

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОКОЛЕБАНИЙ УПРУГОГО СТЕРЖНЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

С.В. Погудалина¹, Н.Н. Федорова^{1,2}

¹*Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича,
630090, Новосибирск, Россия*

²*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет,
(Сибстрин), Новосибирск, Россия*

При проектировании протяженных или высотных строительных сооружений, элементов летательных аппаратов необходимо учитывать их динамическое взаимодействие с внешним воздушным потоком. Явление аэроупругости изучается на протяжении многих лет как теоретическими, так и экспериментальными методами. В последние годы для исследования активно привлекаются методы компьютерного моделирования, которые позволяют получить детальную картину процесса и разработать способы предотвращения разрушения конструкций.

В работе представлены результаты моделирования возбуждения упругих колебаний закрепленного на подложке стержня при обтекании стационарным воздушным потоком.

В предыдущих работах [1, 2] проанализирована структура и описаны особенности вихревого течения воздуха в окрестности модели. Определено напряженно-деформированное состояние, получены собственные частоты и формы колебаний стержня. Показано, что покоящийся стержень под воздействием набегающего потока начинает совершать колебания в направлении потока. Частота колебаний совпадает с первой собственной частотой закрепленного на подложке стержня, амплитуда колебаний быстро затухает. В дальнейшем под действием периодической нагрузки, обусловленной формирующейся за стержнем вихревой дорожкой Кармана, развиваются колебания в поперечном направлении. При совпадении частоты срыва вихрей с одной из собственных частот конструкции может возникнуть резонанс. Целью настоящей работы является численное исследование режимов возбуждения поперечных колебаний, в том числе близких к резонансным. Расчеты выполнены при различных скоростях набегающего потока, геометрических параметрах и свойствах материала стержня.

Исходная геометрия (рис.1) представляет собой пространственный канал, внутри которого на подложке жестко закреплен стержень. Стрелкой показано направление набегающего потока.

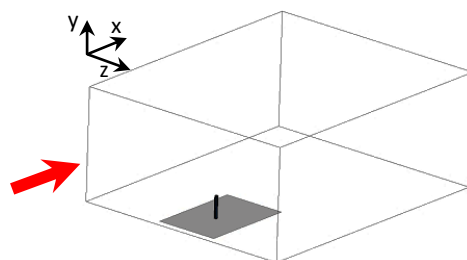


Рис. 1. Расчетная область задачи

Моделирование проведено в среде ANSYS Workbench с использованием технологии двунаправленного взаимодействия (2-FSI). Движение воздушной среды описывается на основе 3D нестационарных осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса, допол-

ненных уравнениями $k-\omega$ модели турбулентности, а движение стержня – нестационарными уравнениями МДТТ с учетом геометрической нелинейности.

В гидродинамическом расчете в качестве граничного условия на поверхности стержня используется скорость движения поверхности, полученная из деформационного расчета, а в деформационный расчет из гидродинамического на каждом шаге по времени передается статическое давление. На стенках модели и на подложке принято условие прилипания. На границе упругого стержня и воздуха выполняются условия равенства потоков массы и количества движения. На верхней и боковых границах расчетной области выполняется условие симметрии, обеспечивающее отсутствие потока через эти границы.

Условия расчетов и параметры модели показаны в Таблице. В зависимости от задачи менялась плотность материала, скорость набегающего потока, высота стержня и поперечное сечение (квадратное 0.03×0.03 м / прямоугольное 0.03×0.06 м).

Таблица. Параметры рассчитанных задач

№	Скорость потока, м/с	Высота стержня, м	Сечение стержня	Плотность материала стержня, кг/м ³	Первая собственная частота, Гц	Частота срыва вихрей, Гц
1	5	0.28	квадратное	40	34.5	14.1
2	5	0.28	прямоугольное	40	69	11.8
3	5	0.4	квадратное	59	14.1	13.9
4	10	0.28	квадратное	40	37.5	34.5

На рис. 2 представлена пространственная структура течения для задач 1 и 2. За стержнем квадратного (рис. 2,а) и прямоугольного (рис. 2,б) сечения образуется вихревая дорожка Кармана. Частота срыва вихрей за стержнем прямоугольного сечения ниже, что подтверждают также данные Таблицы.

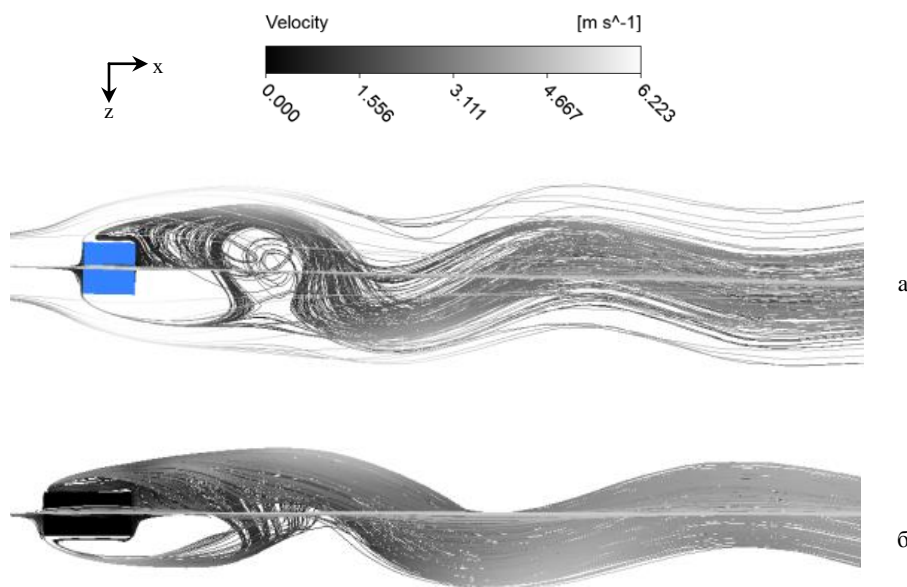


Рис.2. Линии тока в окрестности стержня квадратного (а) и прямоугольного (б) сечения

Рисунок 3 представляет зависимость от времени амплитуд максимального отклонения стержня в направлении основного потока (а) и в поперечном направлении (б) для задачи 4. Как и в других задачах, амплитуда продольных колебаний с частотой $f_x = 37.5$ Гц быстро затухает, однако под действием периодической силы, вызванной сходом вихрей, возбуждаются поперечные колебания с частотой $f_z = 34.5$ Гц. Поскольку частота срыва вихрей близка к первой собственной частоте конструкции, наблюдается быстрый рост амплитуды поперечных колебаний, которая достигает значений 4.5 мм. Амплитуда поперечных колебаний не возрастает бесконечно, так как при сильных деформациях происходит изменение спектра собственных частот, и система выходит из резонансного режима и амплитуда колебаний убывает до значений 2.5 мм. Далее опять наблюдается рост амплитуды, т.е. можно говорить об установлении автоколебательного режима, частота которого близка к 1 Гц.

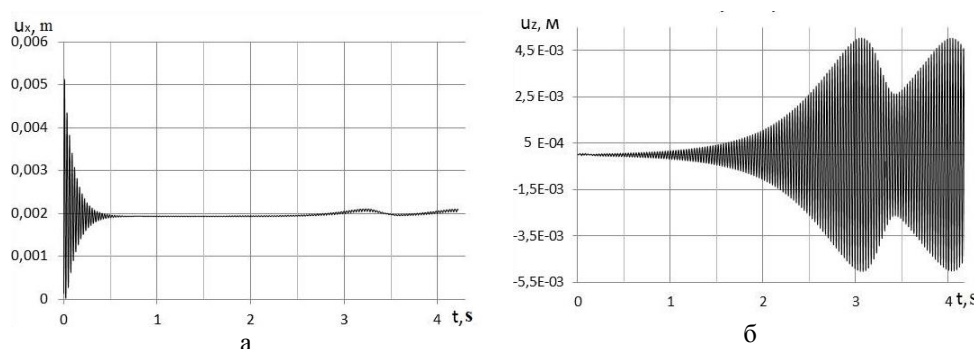


Рис. 3. Амплитуда продольных (а) и поперечных (б) колебаний стержня для задачи 4

Работа выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант №15-07-06581-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **С.В. Погудалина, Н.Н. Федорова, С.А. Вальгер**, Сопряженный расчет взаимодействия воздушного потока с упругим стержнем квадратного сечения, закрепленного на подложке/ Известия высших учебных заведений. Строительство, №5 (689), С. 11-20, (2016).
2. **Pogudalina S.V., Fedorova N.N., Valger S.A.** Coupled Calculation of the Airflow Interaction with Elastic Rod of Square Cross Section // 18th International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR2016): AIP Conference Proceedings. -Vol.1770. -S.I., 2016. -P. 030081