DOI: 10.17117/na.2016.06.02.208

<http://ucom.ru/doc/na.2016.06.02.208.pdf>

Поступила (Received): 24.06.2016

Герасимов С.А.

Об экспериментальной аэродинамике осциллятора с зонтообразным крылом

Gerasimov S.A.

On experimental aerodynamics of oscillator with the umbrella-shaped wing

Сила сопротивления среды, действуя на одно из тел осциллирующей системы, может создавать подъемную силу. Для этого необходимо обеспечить асимметрию силы сопротивления. Один из способов сделать это – использовать несимметричное крыло, колеблющееся в вертикальном направлении. Существует мнение, согласно которому в этом случае подъемная сила должна быть направлена в сторону выпуклой стороны крыла. Точное экспериментальное изучение показывает, что это не всегда так. Измеренная подъемная сила, создаваемая конусообразным крылом, существенна, но направлена в обратную сторону. Измерения потерь энергии, необходимой для создания подъемной силы, находятся в согласии с этим заключением. Получается, что крыло, движущееся острием вверх, заставляет воздух направляться вниз

Ключевые слова: вибрационное перемещение, колебания, подъемная сила, потери энергии

Герасимов Сергей Анатольевич

Кандидат физико-математических наук, доцент
Южный федеральный университет
г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 5

The resistance force acting on a body of the oscillating bodies system can exert the lift force. It is necessary to provide with the asymmetry of the resistance force in order to make such a system to fly. A way to do it is to use a non-symmetric wing vibrating in vertical direction. There exists an opinion that in this case the lift force is directed to the side of the convex part of the asymmetric wing. The exact experimental investigations show that this is not always true. The measured lift force created vibrating cone-shaped wing is essential but it is directed downward. The measurements of the energy losses necessary to produce the lift force indicate the results correlating with this conclusion. It so happens that the wing moving in direction of the point makes air to divert in opposite direction

Key words: vibrational drift, oscillations, lift force, energy losses

Gerasimov Sergey Anatolievich

Candidate of Physics and Mathematics Sciences,
Associate Professor
Southern federal university
Rostov-on-Don, Zorge st., 5

Под эффектом вибрационного перемещения понимается возникновение направленного в среднем движения за счет ненаправленных в среднем колебательных воздействий [1]. Если записать уравнение движения системы двух взаимодействующих тел, на одно из которых действует сила трения или сила сопротивления среды, а второе совершает гармонические или негармонические колебания, оказывается, что центр масс такой системы движется под действием внешних сил, одной из которых является сила сопротивления среды или сила

трения [2]. Для того, чтобы средняя скорость центра масс такой системы была отлична от нуля, в данном случае сила сопротивления среды должна быть асимметрична, то есть, ее взятое по модулю максимальное значение в течение одной части периода колебаний, должно существенно отличаться от аналогичного значения в течение другой. Асимметрия сопротивления среды может возникать либо из-за асимметрии внутренней силы [3], с которой взаимодействуют тела, либо из-за асимметрии коэффициента сопротивления среды [4]. Результатом такого подхода к динамике системы тел, находящейся в той или иной среде, стал ряд проектов, качественных [5] и количественных [6-8], направленных на разработку принципиально нового летательного аппарата, основанного на вибрационном перемещении. Сомневаться в разумности таких предложений [5,6] не следует хотя бы потому, что такой способ перемещения имеет место в жидкости [9]. Другое дело, что подъемная сила, возникающая при вибрационном перемещении, может оказаться очень малой. Вероятно, по этой причине первые измерения такой подъемной силы нельзя считать удачными [10,11].

Судя по всему, задача состоит в разработке наиболее точного метода измерения веса вибрирующей системы тел, на одно из которой действует окружающая среда [12]. Поскольку речь идет о движении тела в среде, то задача, разумеется, имеет отношение к аэродинамике. В свою очередь, задачей аэродинамики является не только изучение подъемной силы, но и определение потерь энергии, необходимой на ее создание. При этом, та и другая величины должны измеряться одновременно. Это позволит сделать измерения однозначными: для того, чтобы создать подъемную силу, надо затратить энергию.

Датчик силы должен быть деформируемым. Для этого лучше всего подходит пружина S , по существу играющая роль вторичной обмотки простейшего трансформатора с переменным коэффициентом усиления (рис. 1). Первичной обмоткой может послужить катушка C с большим числом витков; входное напряжение такого трансформатора – переменное, низкой частоты.

Осциллятор представляет собой простейший планарный механизм E с отношением длины ведомого звена к длине ведущего (1 см), равным 3. Масса осциллятора – 225 г. Частота колебаний конусообразного крыла массой $m=11$ г радиусом $r=10$ см и длиной образующей $l=20$ см регулируется изменением постоянного напряжения V . Параметр асимметрии крыла в динамическом режиме $\delta \approx 1,5$ [13].

Регистрируемое двухканальным электронным осциллографом O падение напряжения U_R на резисторе R связано с мощностью P , потребляемой двигателем осциллятора, простым соотношением $P=(V-U_R)U_R/R$, позволяющим достаточно точно изучить потери энергии, затрачиваемой на взаимодействие крыла с атмосферой. Второй канал электронного осциллографа предназначен для измерения амплитуды U_2 падения напряжения на пружине.

Первое, на что обязательно следует обратить внимание, это – калибровка, другими словами, – связь веса осциллятора W с амплитудой переменного напряжения U_2 . Казалось бы, это – второстепенная характеристика, имеющая крайне опосредованное отношение к тому, как взаимодействует конусообразное тело с

атмосферой. Не совсем так. Дело в том, что калибровка может зависеть от частоты: причин более, чем достаточно. А поскольку, ожидать, что подъемная сила такой конструкции будет очень большой, было бы заблуждением, то придется этот неприятный факт обязательно принять в расчет. Наконец, калибровка позволяет оценить не только точность проведения измерений, но и проверить сам метод измерения веса вибрирующего тела.

Рис. 1. Экспериментальная установка

При сравнительно малых амплитудах напряжения U_2 , что соответствует сравнительно большим значениям веса невибрирующего ($f=0$) и вибрирующего ($f=2$ Гц) осциллятора, влияние колебаний достаточно ощутимо (рис. 2).

Рис. 2. Связь амплитуды выходного напряжения U_2 в весов осциллятора W без крыла в статическом ($f=0$) и колебательном режиме ($f=2$ Гц)

Даже без учета влияния частоты среднеквадратичное отклонение экспериментальных значений веса от аппроксимации калибровочной зависимости (сплошная кривая на рис. 2) составляет 0,002 Н.

Следующая неприятность проведения точных измерений – дрейф параметров экспериментальной установки, который обусловлен не только и не столько зависимостью от времени параметров генератора низкой частоты, двухканального электронного осциллографа и окружающей температуры, сколько зависимостью от времени и от нагрузки коэффициента жесткости пружины. Чтобы его учесть, измерения следует проводить следующим образом. Сначала в статическом режиме, то есть при неработающем осцилляторе следует измерить вес $W_U(0)$ (крыло острием вверх (U), частота равна нулю), затем через небольшой интервал времени измерить вес $W_U(f)$ при работающем осцилляторе и той же ориентации крыла. Эти величины надо измерить с таким же небольшим интервалом времени при различных частотах, раз речь идет об обнаружении эффекта с подтверждением его зависимости от частоты. Следующий этап: провести аналогичные измерения величин $W_D(0)$ (крыло острием вниз (D), $f=0$) и $W_D(f)$ (крыло острием вниз, частоты те же). Если W_0 – вес осциллятора с крылом в неработающем состоянии, то изменение веса $\Delta W(f)$, с точностью до знака равное подъемной силе, будет:

$$\Delta W(f) = W_0(W_U(f)/W_U(0) - W_D(f)/W_D(0))/2.$$

Такая процедура автоматически учитывает и зависимость калибровки от частоты, и дрейф аппаратуры, если измерения производятся спустя один и тот же интервал времени. Каждое измерение следует проводить много раз; электронный осциллограф позволяет это сделать автоматически, а частота входного напряжения достаточно низка, чтобы провести точную цифровую обработку зависимости выходного напряжения от времени.

Рис. 3. Экспериментальная зависимость изменения веса несимметричного осциллятора от частоты

Зависимость изменения веса ΔW от частоты оказалась неожиданной (рис. 3). Самое основное: с возрастанием частоты несимметричный осциллятор с ориентацией крыла острием вверх становится тяжелее. Вообще говоря, в рамки идеологии вибрационного перемещения это не укладывается. Это вовсе не означает, что об идее вибрационного полета придется забыть. Наоборот, о ней надо вспомнить, учитывая все аэродинамические тонкости задачи. Надо вспомнить, что самолет и вертолет летают вовсе не из-за закона Бернулли, а просто потому, что крыло самолета и винт вертолета “дуют вниз”, то есть направляют потоки воздуха вниз, создавая, тем самым, подъемную силу [14]. В приложении к результату, показанному на рис. 3, это – более, чем смелое утверждение, поэтому нужны подтверждения.

Рис. 4. Потери энергии в зависимости от частоты

Что было бы с потерями энергии, если бы вес осциллятора не зависел от ориентации крыла? Ответ очевиден. Разность потерь энергии $\Delta P(f)$, представляющая собой мощность P , потребляемую осциллятором с крылом, ориентированным острием вверх, минус мощность, отбираемую двигателем планарного механизма и крылом с острием вниз, с точностью до ошибок измерений равнялась бы нулю, или, по крайней мере, была бы пренебрежимо мала. Этого не случилось (рис. 4). То, что разность потерь энергии $\Delta P(f)$ с возрастанием частоты растет, – очевидно. Немного смущает поведение этой величины в области частот, близких к 3 Гц. Но и изменение веса $\Delta W(f)$ в этой области слегка занижено (рис. 3). Поэтому придется признать: то, что изображено на рис. 3 не только вполне корректно, но и имеет независимое подтверждение. Что касается утверждения, согласно которому нормально ориентированный зонт при движении вверх направляет воздух вниз, с ним еще аэродинамике придется долго разбираться. Существенный вклад в аэродинамическое решение задачи может и должно внести вибрационное перемещение. Есть же предположение, что машущий полет лишь частично работает за счет аэродинамики; вторая часть этой пока до конца нерешенной задачи по праву может принадлежать динамике системы материальных тел, частным и чрезвычайно интересным случаем, которой является вибрационное перемещение несимметричного осциллятора в среде с сопротивлением.

Список используемых источников:

1. Блехман И.И. Вибрационное перемещение. М.: Наука, 1964. 504 с.
2. Nappo F. Sulla Influenza Indiretta Delle Forze Interne Sul Moto Del Baricentro // *La Ricerca Scientifica, Rendiconti*. 1965. V. 8. No 1. P. 3-14.
3. Герасимов С.А. Сопротивление среды в динамике симметричного тела с переменным центром масс // *Инженерная физика*. 2011. № 6. С. 13-16.
4. Gerasimov S.A. Vibrational Drift with Quadratic Drag // *Mechanics of Solids*. 2007. V. 42. No 2. P. 184-189.
5. Блехман И.И. О вибрационной механике и вибрационной технике. М.: 1988. Наука. 208 с.
6. Нагаев Р.Ф., Тамм Е.А. Вибрационное перемещение в среде с квадратичным сопротивлением движению // *Машиноведение*. 1980. № 4. С. 3-8.
7. Gerasimov S.A. Vibrational Displacement in Gravity Field // *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. 2003. V. 44. No 6. P. 786-789.
8. Герасимов С.А. О вибрационном полете симметричной системы // *Известия Вузов. Машиностроение*. 2015. № 8. С. 3-7.
9. Сорокодум Е.Д. Об усредненной силе, действующей на осциллирующее в жидкости зонтообразное тело // *Акустический журнал*. 1981. Т. 27. № 5. С. 794-794.
10. Герасимов С.А. Об определении подъемной силы вибрационного летательного аппарата. // *Естественные и технические науки*. 2005. № 6. С. 128-132.
11. Герасимов С.А. Вращательно-колебательное движение несимметричного тела в атмосфере // *Инженерная физика*. 2010. № 4. С. 18-21.
12. Герасимов С.А. Вибролет на привязи: подготовка к эксперименту // *Учебная физика*. 2008. № 1. С. 73-78.
13. Герасимов С.А. Параметр асимметрии зонтообразного тела // *Успехи современного естествознания*. 2006. № 7. С. 20-22.
14. Anderson A., Eberhardt S. *Understanding Flight*. New York: McGraw-Hill. 2001. 240 p.

© 2016, Герасимов С.А.

Об экспериментальной аэродинамике осциллятора
с зонтообразным крылом

© 2016, Gerasimov S.A.

On experimental aerodynamics of oscillator with the
umbrella-shaped wing