

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ПРЕЦЕССИРУЮЩЕГО ВИХРЕВОГО ЯДРА НА УСТОЙЧИВОСТЬ И ТЕПЛООБМЕН ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА

Зайцев О.Н., Мельникова Н.А. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Приведены результаты теоретических исследований поля скорости при взаимодействии встречных, смещенных закрученных газовых струй, показавшие нестабильность получаемой структуры вследствие воздействия прецессирующего вихревого ядра, а также определено оптимальное соотношение между величиной смещения и расстоянием между патрубками.

Определение устойчивости закрученного потока имеет определяющее значение для применения вихревых эффектов в различных отраслях промышленности.

В настоящее время по вопросу определения устойчивости гидро- и аэродинамических процессов имеется значительное количество фундаментальных работ [1, 2], однако оценка их устойчивости при наложении каких-либо возмущений выполнено на основе характеристических уравнений, получение и исследование которых с помощью теории бифуркаций представляет зачастую сложно разрешимую задачу или требует необоснованных упрощений.

Известные критерии устойчивости закрученных потоков определяют пределы разрушения структуры как появление области с низким давлением в центральной части закрученного потока и возникновение прецессирующего вихревого ядра [1, 2]. То есть данные критерии не позволяют выполнить оценку устойчивости закрученного потока при существовании возвратных течений.

Для выявления условий устойчивости закрученных потоков при существовании прецессирующего вихревого ядра использован способ расчета нестационарных периодических течений, приведенный в [2]. При этом использовано допущение, что, основной поток является стационарным, а его движение происходит по закону свободного вращения газа. Дополнительно на поток налагаются нестационарные колебания вихревого ядра.

Основываясь на предположении, что основное влияние на устойчивость закрученного потока оказывается прецессирующим вихревым ядром, решение поставленной задачи возможно при минимизации амплитуды колебаний последнего, для чего рассмотрим амплитуду колебаний скорости как функцию от осциллирующей составляющей u_1 , представленную в виде [2]:

$$A = U_1 \cdot \frac{\partial u_1}{\partial x} \quad (1)$$

Используя данные, полученные в [3] и, с учетом указанных ранее допущений и граничных условий была получена зависимость амплитуды колебаний скорости от пульсаций вихревого ядра:

$$A = \Omega^2 x (1 + L) \left(\sin(nt) - e^{-\frac{y}{\delta}} \sin\left(nt - \frac{y}{\delta} \right) \right) \left(\sin(nt) - e^{-\frac{y}{\delta}} \sin\left(nt - \frac{y}{\delta} \right) \right) \left(1 + L - \frac{x^2 L}{2\nu t} \right) \quad (2)$$

где
$$L = e^{-x^2 / 4\nu t} \quad (3)$$

Анализ полученной зависимости (2) показал, что амплитуда колебаний будет равна нулю при выполнении одного из следующих условий:

$$1) \quad 1 + L = 0 \quad (4)$$

$$2) \quad \sin(nt) - e^{-\frac{y}{\delta}} \sin\left(nt - \frac{y}{\delta} \right) = 0 \quad (5)$$

$$3) \quad 1 + L - \frac{x^2 L}{2\nu t} = 0 \quad (6)$$

Очевидно, что первое условие стабилизируется и в пределе равно единице (при неограниченном увеличении времени).

Второе условие будет определять изменения гармонических колебаний скорости с течением времени, при этом большое влияние на характер колебаний оказывает волновое число n .

Третье условие также стабилизируется с течением времени и стремиться в пределе к единице.

Полученные результаты моделирования амплитуды скорости в закрученном потоке в случае развитой зоны обратных токов представлены в виде зависимостей амплитуды и полученных

критериев от координат (рисунки 1 — 3), от частоты колебаний вихревого ядра (рис.4), от времени (рис.5).

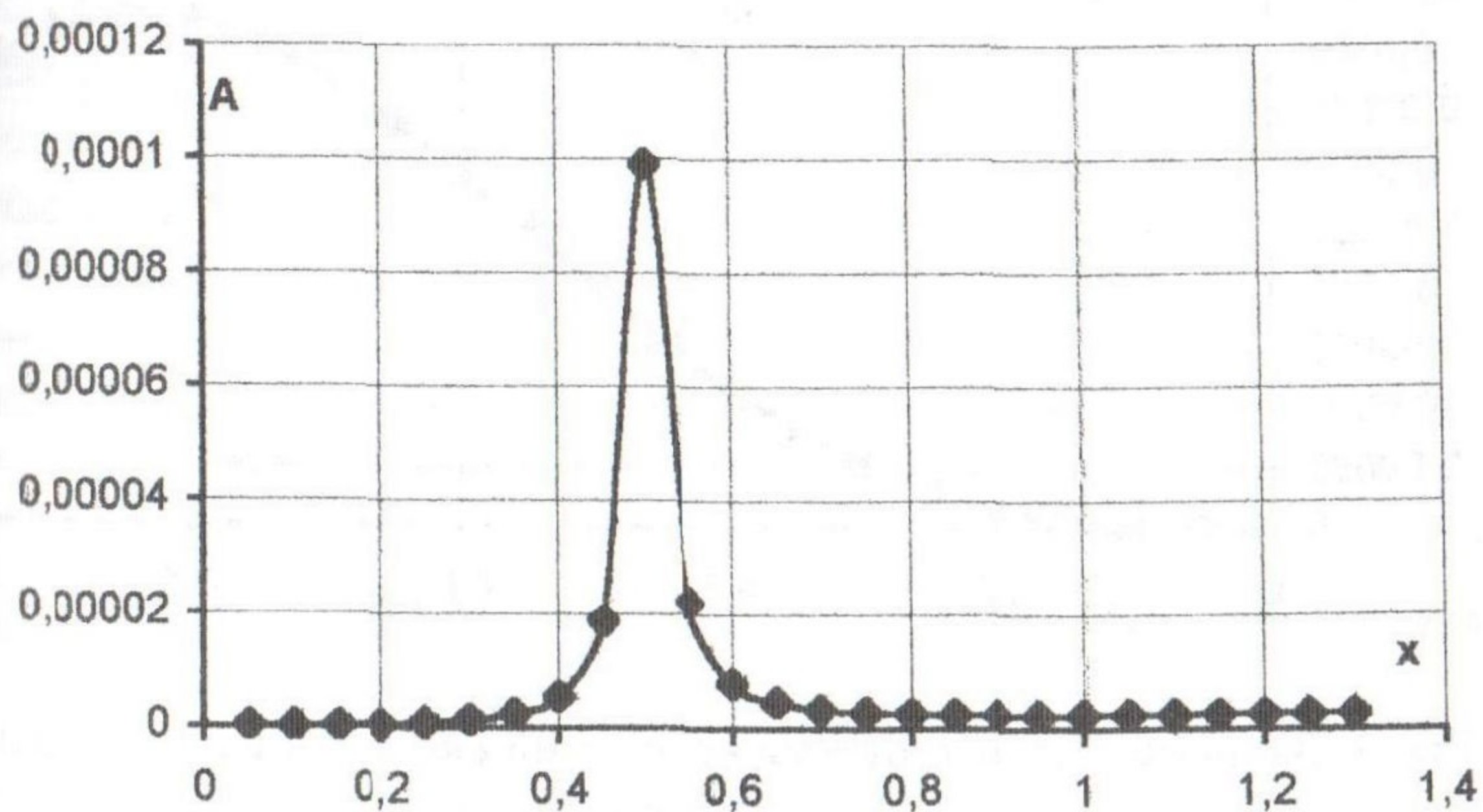


Рис.1. Зависимость амплитуды колебаний скорости в закрученном потоке от координаты X

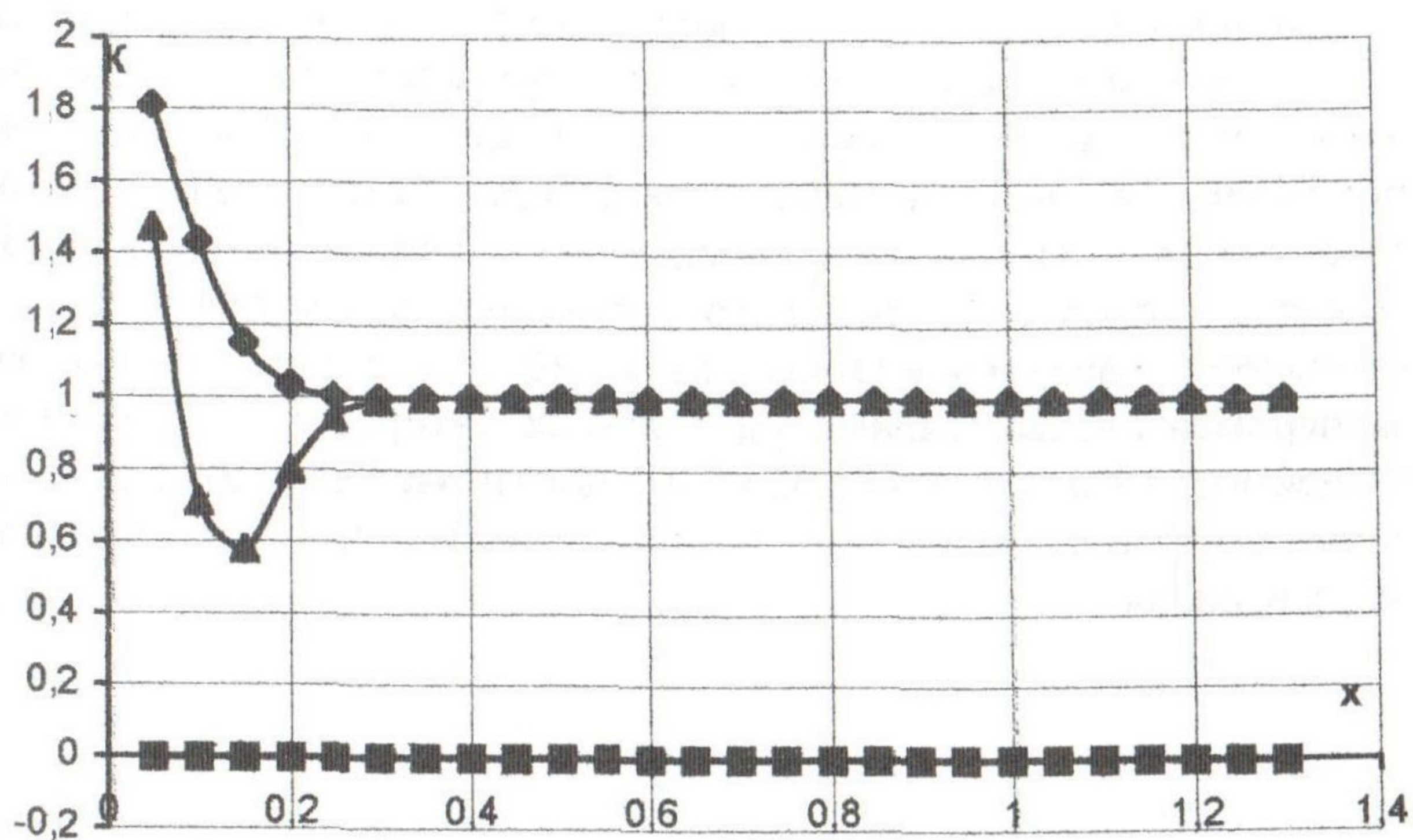


Рис.2. Зависимость критериев от координаты X :

- ◇ — первый критерий;
- — второй критерий;
- △ — третий критерий

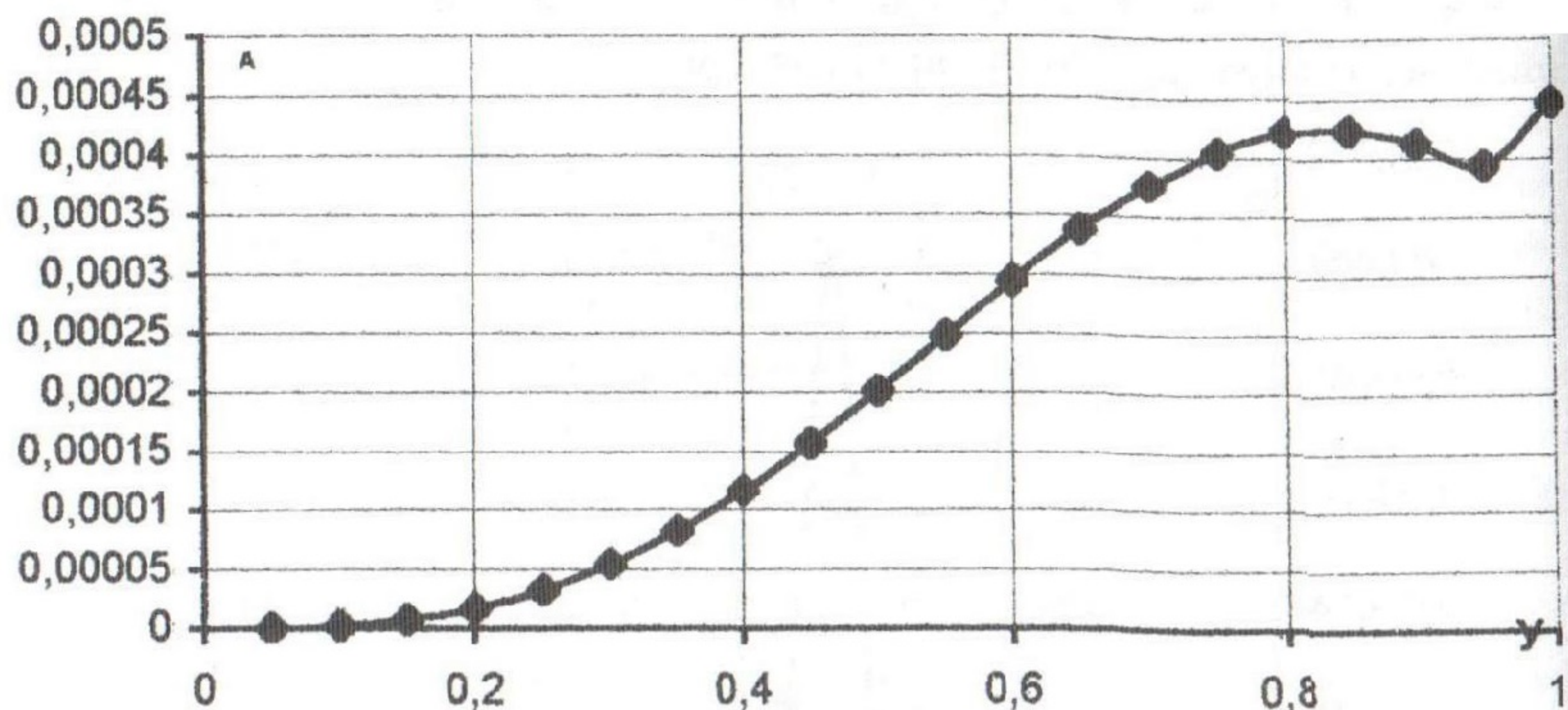


Рис. 3. Зависимость амплитуды колебаний скорости в закрученном потоке от координаты Y

Рассматривая изменение амплитуды колебаний скорости закрученного потока и критериев (1 — 3) в зависимости от координат необходимо отметить, что в поперечном направлении наблюдается достижение максимума амплитуды в области расположения вихревого ядра, что свидетельствует о ограничении распространения поперечных волн, создаваемых прецессирующим вихревым ядром. В тоже время в продольном направлении, начиная от границы зоны обратных токов и до внешнего пограничного закрученного потока происходит увеличение амплитуды колебаний скорости, подтверждая экспериментальные данные ряда других авторов [1]. Рассмотрение зависимости критериев от координат показывает их стабилизацию вне зоны обратных токов как в продольном, так и в поперечном направлениях.

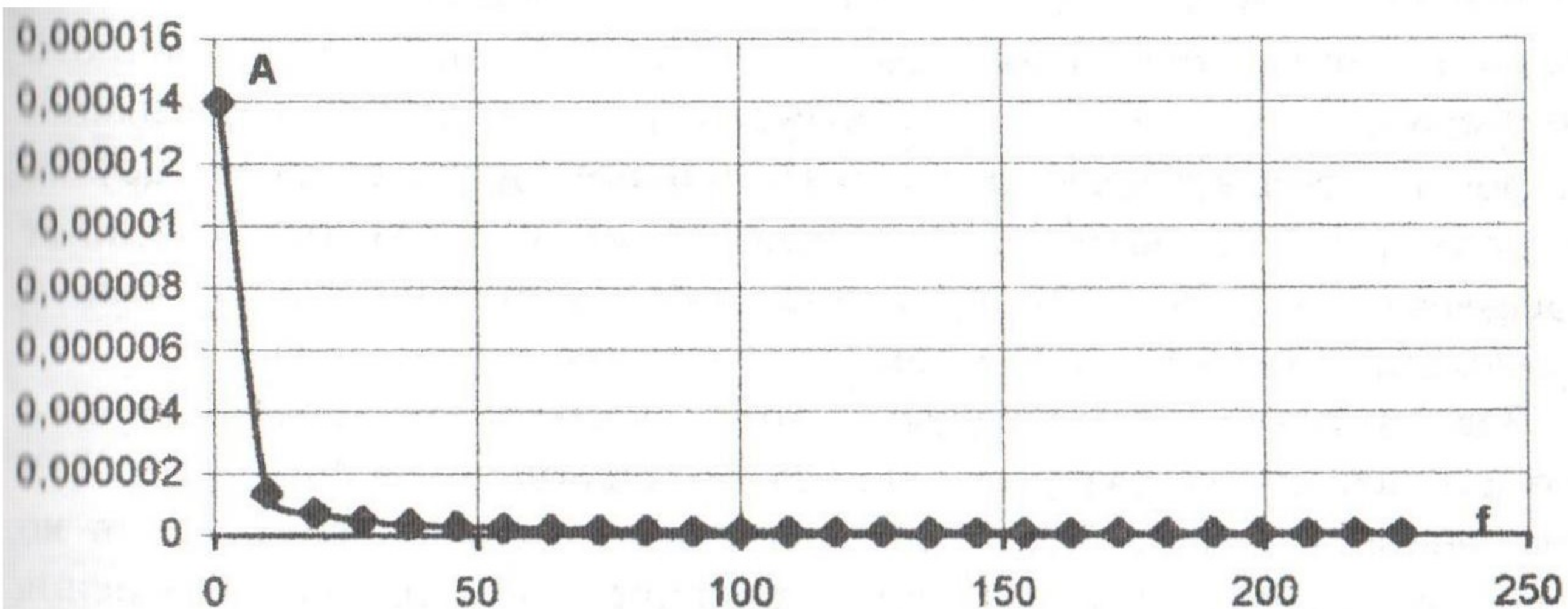


Рис.4. Зависимость амплитуды колебаний скорости в закрученном потоке от частоты колебаний вихревого ядра

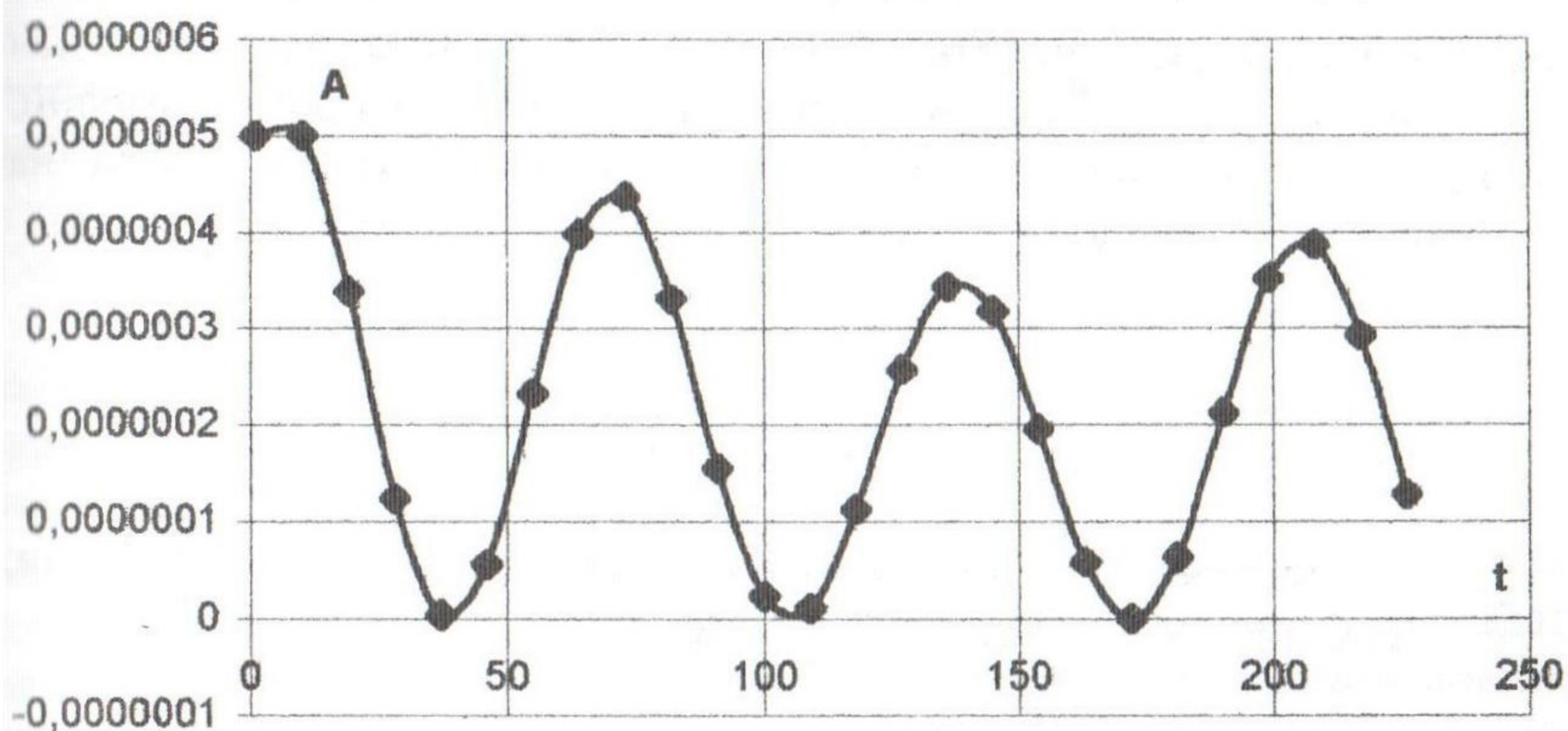


Рис.5. Зависимость амплитуды колебаний скорости в закрученном потоке от времени.

Таким образом, рассмотрение амплитуды колебаний скорости закрученного потока и полученных в результате теоретических исследований комплексов показало, что в поперечном направлении наблюдается достижение максимума амплитуды в области расположения вихревого ядра, что свидетельствует об ограничении распространения поперечных волн, создаваемых прецессирующим

вихревым ядром. В тоже время в продольном направлении, начиная от границы зоны обратных токов и до внешнего пограничного закрученного потока происходит увеличение амплитуды колебаний скорости, подтверждая экспериментальные данные ряда других авторов [1]. Рассмотрение зависимости комплексов от координат показывает их стабилизацию вне зоны обратных токов как в продольном, так и в поперечном направлениях.

Зависимость амплитуды от времени характеризуется гармоническим характером, при этом период колебаний скорости закрученного потока равен 60 с. Анализ изменения комплексов во времени показал, что основное влияние на характер изменения амплитуды оказывает второй, а остальные оказывают сглаживающее влияние.

Сравнение зависимости осциллирующей скорости вихревого ядра от волнового числа и характера изменения второго комплекса показало их тождественность, а учитывая, что на характер амплитуды колебаний основное влияние оказывает именно второй критерий, можно констатировать значительное влияние вихревого ядра на устойчивость закрученного потока с развитой зоной обратных токов.

Литература

1. Закрученные потоки: Пер. с англ. / А. Гупта, Д.Лилли, Н.Сайред,-М.: Мир, 1987,—588с.
2. Штихлинг Г. Теория пограничного слоя.-М.: Наука, 1974,—711 с.
3. Зайцев О.Н. Управление аэродинамической обстановкой в рабочем объеме теплогенерирующих установок.// Вісник ОДАБА №7, 2002, с. 60—64.