

Башта О.Т., канд. техн. наук
 Джурик О.В.,
 Романенко В.Г., канд. техн. наук,
 Волоха М.П., канд. техн. наук,
 Национальный авиационный университет (г. Киев)

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИИ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ КАВИТАЦИИ В ЖИДКОСТИ, НАХОДЯЩИЙСЯ В СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Рассмотрены условия возникновения разрыва сплошности жидкости, находящейся в открытом сосуде, на который воздействует вибрация.

Cavitations calculations method of incoming main-lines volumetrical pumps of variable feed, which allows to determine the beginning of cavitations at different work regimes and to optimize geometrical parameters of incoming

Введение. Функционирование машин и механизмов часто сопровождается вибрацией. В большинстве случаев в объектах вибрация возникает вследствие наличия подвижных частей или же возмущающего воздействия внешней среды. Например, основными источниками вибрации на самолетах являются авиадвигатели, винты, компрессоры, турбины, турбулентная атмосфера и другие. В жидкостных системах источниками вибрации являются не только агрегаты различного функционального назначения, но и процессы, которые возникают в ходе их работы: кавитация, выделение воздуха в рабочих жидкостях, волновые явления в трубопроводах и смена режимов работы. Наличие возникающей по тем или иным причинам вибрации в технических объектах нежелательно, так как она является источником шума, уменьшает их ресурс, ухудшая при этом многие физические показатели. Однако, несмотря на вышесказанное, вибрацию целенаправленно используют в различных технологических процессах и устройствах [2]: с целью усиления теплообмена, жидкость, предназначенную для охлаждения, подвергают вибрации, например, при закалке металлов; для интенсификации процессов очистки и распыления жидкостей используют вибрационные эффекты; вибрацию также используют для смешивания различных сред.

Постановка задачи. Функциональные жидкостные системы воздушных судов претерпевают достаточно большие вибрационные нагрузки. Об этом свидетельствуют значения параметров вибрации в зонах ее локализации на само летах [3]: частота может достигать 500 Гц и более, амплитуда до 1 мм, значения перегрузок, которые может создавать вибрация достигает 40 g. Такие условия работы негативно влияют не только на самолетное оборудование функциональных систем, но и на служебные свойства рабочих жидкостей, так как в них вибрация инициирует разрывы колебаний давления, кавитацию, выделе-

ния воздуха. В связи с этим возникла необходимость установить при каких значениях параметров вибрации для вышеуказанных диапазонов в сосуде с жидкостью возникает кавитация.

Цель работы. Определить теоретически и экспериментально условия возникновения разрыва сплошности жидкости, находящейся в цилиндрическом сосуде, на который воздействует вибрация.

Теоретическое определение условия возникновения разрыва сплошности жидкости при вибрации. Рассмотрим схему, в которой колба с жидкостью установлена вертикально на столе вибростенда (рис. 1).

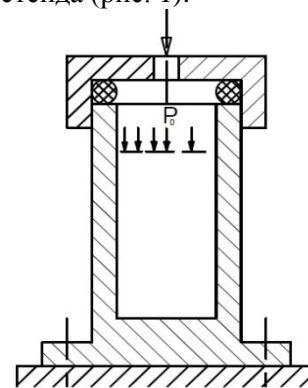


Рис. 1. Экспериментальный сосуд

Давление в сечении столба, расположенном на расстоянии $h_{\text{о.а.е}}$ от поверхности, определяется зависимостью:

$$p_{\text{о.а.е}} = p_0 + \rho g h_{\text{о.а.е}} \pm \frac{Im}{S} = p_0 + \rho g h_{\text{о.а.е}} \pm \alpha \omega^2 \sin \omega t \rho h_{\text{о.а.е}}, \quad (1)$$

где p_0 – давление над поверхностью жидкости в емкости; ρ – плотность жидкости; $I = \pm \alpha \omega^2 \sin \omega t$ – ускорение емкости; m – масса столба жидкости высотой $h_{\text{о.а.е}}$; S – площадь поперечного сечения сосуда.

Разрыв сплошности жидкой среды при вибрации произойдет при условии понижения дав-

ление в какой-либо точке ее объема до величины близкой к давлению упругости паров жидкости $p_{i.i}$, т.е. при условии:

$$p_{\text{д\ddot{a}e}} \approx p_{\text{e\ddot{a}a}} \quad , \quad p_{\text{д\ddot{a}e}} \approx p_{\text{e\ddot{a}a}} \approx p_{i.i} \quad (2)$$

Из (1) следует, что разрыв сплошности возможен лишь при условии:

$$\sin \omega t < 0, \quad (3)$$

то есть, при движении стола вибростенда и доньшка колбы вниз.

Подставим $p_{\text{д\ddot{a}e}}$ в выражение (1) и запишем условия разрыва сплошности:

$$p_{i.i} = p_0 + \rho g h_{\text{д\ddot{a}e}} \pm \alpha \omega^2 \sin \omega t h_{\text{д\ddot{a}e}} \quad (4)$$

Так как кавитация возможна лишь при условии (3), то выражение (4) можно представить в виде:

$$p_{i.i} = p_0 + \rho g h_{\text{д\ddot{a}e}} - \alpha \omega^2 \rho (\sin \omega t) h_{\text{д\ddot{a}e}} \quad (5)$$

Текущая высота столба жидкости, при которой начнется кавитация:

$$h_{\text{д\ddot{a}e}} = \frac{p_{i.i} - p_0}{\rho (g - \alpha \omega^2 \sin \omega t)} = \frac{p_0 - p_{i.i}}{\rho (\alpha \omega^2 (\sin \omega t) - g)} \quad (6)$$

Определим критическую высоту столба жидкости $h_{\text{e\ddot{d}}}$, то есть минимальную высоту, при которой произойдет разрыв сплошности жидкости. Очевидно, $h_{\text{д\ddot{a}e}}$ будет минимальной при условии, если $\sin \omega t = 1$. Отсюда:

$$h_{\text{e\ddot{d}}} = \frac{p_0 - p_{i.i}}{\rho (\alpha \omega^2 - g)} \quad (7)$$

Граничным условием возникновения кавитации является условие $\alpha \omega^2 > g$, поскольку, $h_{\text{e\ddot{d}}} > 0$; случай $\alpha \omega^2 = g$ соответствует $h_{\text{e\ddot{d}}} \rightarrow \infty$.

Таким образом, выражение (7) представляет собой зависимость $h_{\text{e\ddot{d}}}$ от параметров вибрации. При высоте $h_{\text{д\ddot{a}e}}$ столба жидкости сплошность жидкости нарушается и в ней образуются пузырьки.

После каждой отрывной фазы следует фаза сжатия колебательного процесса. В ней пузырьки вследствие повышения давления захлопываются. Длительный процесс коллапса пузырьков способствует деструкции рабочей жидкости.

Вибрационное ускорение связано с частотой ν и амплитудой α колебаний соотношением:

$$I = \frac{\alpha \nu^2}{250},$$

где I – ускорение в единицах $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; ν – частота колебаний в Гц; α – амплитуда колебаний в мм.

На рис. 2 приведена кривая 1, характеризующая теоретическую зависимость критической высоты столба жидкости от ускорения I (в долях g), при превышении которой возникает кавита-

ция. Зависимость была построена согласно формуле (7) при условии, что $p_0 = p_{\text{д\ddot{o}i}}$.

Из графика следует, что для каждого ускорения существует своя критическая высота столба жидкости, которая с увеличением ускорения уменьшается.

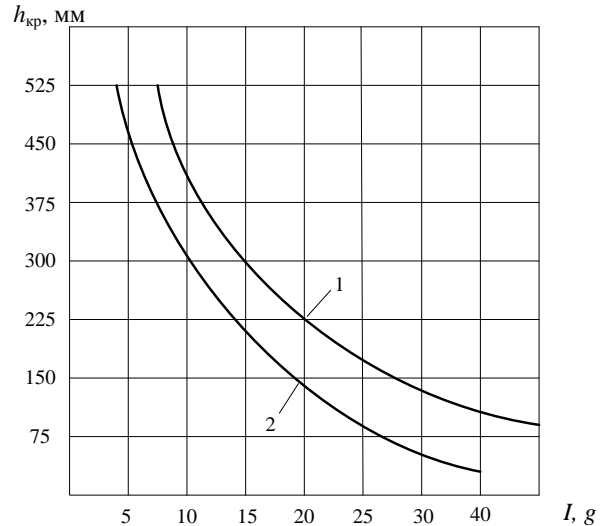


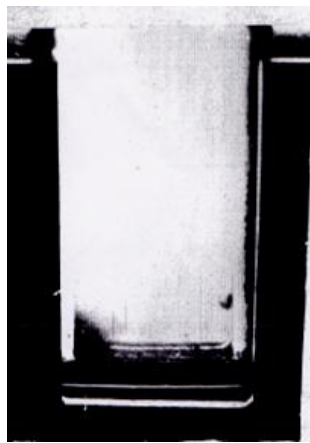
Рис. 2. Зависимость критической высоты столба жидкости от вибрационного ускорения:

1 – теоретическая зависимость; 2 – экспериментальная зависимость $p_0 = p_{\text{д\ddot{o}i}}$, $t^0 = 20^\circ \text{C}$

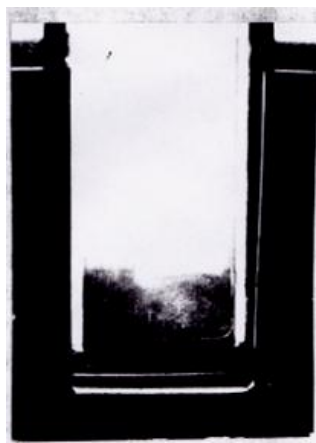
Экспериментальные исследования. При исследованиях для создания вибрации был использован серийный электродинамический вибростенд ВЭДС-100. Жидкость (АМГ-10) находилась в сосуде (колбе) с внутренним сечением 40×40 и высотой 565 мм. Он выполнен из прозрачного материала – оргстекла (рис. 1). Сосуд своим основанием жестко крепился в вертикальном положении к горизонтальному столу испытательного стенда. В экспериментальной установке была предусмотрена возможность проведения исследований с наддувом емкости так и без него.

Визуальные наблюдения за возникновением и поведением в жидкости кавитационных очагов были проведены в прозрачной опытной модели при различных, характерных для самолетов условиях в диапазоне вибрационных ускорений до 40 g .

При проведении первого эксперимента высота столба жидкости составляла 450 мм. Результаты наблюдений показали, что при достижении некоторого значения вибрационного ускорения (в нашем случае $\omega = 150 \text{ рад/с}$; $\alpha = 0,19 \text{ м}$, $I = 17g$) кавитационная зона в виде скопления паровых пузырьков, возникает в отдельных точках на границе контакта жидкости с доньшком или в углу у одной из стенок (см. рис. 3).



а



б

Рис. 3. Образование кавитационных каверн при вибрации: а) частота 150 Гц; амплитуда 0,19 мм; ускорение 17 м/с^2 ; б) частота 175 Гц; амплитуда 0,21 мм; ускорение 25 м/с^2

С повышением ускорения в исследуемом диапазоне, достигаемом как за счет увеличения амплитуды колебаний при постоянной частоте, так и за счет увеличения частоты колебаний при постоянной амплитуде, или одновременного изменения частоты и амплитуды, кавитационный процесс углублялся с расширением кавитационной зоны по всей поверхности доньшка и, частично, по высоте столба жидкости. Образование вышеуказанного плотного слоя парогазовых пузырьков было условно принято за показатель наступления стабильного процесса кавитации. На рис. 3 показано фото, на котором зафиксировано образование характерного для кавитации слоя (при частоте вибраций 175 Гц, амплитуде $\alpha = 0,21 \text{ мм}$, виброускорению 25 g ; толщина кавитационного слоя достигла приблизительно 80 мм).

Вступление жидкости в кавитационный режим сопровождалось, кроме появления у доньшка кавитационной зоны, выделением из жидкости мелких воздушных пузырьков в виде пыли. При этом одновременно другие мелкие воздушные пузырьки собирались в относительно большие пузыри, которые беспорядочно циркулировали при изменении параметров вибрации

по всему объему жидкости. Характер газовых скоплений и траектории их перемещений обусловлены циркуляцией жидкости. Поверхность жидкости при этом сохранялась спокойной. Следовательно, их появление можно отнести лишь за счет выделения воздуха из жидкости при кавитации. О газовой природе скоплений свидетельствовало устойчивое их существование в жидкости.

Визуальные наблюдения за процессом образования в жидкости кавитационных очагов были также проведены для высот столба жидкости: $h = 550; 350; 250; 150 \text{ мм}$. Для каждой из этих высот определялось критическое ускорение, то есть минимальное ускорение, необходимое для возникновения кавитации. В экспериментах, проведенных при высоте столба жидкости $h = 250 \text{ мм}$ минимальная амплитуда, при которой визуально наблюдалась кавитация (при условии $I \geq I_{\text{кв}} = 17 \text{ g}$) была равной 0,02 мм.

Результаты экспериментов представлены на рис. 2 (кривая 2). Из сопоставления графиков, приведенных на рис. 2, следует, что экспериментальные значения критических ускорений для всех указанных высот столбов жидкости на 15-20 % ниже значений, вычисленных по формуле (7). Расхождение расчетных и опытных значений следует объяснить тем, что расчеты произведены без учета факторов, которые могут влиять на протекания реального процесса – наличия в жидкости растворенного и нерастворенного воздуха, загрязнения, значения температуры и других параметров.

Вывод. Таким образом, при вибрационном воздействии на жидкость с ускорением до 40 g возникает кавитация. Как показали теоретические изыскания и экспериментальные исследования разрыв сплошности жидкости при вибрационном на нее воздействии зависит от параметров вибрации – частоты и амплитуды, физических свойств жидкости – давления насыщенных паров, плотности и вязкости, а также состояния жидкости – наличия воздуха, степени загрязнения, давления над поверхностью жидкости, температуры и других.

Литературные источники:

1. Глазков М.М., Ланецкий В.Г., Макаренко Н.Г., Челюканов И.П., Кавитация в жидкостных системах воздушных судов. – К.: КИИГА, 1987. – 64 с.
2. Кубенко В.Д., Лакиза В.Д., Павловский В.С., Пелых Н.А. Динамика упругогазожидкостных систем при вибрационных воздействиях. – К.: Наукова думка, 1988. – 256 с.
3. Сидоренко М.К. Виброметрия газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение, 1973. – 224 с.