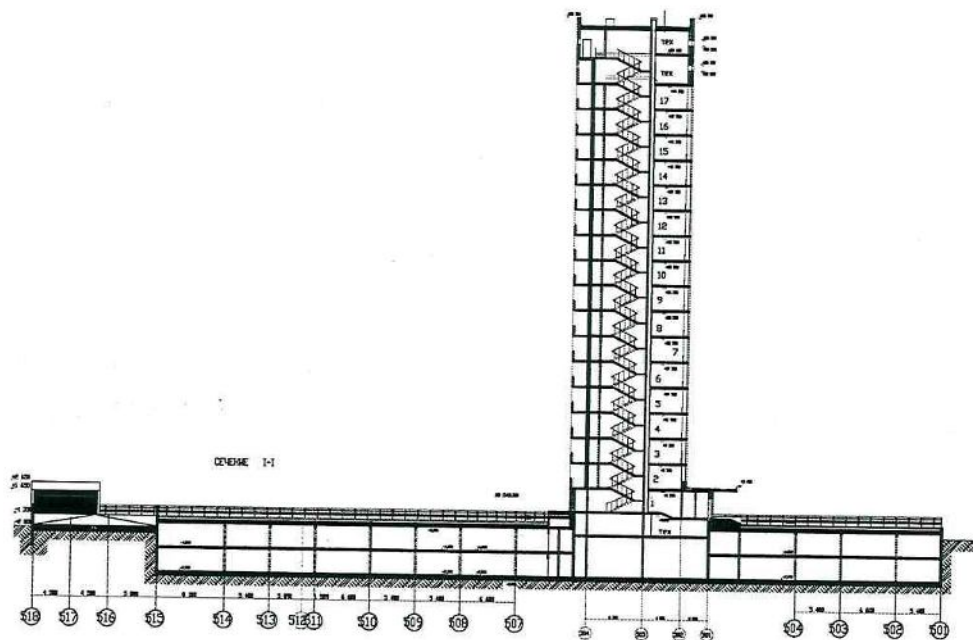


Рис. 2

По методике 1, на основе инженерного опыта, экспертных оценок назначаем расположение воронок под фундаментной плитой (рис. 3). Поскольку нет возможности выполнить «бесконечное» количество расчетов для воронок, расположенных в каждой точке основания, выбираем наиболее «опасные» (с нашей точки зрения) для конструкций здания схемы расположения воронок - по одной в каждом расчете. Для подобных задач не существует полного (исчерпывающего) решения, связанного с известным заранее положением воронки под домом. Приходится определять поле значений перемещений, усилий в несущих конструкциях дома, армирования железобетонного фундамента путем интерполяции (экстраполяции) величин, полученных для принятого проектировщиком расположения воронок. Алгоритм работы здесь может быть следующим. Задается фиксированное положение воронки, при котором решается задача определения напряженно-деформированного состояния конструкций и требуемые значения арматуры в железобетоне. Затем делается сопоставление с результатами расчета в той же постановке, но без воронки под домом. На основе всей совокупности расчетов по всем воронкам делается вывод о требуемой несущей способности элементов конструкций и арматуры по всему зданию. Понятно, что эта оценка является интегральной, однако, на наш взгляд, она позволяет получить качественную и количественную картину пространственной работы здания на фундаменте в условиях гипотетического образования карстовых воронок.

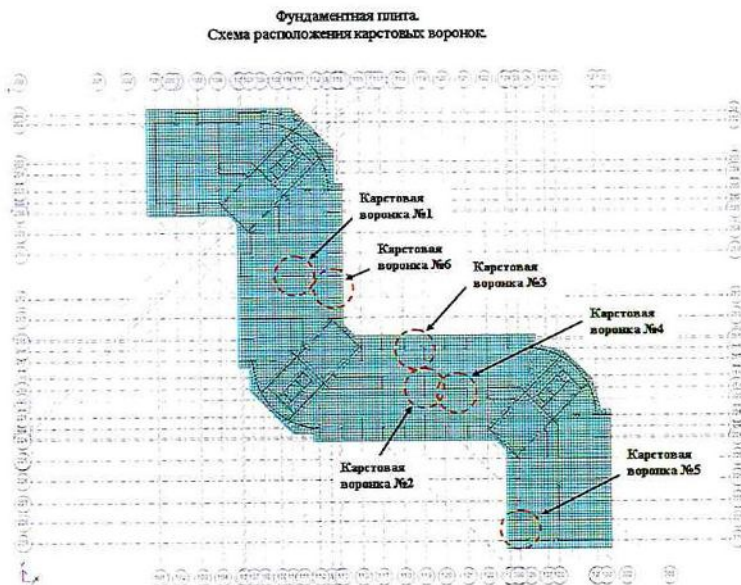


Рис. 3

Для зданий с «узким» шагом несущих поперечных стен (3,60-4,20 м), к которым, в частности, относится большинство типовых серий домов 17 и более этажей, а также аналогичных монолитных (некаркасных) жилых домов на монолитных фундаментных плитах, как показывает опыт, влияние воронок диаметром до 6 м. на верхнее строение незначительно. Все мероприятия по усилению конструкций можно свести к увеличению армирования фундаментных плит в среднем на 30% в нижней зоне по сравнению с расчетом плит без карста. Пространственная модель здания позволяет судить не только о вертикальных перемещениях фундаментной плиты при возникновении воронки, но также и о возникающих при этом горизонтальных перемещениях конструкций верхних этажей. На рис. 4 на фрагменте фундаментной плиты показаны вертикальные перемещения от нормативных нагрузок. Слева - в обычных грунтовых условиях, справа - при образовании под плитой воронки (рис. 4).

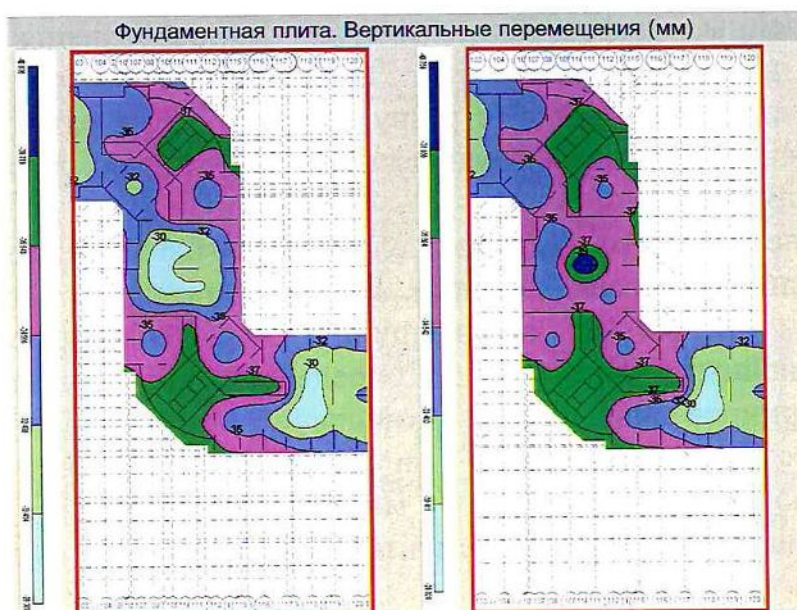


Рис. 4

На рис. 5 показаны горизонтальные перемещения верха здания от приложенных вертикальных нормативных нагрузок.

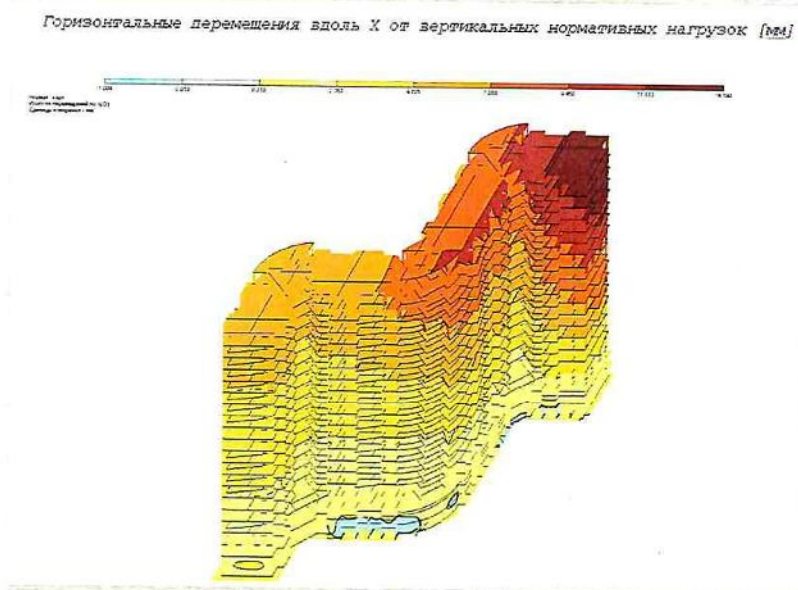


Рис. 5

По методике 2, как уже отмечалось, в физически нелинейной постановке для конечно - элементной пространственной модели требуется определить, приводит ли образование воронки под плитой к ситуации, когда в нагруженных конструкциях здания возможно последовательное достижение предельной несущей способности элементов, за которым последует разрушение некоторых из них.

При этом важно определить, стабилизируется ли процесс перераспределения нагрузок на оставшиеся несущие элементы здания, или создаются условия, вызывающие последовательное, (лавинообразное) разрушение элементов конструкций, приводящее к обрушению части здания или здания в целом. Необходимо численно исследовать альтернативные пути передачи нагрузок за счет перераспределения усилий в оставшихся элементах, вычислить нелинейные деформации в области повреждения при работе материалов за пределами упругости. В зависимости от возможности локализации повреждений в области разрушения, либо их развития, делается вывод о возможности (либо невозможности) развития лавинообразного процесса разрушения объекта.

В основу нелинейного расчета положен шаговый метод. В расчете нагрузка приложена за N равных шагов. По результатам расчета на каждом линейном шаге программа анализирует напряженно-деформированное состояние нелинейных элементов, определяет образование трещин, пластических шарниров или полное разрушение сечения. С учетом этого вычисляются жесткости элементов на следующих шагах нагружения. Программа исключает из расчетной модели разрушенные элементы и преобразует матрицы жесткостей элементов в зависимости от напряженно-деформированного состояния.

Проведенные нами расчеты большого числа объектов на карсте позволяют сделать вывод о том, что для профессионально (грамотно)

скомпонованных зданий при образовании воронки $D=6$ м., как правило, лавинообразное разрушение объекта не наступает.

Следует отметить, что при учете нелинейных свойств железобетона, по сравнению с линейным расчетом, увеличиваются перемещения конструкций. Образуются и раскрываются трещины. Возможны разрушения отдельных зон конструкций. Вместе с тем полного разрушения конструкций (потери несущей способности) всего здания на фундаментной плите при воронке диаметром 6 м., как правило, не происходит и условия для прогрессирующего разрушения не создаются. Это не означает, что впоследствии можно нормально эксплуатировать объект, однако требование о временном лаге для возможности разрешения аварийной ситуации выполняется.

В качестве иллюстраций приведенных рассуждений на рис. 6, 7 показаны изополя перемещений на стенах нижних этажей здания, начиная от фундаментной плиты. Даны развертки по осям здания, проходящих через воронку №1.

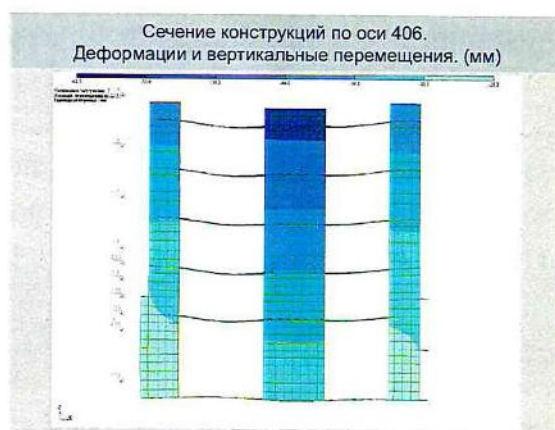


Рис. 6

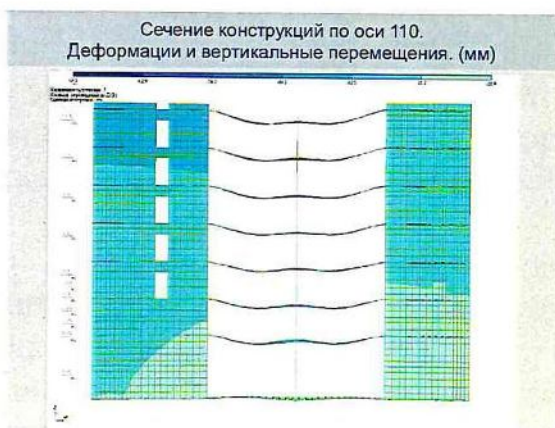


Рис. 7

Трещины и эпюры главных напряжений у нижней поверхности фундаментной плиты в окрестностях воронки приведены на рис. 8., трещины и напряжения в стенах на первом этаже здания над воронкой на рис. 9

Фундаментная плита.
Трещины и напряжения у нижней поверхности (т/м²)

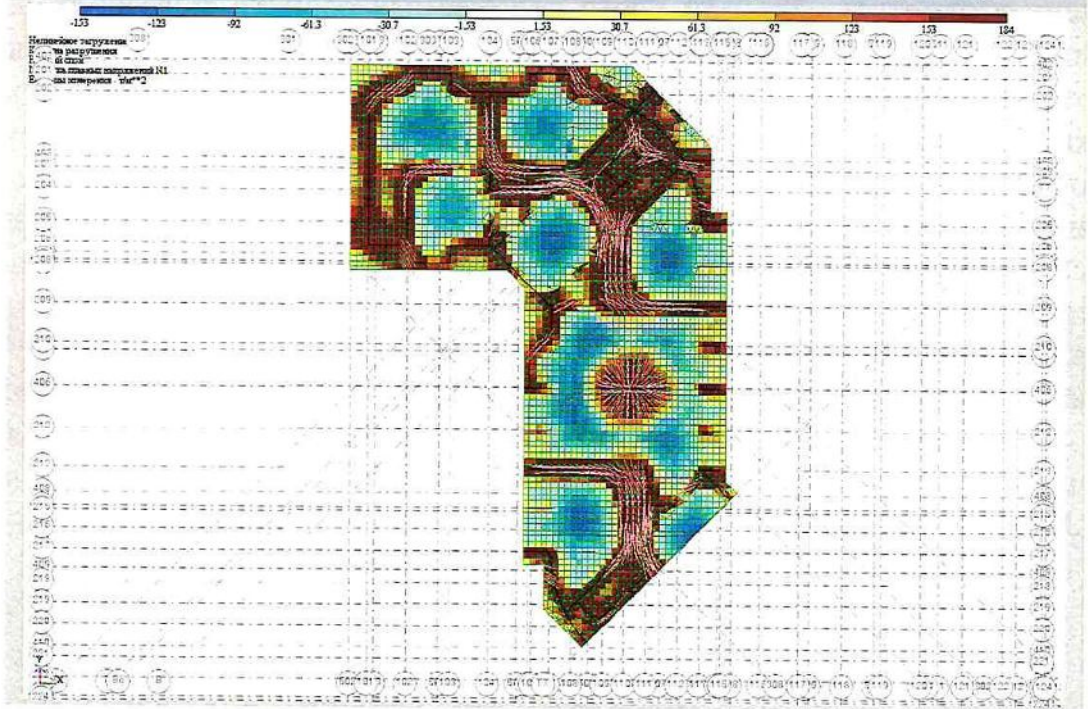


Рис. 8

Перекрытие на отм 0.00.
Трещины и напряжения в срединной плоскости (т/м²)

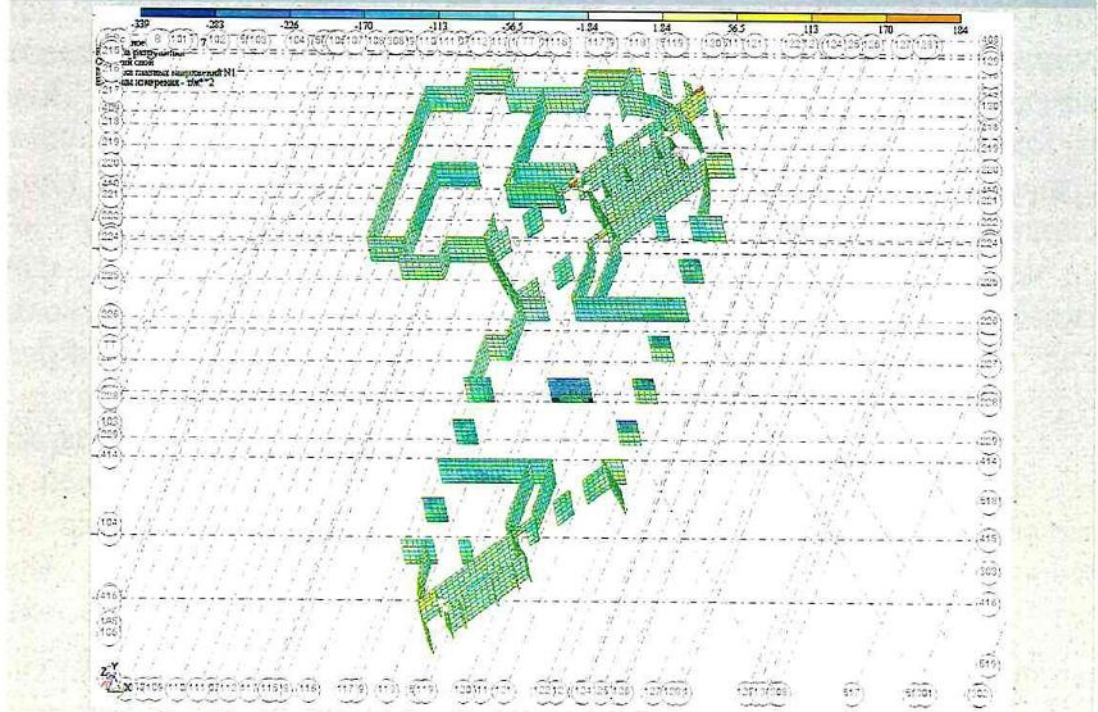


Рис. 9