

РЕАКЦИЯ ПЛИТЫ, ЛЕЖАЩЕЙ НА ДЕФОРМИРУЕМОМ ОСНОВАНИИ, ОТ ДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСИВНОЙ НАГРУЗКИ

Гришин А. В. (Одесса)

Рассматривается совместный упругопластический расчет системы, состоящей из плиты и контактирующего с ней деформируемого основания, от действия импульсивной нагрузки. Исследуется влияние интервала времени приложения динамической нагрузки на напряженно-деформированное состояние системы.

В работе [1] приведены основные уравнения исследуемой задачи и рассмотрены примеры, когда мгновенно приложенная нагрузка действует на протяжении всего заданного промежутка времени колебания системы от 0 до T . Здесь же исследуется напряженно-деформированное состояние системы, когда действие импульса имеет конечный промежуток времени, который меньше времени ее колебания. Расчетная схема пока зане на рис 1.

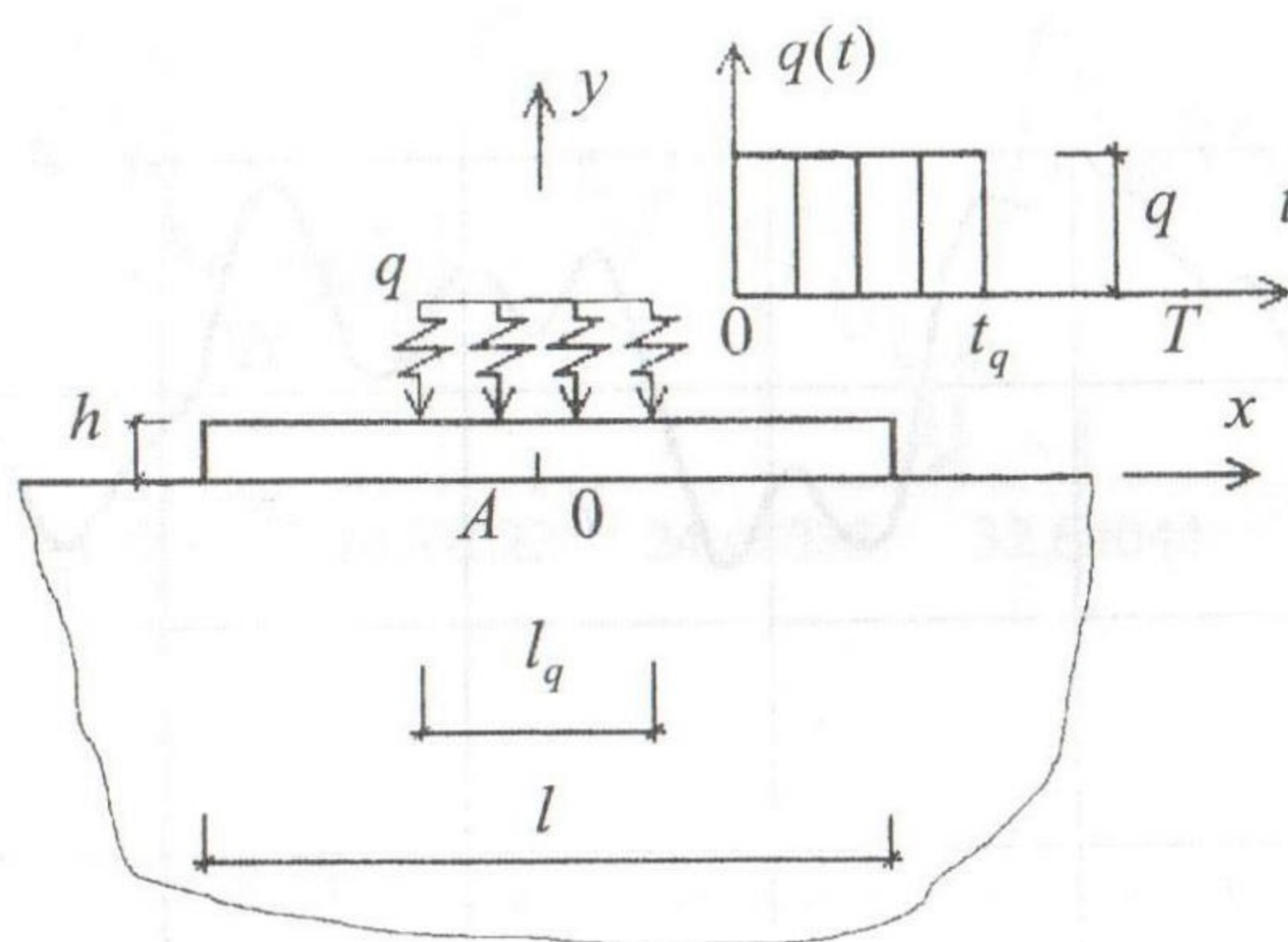


Рис.1. Расчетная схема

Как и в упругой задаче [2], реакция системы разделяется на две фазы: для интервала времени приложения нагрузки от 0 до t_q и сле-

дующего за ним интервала времени от t_q до T ее свободных колебаний, когда действующая нагрузка снята. Для решения поставленной задачи использовался метод прямого неявного интегрирования, реализованный по модифицированной схеме Ньюмарка [1]. Он является безусловно устойчивым, что позволяет увеличивать шаг временного интервала Δt и этим уменьшить время счета на заданном отрезке времени от 0 до T . Для дискретизации исходных уравнений использовались конечные, а для границ основания бесконечные изопараметрические элементы. В результате было получено для момента времени t следующее матричное уравнение

$$M \ddot{d} + C \dot{d} + K(d) = q, \quad (1)$$

где M – распределенная матрица масс;

C – матрица демпфирования системы, которая определяется по гипотезе Релея как

$$C = \alpha M + \beta K, \quad (2)$$

$K(d)$ – нелинейная матрица жесткости;

d, \dot{d}, \ddot{d} – соответственно вектора узловых перемещений, скоростей и ускорений.

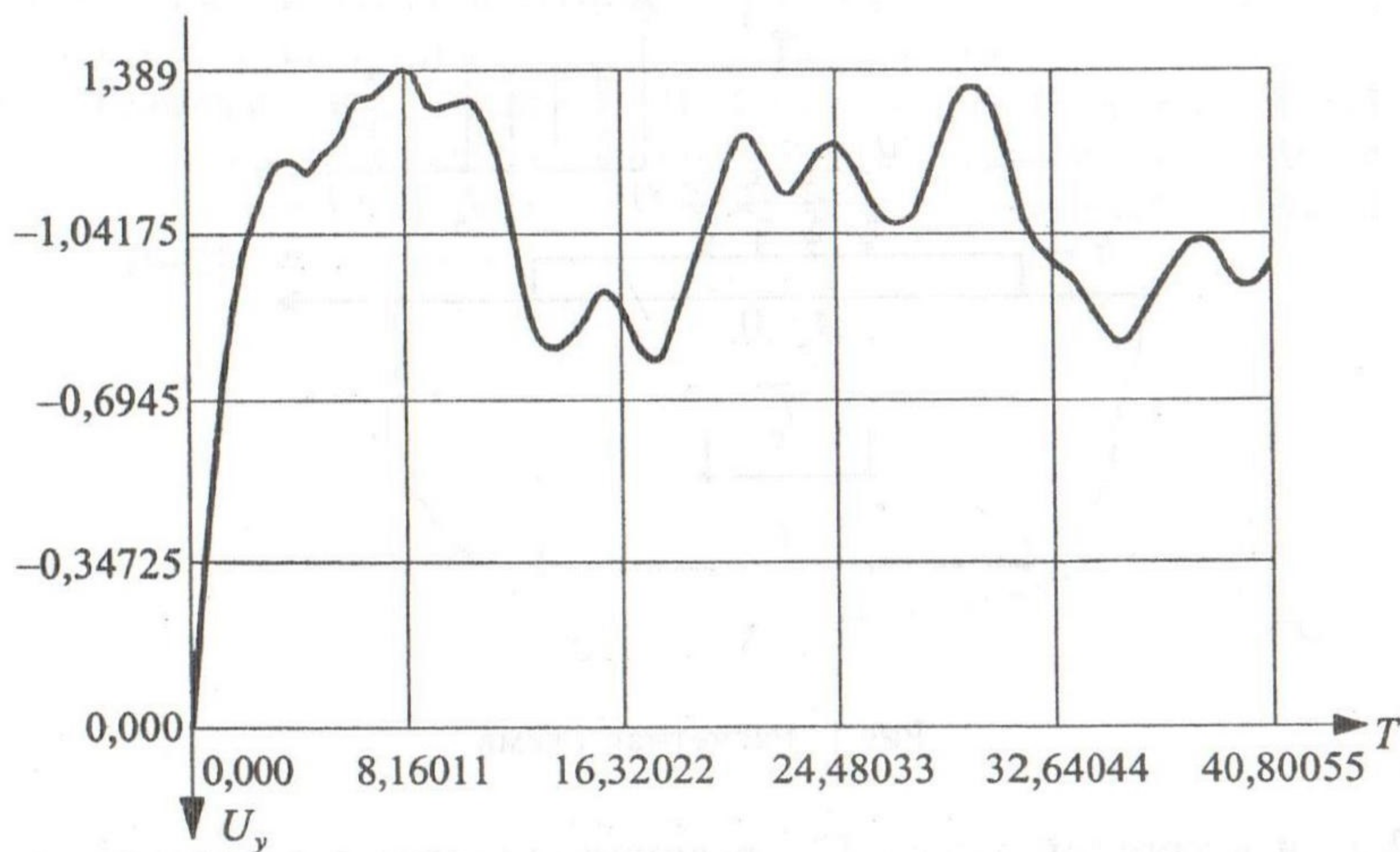


Рис. 2. Эпюра перемещений U_y точки А

При определении матрицы жесткости использовалась теория пластического течения с упрочнением, базирующая на принципе максимума Мизеса [3]. В качестве функций нагружения для плиты применялось условие Гениева [4], а для основания условие Кулона-Мора.

Алгоритм решения может быть реализован только с помощью ЭВМ. Для этого был разработан программный комплекс [1]. Рассмотрим его применения к системе, показанной на рис. 1. Пусть заданы: $h=50$ см, $l=400$ см, $l_q=100$ см. Материал плиты имеет следующие характеристики: $E_{\Pi}=30000$ МПа, $\mu=0,2$, $\sigma_p=1,7$ МПа, $\sigma_c=17$ МПа. Для основания: $E_o=40$ МПа, $\mu=0,3$, $c=0,03$ МПа, $\varphi=27^\circ$. На плиту действует прямоугольный импульс с интенсивностью $q=0,175$ МПа. Исследуемый промежуток времени равен $T=40,8$ сек, а временной шаг $\Delta t=0,04$ сек. Параметры метода Ньюмарка равны $\alpha=0,25$, $\delta=0,5$.

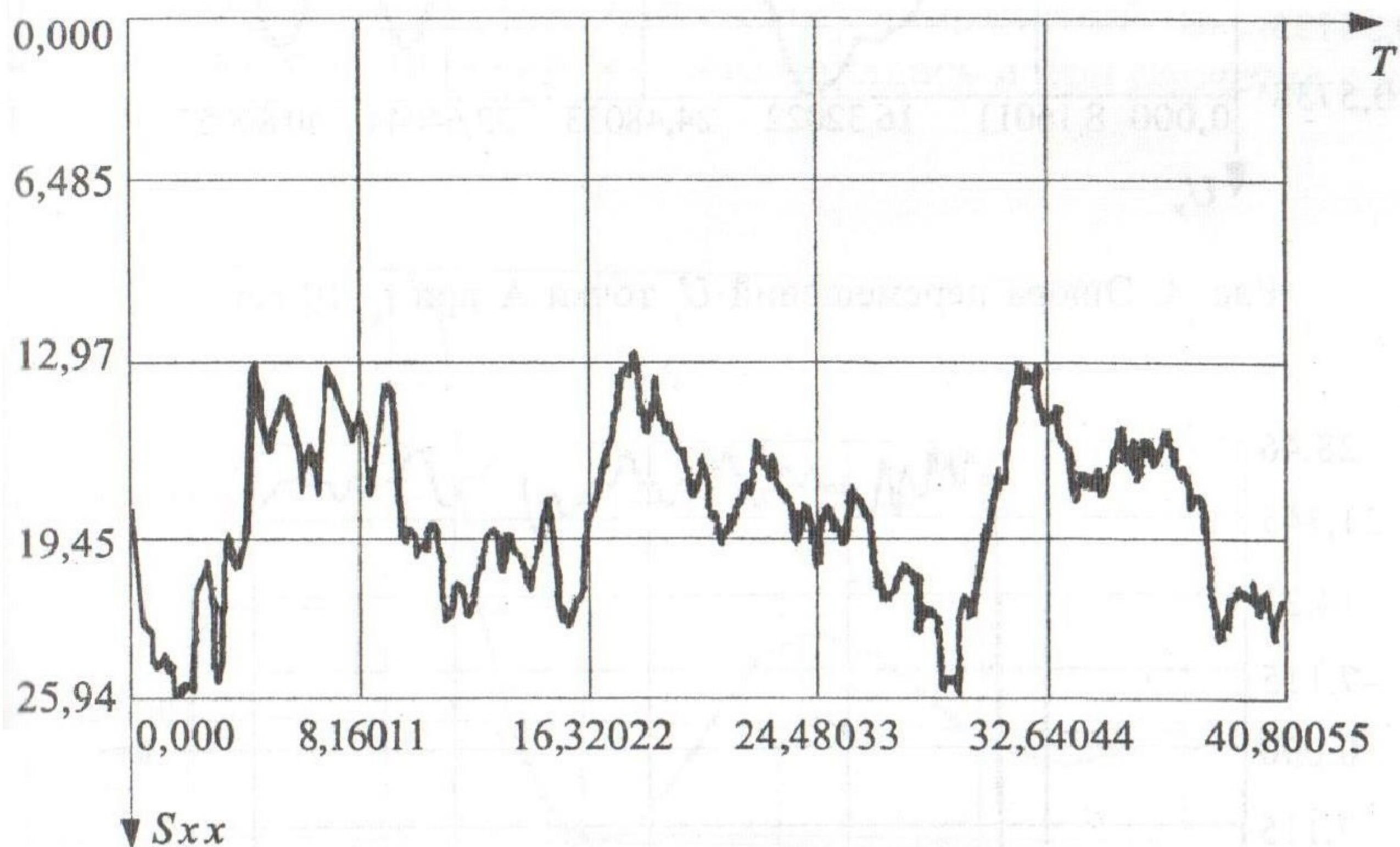


Рис. 3. Эпюра напряжений σ_x в точке А

Вначале рассмотрим случай, когда время действия импульса $t_q \geq T$. На рис. 2 изображена эпюра перемещений U_y , точки А, показанной на рис. 1. Наибольший ее прогиб – 1,389 см достигается не сразу после приложения нагрузки, а через 8,16 сек. Затем происходят

её колебания не относительно оси T , а около смещенной на $-1,04$ см параллельной ей линии. Был выполнен статический упругопластический расчет этой же задачи при действии нагрузки той же интенсивности. Прогиб точки А получился равный $U_y = -0,895$ см. Следовательно, при внезапном приложении нагрузки прогиб этой точки увеличился в 1,55 раза.

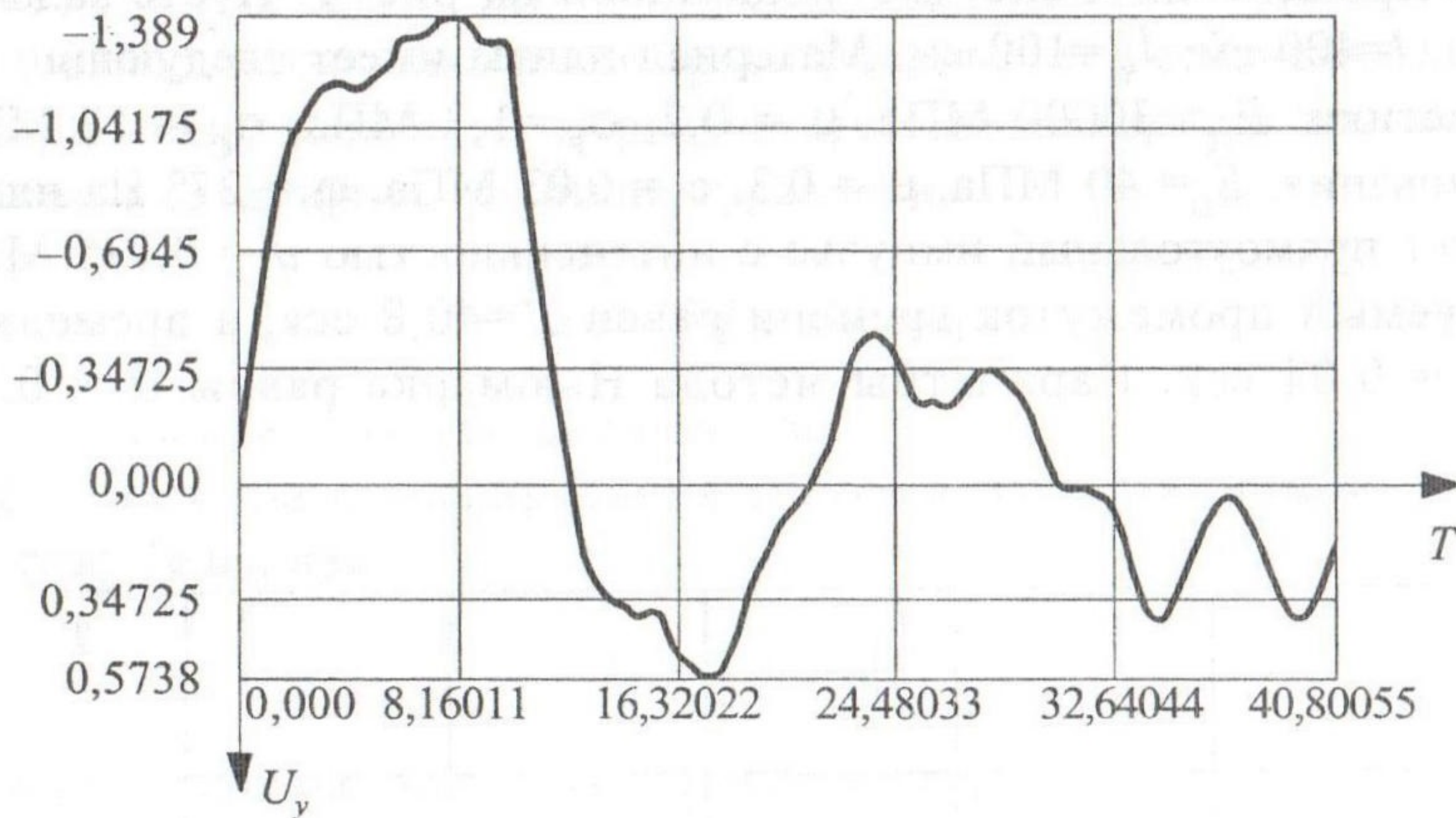


Рис. 4. Эпюра перемещений U_y точки А при $t_q=10$ сек

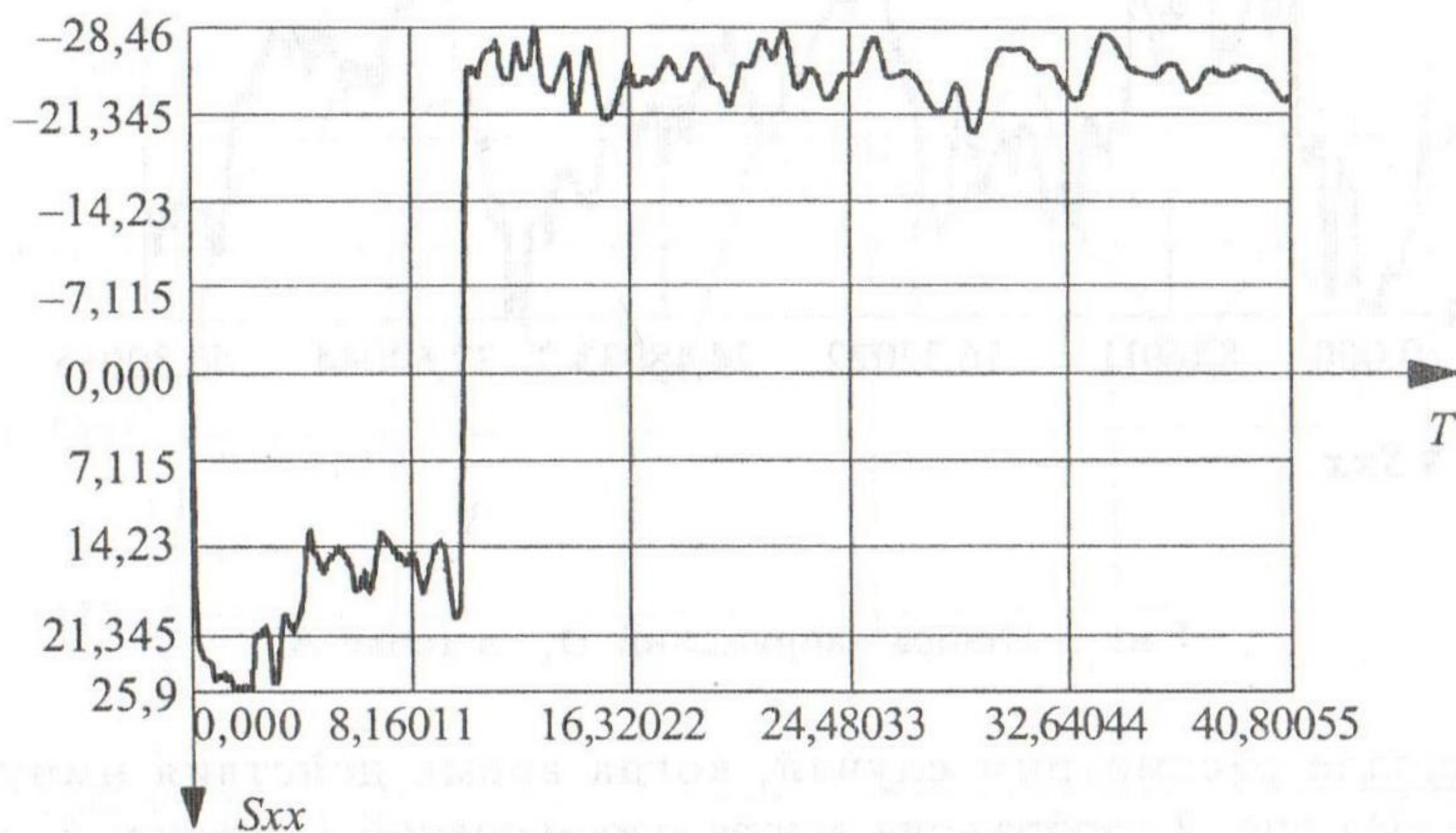


Рис. 5. Эпюра напряжений σ_x в точке А при $t_q=10$ сек

На рис. 3 показана эпюра напряжений σ_x (кг/см²) в точке А при $t_q > T$. Наибольшее напряжение возникает при $t=1,7$ сек, а затем происходит его колебание около линии параллельной оси T , но смещенной на 1,9 МПа. Следует отметить, что время возникновения наибольших прогибов и, и напряжений σ_x не совпадает. Происходит запаздывание наибольших прогибов на 6,46 сек. Колебания прогибов и напряжений относительно смещенных линий, а не относительно оси T вызвано тем, что действующая нагрузка остается приложенной к плите на протяжении всею времени от 0 до T .

Было решено несколько задач для моментов времени $0 < t_q < T$. Для $t_q=10$ сек на рис. 4 и 5 приведены эпюры перемещений U_y и напряжений σ_x в точке А. Как видно из рисунков, эти эпюры до $t_q=10$ сек такие же как и на предыдущих рис. 2 и 3. Затем происходит их резкий скачек. Далее для U_y наблюдаются колебания около оси T , а для σ_x около линии параллельной оси T , но отстоящей от нее на $\sigma_x = -2,5$ МПа. Произошло изменение растягивающих напряжений на сжимающие. Такая же качественная картина наблюдалась и при расчетах с другими значениями t_q .

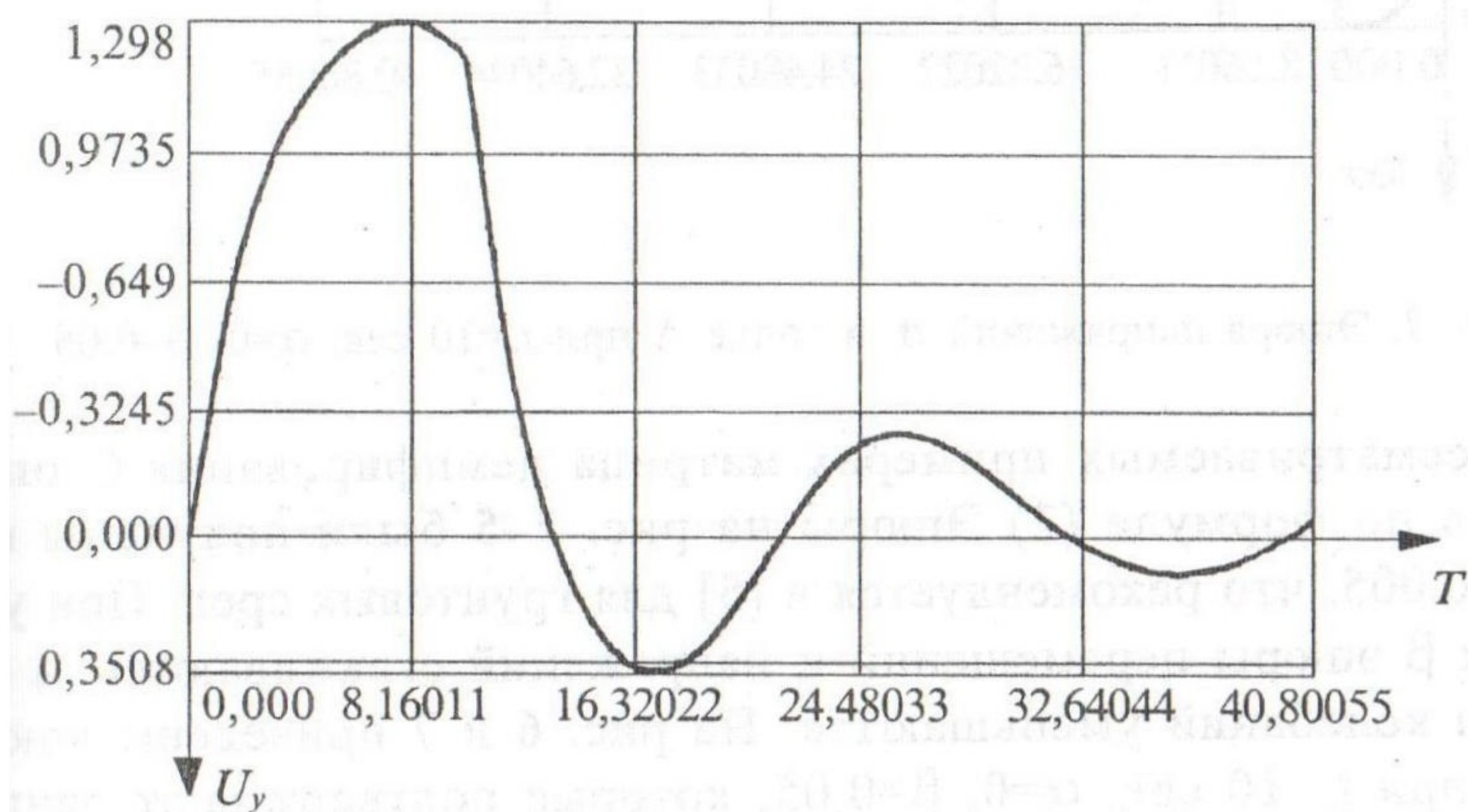


Рис. 6. Эпюра перемещений U_y точки А при $t_q=10$ сек, $\alpha=0$, $\beta=0,05$

Наибольшим интересом при решении задач на импульсные воздействия является определение максимальной реакции системы. Ана-

лиз полученных результатов показывает, что максимальные прогибы и максимальные напряжения возникают в промежутке времени от 0 до t_q . Но в этом интервале времени для любого t значения прогибов и напряжений равны. Следовательно, достаточно выполнить только один расчет для $t_q \geq T$ на действие заданной импульсной нагрузки, вывести на экран дисплея необходимые эпюры компонентов векторов перемещений и напряжений и определить их максимальные значения для интересующего интервала времени от 0 до t_q .

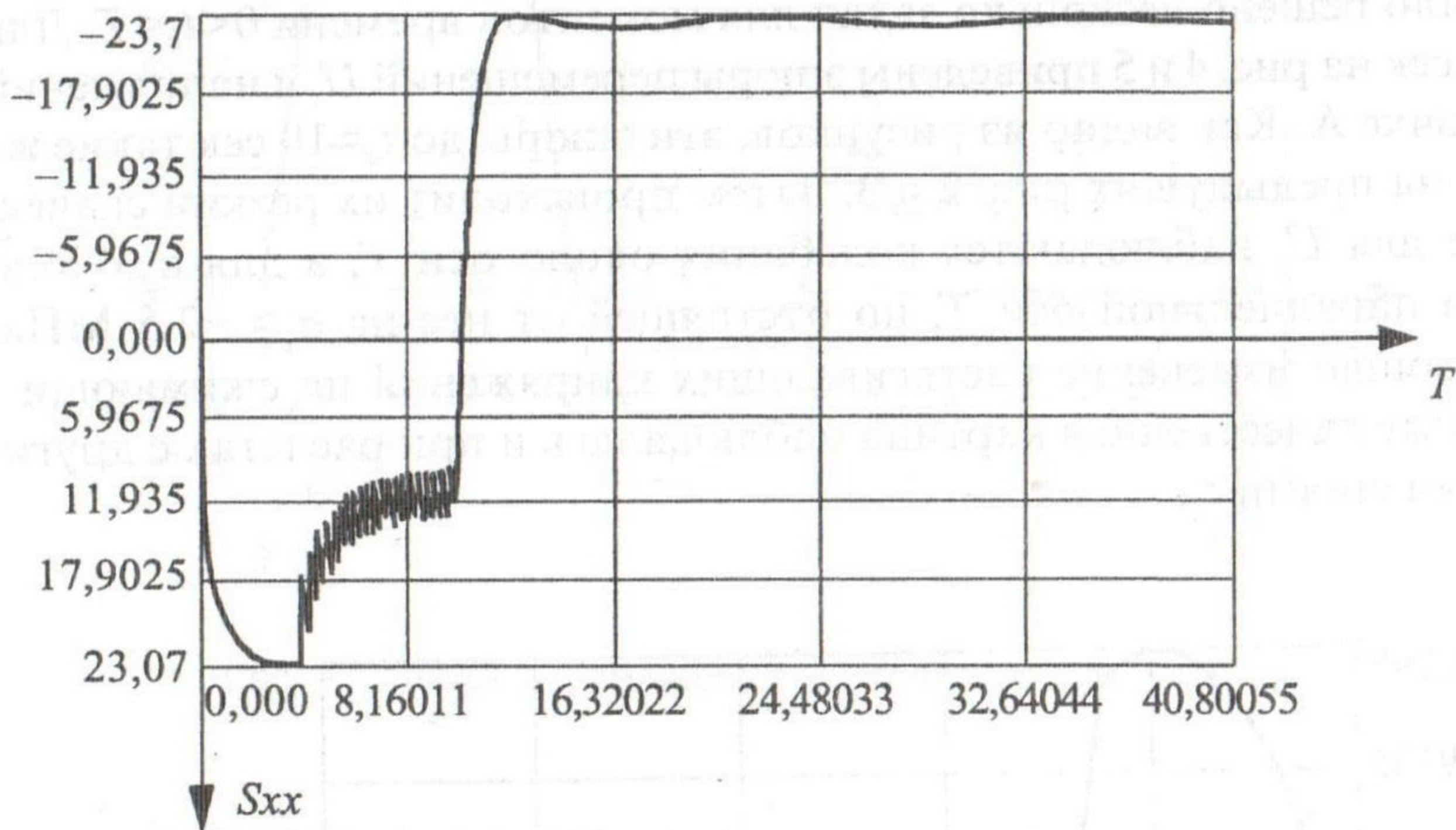


Рис. 7. Эпюра напряжений σ_x в точке А при $t_q=10$ сек, $\alpha=0$, $\beta=0,05$

В рассматриваемых примерах матрица демпфирования C определялась по формуле (2) Эпюры на рис. 2–5 были получены при $\alpha=0$, $\beta=0,005$, что рекомендуется в [5] для грунтовых сред. При увеличении β эпюры перемещений и напряжений сглаживаются, а амплитуды колебаний уменьшаются. На рис. 6 и 7 приведены эпюры U_y и σ_x при $t_q=10$ сек, $\alpha=0$, $\beta=0,05$, которые подтверждают данные свойства.

Литература

1. Гришин А. В. Удар по плите, лежащей на деформируемом основании с выемкой // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса, 2001. – Вип. 3. – С. 29-35.

2. Клаф Р., Пензиен Дж. Динамика сооружений. – М.: Стройиздат, 1979. – 320 с.

3. Ивлев Д. Д., Быковцев Г. И. Теория упрочняющегося пластического тела. – М.: Наука, 1971. – 231 с.

4. Гениев Г. А., Киссюк В. Н., Тюпин Г. А. Теория пластичности бетона и железобетона. – М.: Стройиздат, 1974. – 316 с.

5. Программное обеспечение исследований по механике грунтов и фундаментостроению. – М.: Стройиздат, 1991. – 527 с.