

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

УДК 532.5.013.4, 532.526.4

DOI: 10.17223/00213411/62/6/57

С.Г. ГЕСТРИН, Е.В. СТАРАВОЙТОВА

РЕЗОНАНСНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА С ИЗГИБНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ КОНЕЧНОЙ УПРУГОЙ ПЛАСТИНЫ

Изучено резонансное взаимодействие упругой пластины с обтекающим ее воздушным потоком, приводящее к развитию ветровой неустойчивости. Получено и исследовано дисперсионное уравнение изгибных колебаний. Найдены условия усиления и непропускания изгибных волн. Для имеющей конечные размеры и шарнирно опирающейся по краям пластины, находящейся в обтекающем ее воздушном потоке, определен спектр комплексных собственных частот колебаний. Получены оценки основных параметров ветровой неустойчивости.

Ключевые слова: ветровая неустойчивость, плазменно-гидродинамическая аналогия, упругая пластина, сдвиговое течение, пограничный слой.

Введение

Изучению взаимодействия упругой пластины с обтекающим ее дозвуковым или сверхзвуковым потоком газа, плазмы или жидкости посвящено большое количество работ [1–7]. Интерес к этому вопросу связан с проблемой панельного флаттера в аэродинамике летательных аппаратов, а также с некоторыми проблемами строительной механики и гидромеханики. Так, в работе [1] исследуется устойчивость бесконечной упругой пластины в сверхзвуковом потоке газа при наличии пограничного слоя, который образуется на поверхности пластины. Изучено влияние вязких и температурных возмущений пограничного слоя при больших, но конечных числах Рейнольдса на поведение бегущих волн. В [2] рассматривается вывод уравнения колебаний пластины, находящейся в ламинарном потоке. Форма характерных колебаний представлена в виде дуги окружности с изменяющейся кривизной. Работа [3] посвящена построению и исследованию математической модели автоколебаний аэродинамического профиля в потоке среды. Предложена программа, позволяющая проводить численные исследования устойчивости состояния покоя для исследуемой модели.

При проведении теоретических расчетов авторы обычно рассматривают бесконечную пластину, обтекаемую однородным воздушным потоком [4]. Лишь в работах [1, 5, 6] предполагается, что вблизи поверхности бесконечной пластины формируется пограничный слой, а следовательно, течение носит сдвиговый характер. Колебания пластин, имеющих конечные размеры, ввиду существенной сложности данной задачи изучаются в основном численными методами [7].

В настоящей работе впервые построена и изучена математическая модель ветровой неустойчивости (ВН) изгибных колебаний конечной упругой пластины, находящейся в сдвиговом воздушном потоке. ВН возникает вследствие резонанса между изгибной волной и резонансным слоем в потоке z_c , где его скорость совпадает с фазовой скоростью волны $U(z_c) = \omega/k$ [5, 6]. Как будет показано ниже, существует глубокая аналогия между ВН и резонансным взаимодействием волн и частиц в плазме, содержащей электронный пучок. В работе также получено и исследовано дисперсионное уравнение для шарнирно опирающейся по краям пластины, находящейся в обтекающем ее воздушном потоке. Целью работы является определение спектра комплексных собственных частот колебаний пластины. Наличие хотя бы у одной собственной частоты положительной мнимой части означает неустойчивость состояния покоя пластины в потоке. Получены оценки основных параметров ВН.

1. Постановка задачи

Предположим, что имеющая толщину h и ширину L пластина расположена перпендикулярно к оси Z , размеры вдоль оси Y не ограничены (рис. 1). В невозмущенном состоянии поверхность пластины совпадает с плоскостями $z = \pm h/2$. Уравнение, описывающее вынужденные колебания

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>