

ВЛИЯНИЕ ЗАГЛУБЛЕНИЯ ШТАМПА НА ЕГО КОЛЕБАНИЯ

Гришин А.В. (Одесский национальный морской университет, г. Одесса)

Рассматривается связанная динамическая система, состоящая из штампа и грунтовой среды. На штамп действует импульсная или гармоническая нагрузка. Учитываются упругопластические свойства материалов системы. Используется теория пластического течения с упрочнением. Результаты исследования представлены в виде эпюр перемещений и напряжений на заданном интервале времени.

В проблемной статье [1] указывалось на необходимость при колебании фундаментов учитывать их заглубление в грунтовую среду. В настоящей работе на основании методики, предложенной в [2], данный вопрос рассматривается при действии на штамп импульсной или гармонической нагрузки. Штамп и деформируемая среда образуют единую связанную систему (рис. 1).

В [2] предложена инерционная волновая упругопластическая модель, которая базируется на теории течения с кинематическим упрочнением. Она позволяет производить расчет от совместного действия статических и динамических нагрузок. Обычно динамические нагрузки прикладываются к системе, когда она находится под действием статических нагрузок (например, собственный вес). В упругопластических задачах нельзя определять реакции системы путем суммирования результатов, полученных отдельно от статических и динамических воздействий. Изменение жесткости системы вследствие появления в некоторых её областях текучести от статических нагрузок влияет на колебательный процесс при её динамическом нагружении. Следовательно, отдельный анализ системы от действия только статических и только динамических нагрузок нельзя признать правомерным.

Кроме того, предлагаемая методика позволяет реализовать рекомендуемый в СНиПе расчет по двум предельным состояниям с единых позиций. Она дает возможность определять действительное напряженно-деформированное состояние системы в период её эксплуатации, а не выполнять только поверочный расчет по несущей способности системы, как в теории предельного напряженного состояния.

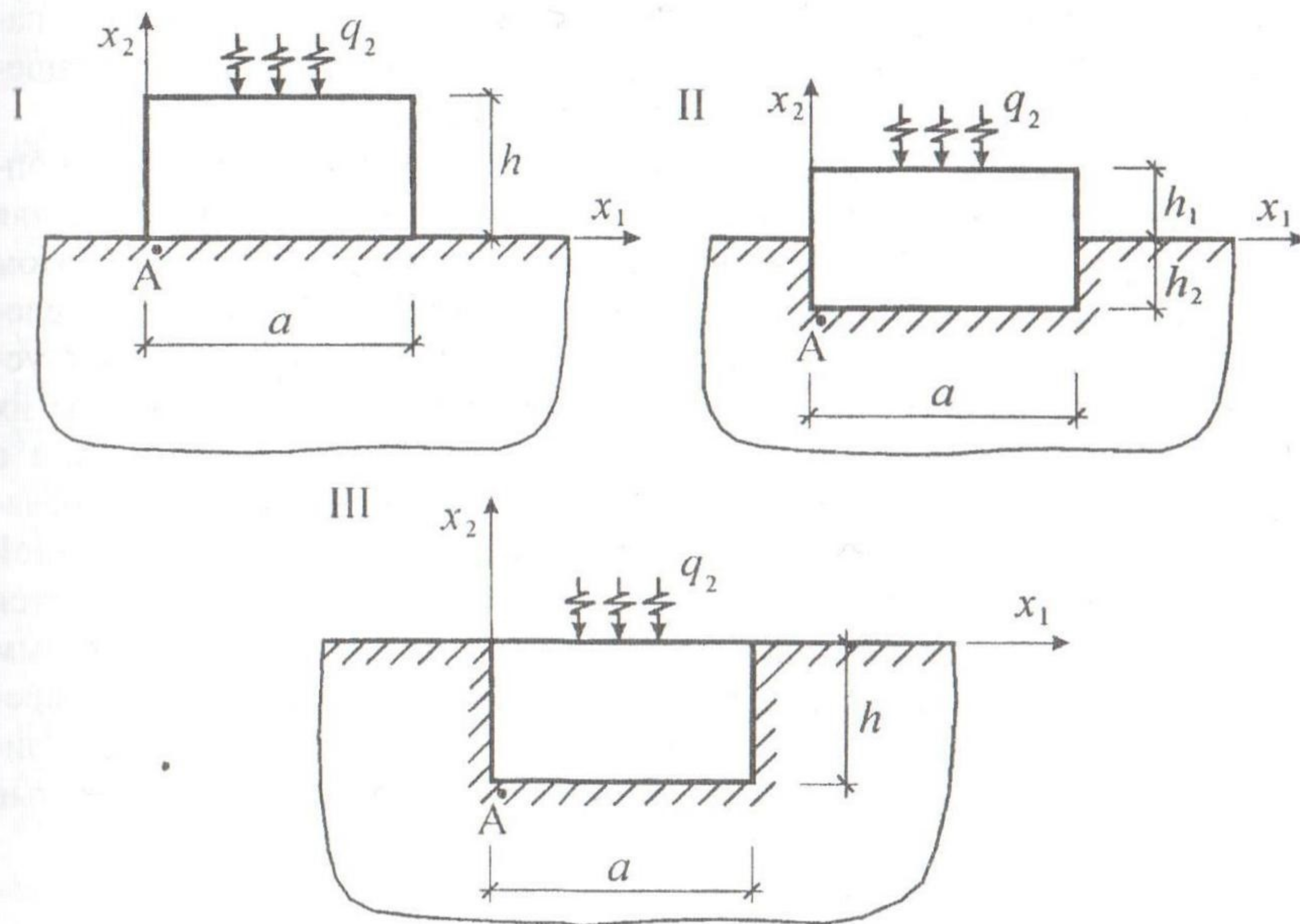


Рис. 1. Расчетные схемы систем:
I – лежащий на грунтовом массиве штамп;
II – полузаглубленный в грунтовый массив штамп;
III – заглубленный в грунтовый массив штамп

В нормативных документах рекомендуется использовать безинерционную контактную модель грунтового массива типа винклеровской. Обычно под действием динамической нагрузки на отдельные элементы системы, генерируются волны, которые влияют не только на колебания самой системы, но и на объекты, расположенные в зоне их действия. Предлагаемая модель дает возможность учитывать эти явления, а контактная модель основания определять только колебания элемента, на который действует динамическая нагрузка. Подробное описание теории предлагаемой методики изложено в [2], поэтому здесь эти вопросы рассматриваться не будут.

Из численных методов широко применяемых для решения линейных динамических задач в основном используются два: разложение по собственным формам колебаний и прямые шаговые методы [3]. Для нелинейных задач принцип суперпозиции неприменим, поэтому определение решения по первому методу путем суммирования результатов, полученных для некоторых форм колебаний, становится недопусти-

внутри области или на её границу, определенную поверхностью нагружения. В свою очередь эта область изменяется при новом приращении действующих нагрузок, что усложняет решение.

Методы явного и неявного интегрирования имеют свои области оптимального применения. Так, первые из них выгодно использовать для быстропротекающих во времени колебательных процессов. В этом случае отрезок времени, на котором определяется решение, мал, следовательно, мало и количество шагов интегрирования. Вследствие условной устойчивости процесса решения они должны быть меньше их критического значения, и поэтому не возникает больших проблем с увеличением времени счета на ЭВМ. Безусловная устойчивость неявных методов решения позволяет во много раз увеличить временной интервал по сравнению с явными методами, поэтому сокращается продолжительность счета на ЭВМ. Но алгоритмы решения по неявным методам намного сложнее и требуют значительно больших затрат времени на разработку программного обеспечения. По этим соображениям для решения задач были использованы оба метода и их различные модификации.

Разработанный алгоритм решения был реализован в виде программного комплекса в системе Delphi. В нем осуществлены две основные задачи:

- использование всех положений предлагаемой методики;
- создание наиболее удобного для пользователя интерфейса.

Подробное описание алгоритма и программного комплекса дано в [2].

Рассмотрим численное решение задач при следующих исходных данных: $h = 2$ м; $h_1 = h_2 = 1$ м; $a = 2$ м. Характеристики грунтового массива: $E = 40$ МПа; $\mu = 0,4$; $c = 0,002$ МПа; $\varphi = 24^\circ$; $\rho = 1,6$ тс/м³. Сначала рассмотрим действие на штамп импульсной нагрузки интенсивностью $q_2 = 0,1$ МПа с временем действия 0,1 сек. Решение производилось по неявной схеме модифицированного метода Ньюмарка с параметрами $\alpha = 0,25$; $\beta = 0,5$.

Вначале выполнять статический расчет от собственного веса штампа. Затем действовала импульсивная нагрузка. На рис. 2 и рис. 3 приведены соответственно эпюры перемещений u_2 и напряжений σ_{22} в точке A , показанной на рис. 1 для лежащего на грунтовом массиве штампа. На рис. 2 под номером 2 показана прямая, соответствующая вертикальному перемещению точки A от действия только собственного веса, а под номером 1 – от действия q_2 как статической нагрузки.

мым. При решении нелинейных динамических задач прямыми шаговыми методами необходимо реализовать два основных этапа:

- дискретизацию исходных уравнений как по времени, так и по области, занимаемой системой;
- построение шагового процесса для определения искомым функций на заданном отрезке времени с требуемой точностью.

Дискретизация по времени вызвана тем, что в общем случае не удается освободиться от этой независимой переменной, как например, в задачах установившихся колебаний, она увеличивает размерность уравнений и усложняет решение. Вначале заданный временной отрезок делится на конечное число интервалов и затем для каждой узловой точки строятся дискретные аналоги исходных уравнений.

Для дискретизации уравнений по области системы использовался наиболее простой и надежный в реализации на ЭВМ метод конечных элементов. При этом применялись как конечные, так и бесконечные изопараметрические элементы. Если грунтовый массив ограничить, как это часто делается при решении статических задач, конечной областью, то отраженные от его границы волны могут исказить результаты решения. В некоторых работах рекомендуется на бесконечных границах использовать элементы с вязкими свойствами, способные поглощать, а не отражать волны. В других работах для упругих задач были получены условия на неотражающем контуре, которые предполагают, что распространение упругих волн через такой контур происходит со скоростью, пропорциональной деформации вдоль направления распространения волны. Здесь данная проблема решается применением бесконечных элементов для бесконечных границ системы.

Шаговые методы подразделяются на методы явного и неявного интегрирования. Алгоритмы этих методов для решения линейных задач подробно изложены в [3]. Их применение для нелинейных упругопластических задач без существенной модификации невозможно по следующим причинам: 1) Упругопластические деформации и напряжения определяются только в приращениях, а не в их полных значениях, как в линейных задачах. 2) При решении в приращениях происходит накопление различных ошибок. Поэтому в уравнениях равновесия, в которые входят полные перемещения, образуется вектор невязки. Для его уменьшения до заданной малой величины, приходится строить дополнительный итерационный процесс. 3) На каждой итерации уравнения в приращениях решаются приближенными методами, поэтому полный вектор напряжений может выходить за пределы поверхности нагружения, что для упругопластических задач недопустимо. Поэтому необходимо строить дополнительную процедуру возвращения этого вектора

Для напряжения σ_{22} в точке A от собственного веса штампа (номер 2 на рис. 3) получается такая же картина, что и для перемещения, но прямая 1, для которой $\sigma_{22} = -0,0551$ МПа больше значения, полученного из динамического расчета ($-0,0502$ МПа). Оно не помещается на рисунке. Из эпюры видно, что после действия импульса при $t = 0,12$ сек. возникают наибольшие перемещения и напряжения, которые быстро затухают. Но после затухания их значения не совпадают с данными, полученными из статического расчета от действия собственного веса. Это вызвано тем, что при динамическом нагружении в грунтовом массиве образовались новые пластические области, в которых после окончания действия импульса возникли остаточные деформации.

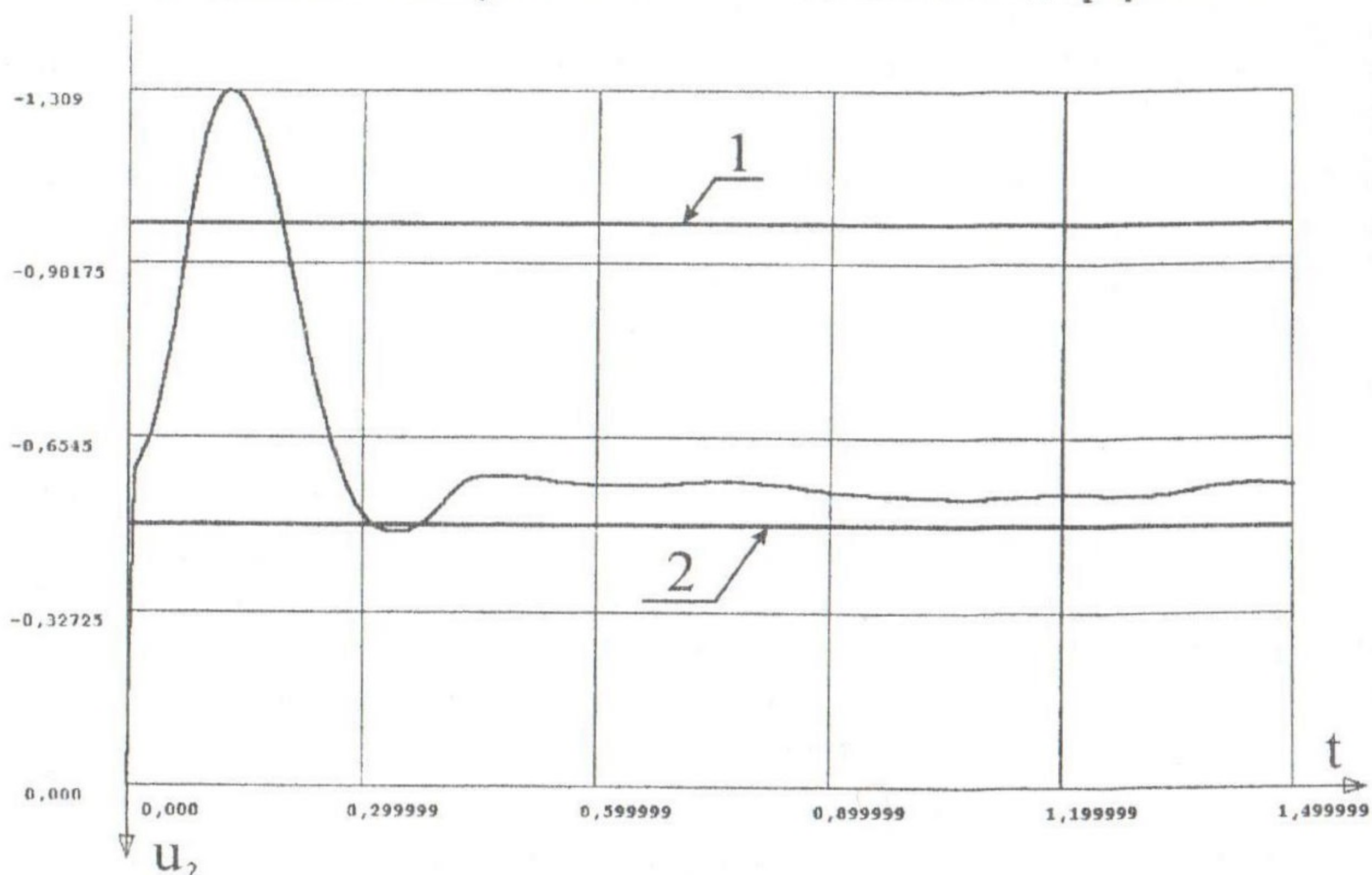


Рис. 2. Эпюра вертикальных колебаний u_2 точки A от действия собственного веса лежащего штампа и импульсной нагрузки Q_2 (в см)

Если выполнить упругий динамический расчет, то максимальные перемещения в точке A будут равны $0,727$ см, т.е. они уменьшились в $1,8$ раза, а уменьшение напряжений составило только в $1,02$ раза. При этом максимальные перемещения возникают в момент $t = 0,09$ сек., т.е. на $0,03$ сек. раньше, чем в упругопластическом расчете.

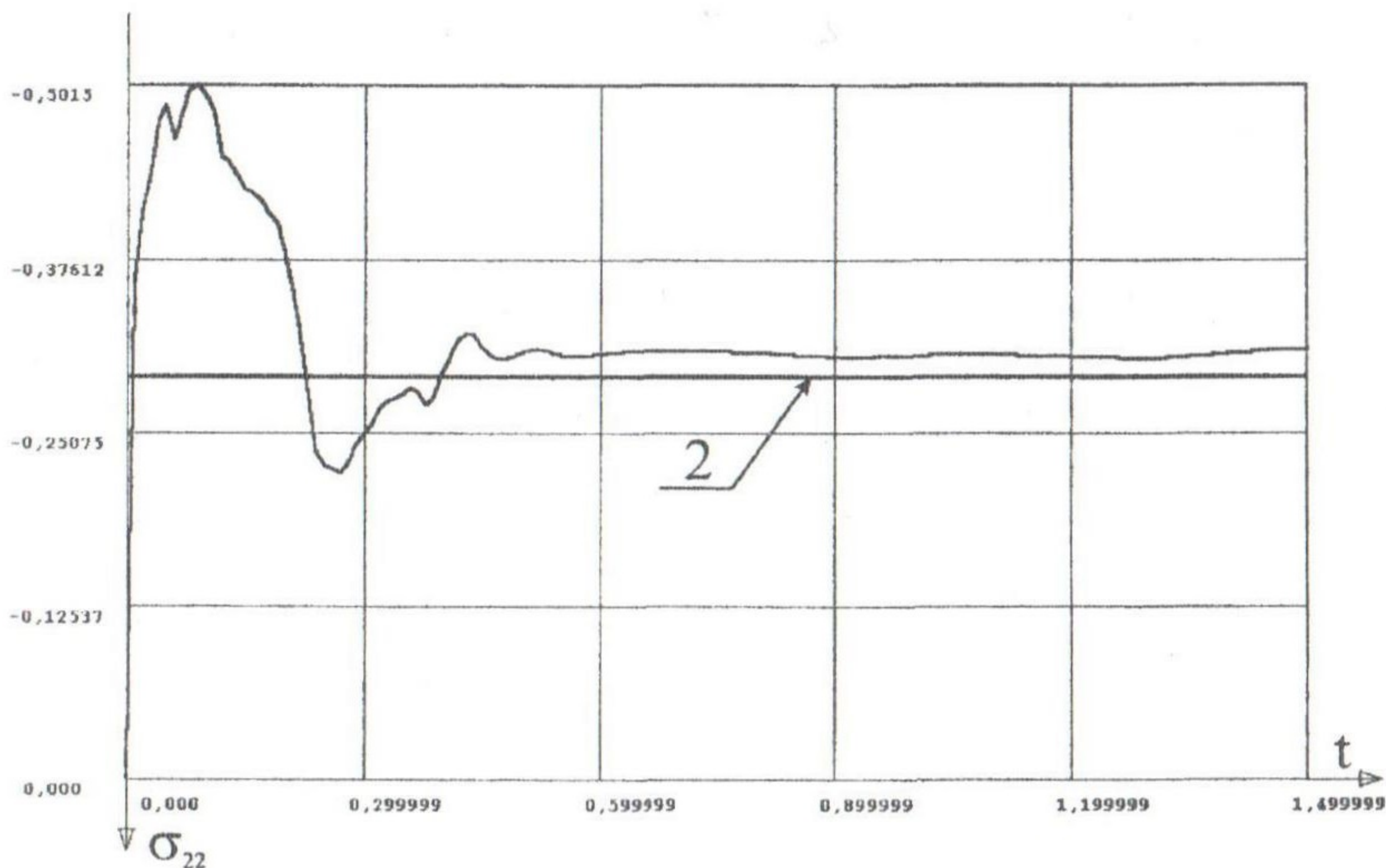


Рис. 3. Эпюра колебаний напряжений σ_{22} точки A от действия собственного веса лежащего штампа и импульсной нагрузки q_2 (в 10 МПа)

При изменении формы импульса на прямоугольный, эпюра перемещений u_2 для точки A будет иметь вид, показанный на рис. 4. Из эпюры видно, что максимальные перемещения увеличились в 2,12 раза, а величина максимального напряжения σ_{22} в этой точке почти не изменилось. Время возникновения максимальных значений увеличилось на 0,05 сек. Следует также отметить, что возрастание времени действия импульса приводит к увеличению перемещений и напряжений в точке A .

Из приведенных результатов следует, что замена динамической нагрузки на эквивалентную статическую может привести к неверным результатам, так как при статическом расчете невозможно учесть время действия и форму импульса, от которых зависят величины перемещений и напряжений.

Были выполнены расчеты для полузаглубленного штампа при действии той же нагрузки. Они показали, что эпюра перемещений и напряжений для точки A качественно не изменились, но максимальные перемещения уменьшились по абсолютной величине с 1,309 см до 1,059, т.е. в 1,24 раза, а максимальные напряжения – в 1,26 раза. При

изменении формы импульса и его времени действия наблюдались такие же закономерности, что и для лежащего на грунтовом массиве штампа. Точно такая же картина происходила и с заглубленным штампом. Наибольшие перемещения u_2 точки A уменьшились в 1,36 раза, а напряжения σ_{22} - в 1,25 раза по сравнению с лежащим на грунтовом массиве штампом. Из полученных результатов следует, что с заглублением штампа уменьшаются его вертикальные перемещения и контактные напряжения.

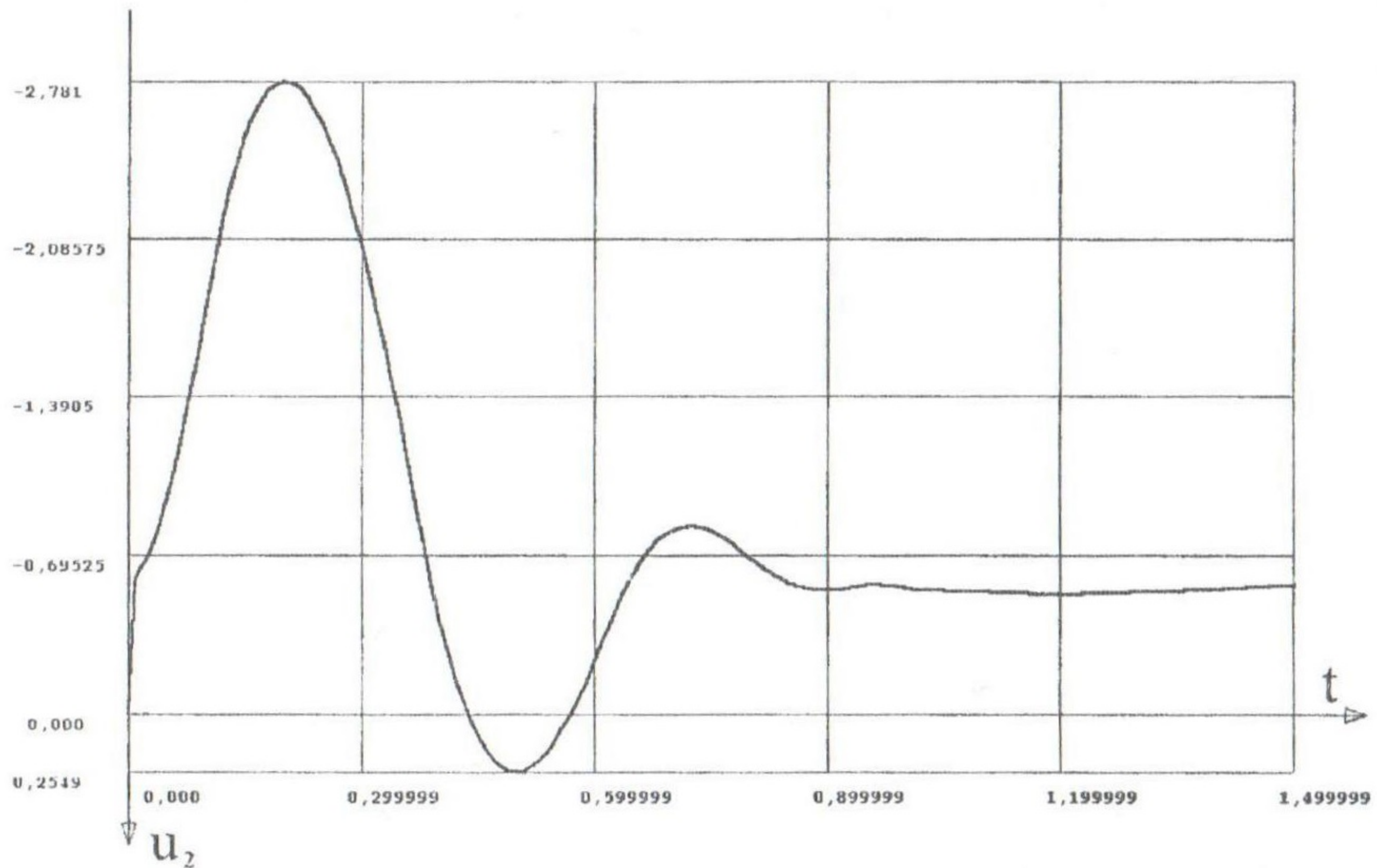


Рис. 4. Эпюра перемещений u_2 точки A от действия на лежащий штамп его собственного веса и прямоугольного импульса Q_2 (в см)

Пусть теперь на лежащий на грунтовом массиве штамп действует гармоническая нагрузка с круговой частотой $\omega = 60$ 1/сек. и той же интенсивности. Время её действия составляет 1 сек. На рис. 5 и рис. 6 показаны эпюры колебаний перемещений u_2 и напряжений σ_{22} в точке A от собственного веса штампа и гармонической нагрузки. При $t = 0,06$ сек. в перемещениях u_2 наблюдается скачок, амплитуда которого в 2,2 раза больше амплитуд дальнейших колебаний. Аналогичный скачок напряжений σ_{22} значительно меньше. После прекращения

действия нагрузки происходит резкое затухание как перемещений, так и напряжений.

Для полузаглубленного и заглубленного штампов амплитуды колебаний перемещений u_2 и напряжений σ_{22} качественно почти не изменились. Так, для перемещений амплитуда равна 0,1 см. Следует также отметить, что величина осадки штампа, лежащего на грунтовом массиве, от действия его собственного веса в 1,4 раза больше, чем для полузаглубленного штампа. Такая же картина наблюдается и для напряжений. Это вызвано тем, что часть действующей нагрузки воспринимается грунтом по бокам штампов.

В заключение необходимо отметить, что при расчете следует учитывать заглубление штампов и упругопластические свойства грунтового массива, которые влияют на напряженно-деформированное состояние системы. Возможность замены динамической нагрузки эквивалентной статической зависит от факторов, присущих только некоторым динамическим процессам. В настоящее время определение различных поправочных коэффициентов является нецелесообразной тратой времени, так как существующий программный комплекс позволяет в считанные секунды определить результаты решения без различных упрощений и поправок.

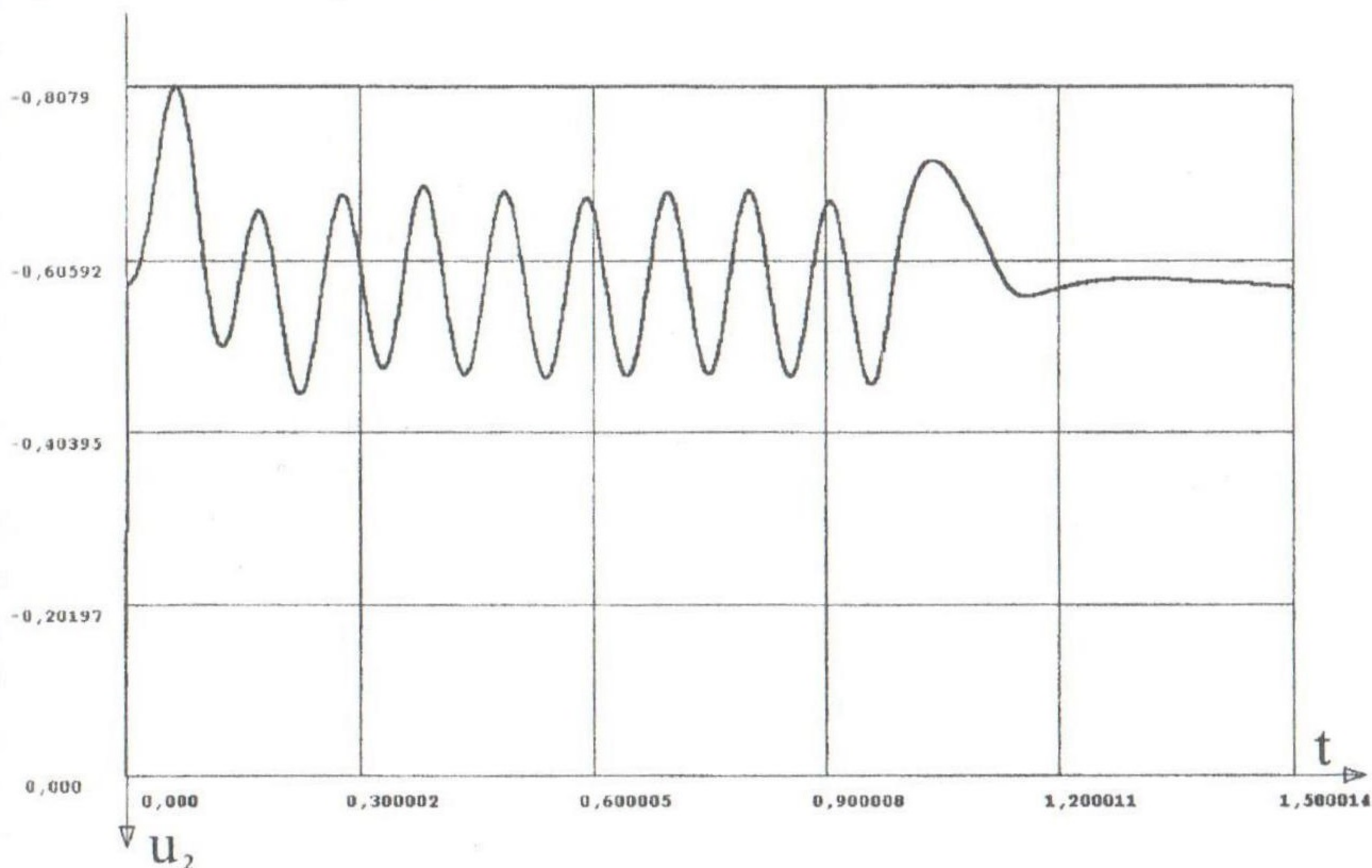


Рис. 5. Эпюра колебаний перемещений u_2 точки А от действия на лежащий штамп его собственного веса и гармонической нагрузки (в см)

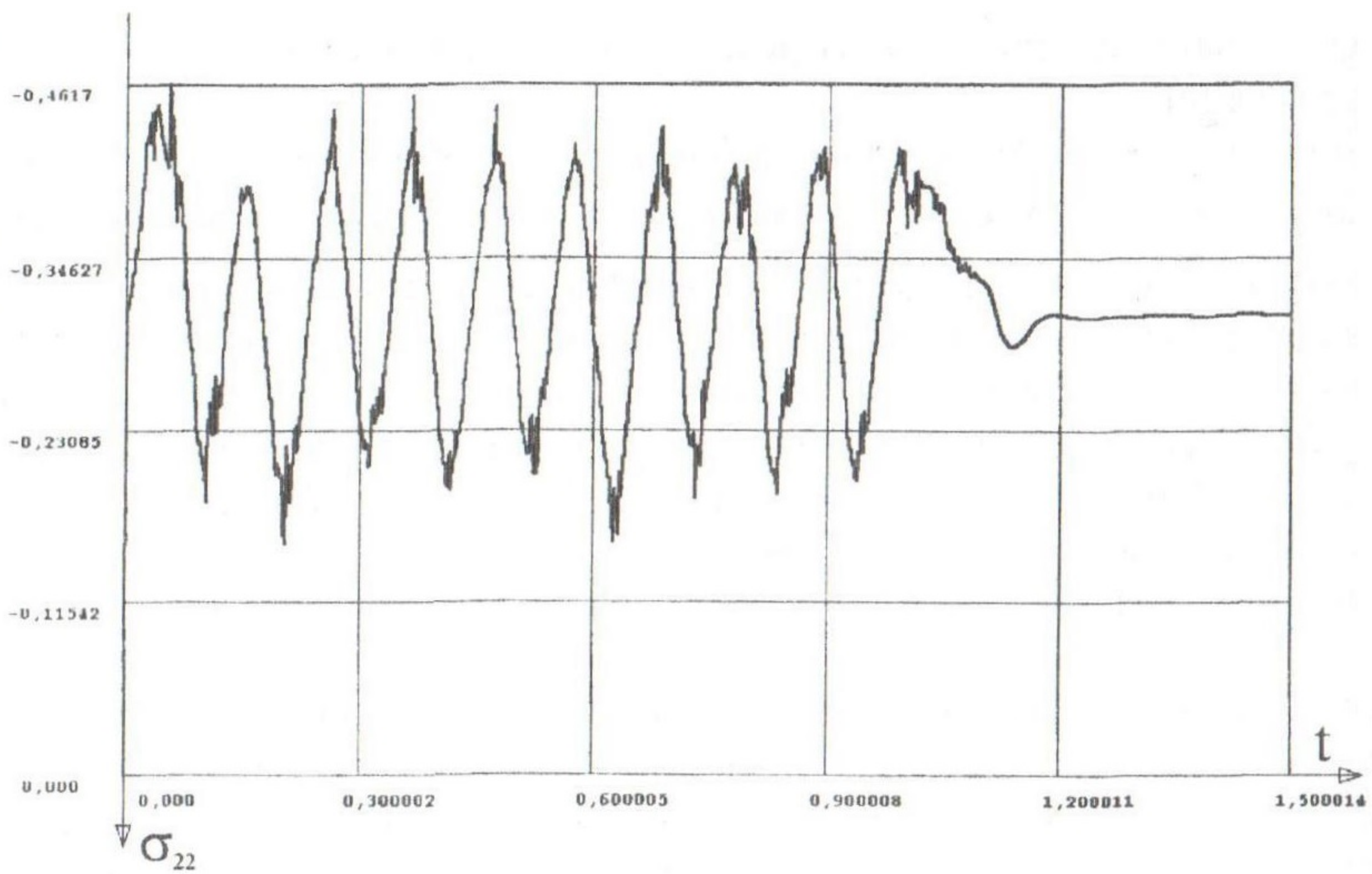


Рис. 6. Эпюра колебаний напряжений σ_{22} в точке А от действия на лежащий штамп его собственного веса и гармонической нагрузки (в 10 МПа)

Литература

1. Забылин М.М. Проблемы совершенствования динамических расчетов фундаментов под машины // Известия вузов. Строительство и архитектура, №10. 1990. – С. 35-40.
2. Гришин А.В., Дорофеев В.С. Нелинейная динамика конструкций, взаимодействующих с деформируемой средой. – Одесса: Астропринт, 2001. – 136с.
3. Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. – М.: Стройиздат, 1982. – 447с.