

Результаты качественного рентгенофазового показали, что при воздействии морской воды так и соляного тумана, основными продуктами коррозии при воздействии соляном тумане являются метацидоксидами железа γ -FeOOH и α -FeOOH. Присутствие ингибитора с наночастицами ZnO на поверхности образцов стали У8А активизирует процесс их коррозии в морской воде, но замедляет скорость коррозии стали в соляном тумане.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевченко И.Н. Разработка ингибитора коррозии металлов на основе суспензий наночастиц оксида цинка: магистерская диссертация / И. Н. Шевченко // Национальный исследовательский ТПУ, ИШНПТ, Ом; науч. рук. Лямина Г.В. – Томск, 2021. – 144 с.
2. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. М.: Металлургия, 1994.
3. Song X. et al. The Initial Corrosion Behavior of Carbon Steel Exposed to the Coastal-Industrial Atmosphere in Hongyanhe //Acta Metall Sin. – 2020. – Т. 56. – №. 10. – С. 1355-1365.
4. Antunes R.A. et al. Characterization of corrosion products on carbon steel exposed to natural weathering and to accelerated corrosion tests //International Journal of Corrosion. – 2014. – Т. 2014.

Ван Хаожу, Ма Ли, Су Вэйе, Лю Иян (Китай)

Цзилиньский университет, г. Чанчунь

Научный руководитель: Слабухо Олеся Анатольевна, ст. преподаватель

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОТЫ ПОЛЕТА БАМБУКОВЫХ СТРЕКОЗ

Примерно в 500 году до нашей эры китайцы, наблюдая за полетами стрекоз в природе, сделали бамбуковую стрекозу, которая является игрушкой в руках китайских детей уже более 2500 лет. В XVIII веке бамбуковая стрекоза распространилась по Европе. Англичанин Джордж Келли, провозглашённый «отцом авиации», стал первым исследователем, изготовившим и усовершенствовавшим её.

Процесс взлета бамбуковых стрекоз стоит того, чтобы изучить и проанализировать принципы этого процесса. Теоретический анализ процесса взлета бамбуковой стрекозы, проведённый нами, основан на двух пунктах.

Во-первых, исследование основано на постоянной несжимаемой модели потенциального потока. В аэродинамике есть два важных коэффициента, а именно коэффициент подъемной силы и коэффициент сопротивления: $C_L \equiv \frac{L}{\frac{1}{2}\rho_B v_B^2 s}$, $C_D \equiv \frac{D}{\frac{1}{2}\rho_B v_B^2 s}$ (ρ_B : Плотность воздуха, s : Площадь листьев, L : Подъем, D :) [1].

Во-вторых, считается, что листья обычно сплющены, а разность давлений между верхней и нижней поверхностями может быть недостаточно большой, поэтому нами предполагается, что сила взлета бамбуковой стрекозы происходит от взаимодействия воздуха с листьями.

Прежде чем провести теоретические исследования, нужно было упростить исследовательскую модель.

1. В реальной жизни фактическая траектория полета бамбуковой стрекозы параболическая, и она сопровождается нутацией и прецессией. Фактическая траектория полёта бамбуковой стрекозы параболическая, а в предлагаемой модели, движение бамбуковой стрекозы упрощается от траектории параболы к движению в вертикальном направлении.

2. Скорость потока – это скорость, с которой течет воздух. Нужно было упростить скорость потока воздуха до скорости вращения, а именно:

$$v_{\text{воздушные потоки из бесконечности}} = (v_B),$$

$$v_{\text{скорость вращения бамбуковой стрекозы}} = (v_c) = \omega r.$$

3. Приблизительно была выбрана высота, равная гравитации и подъёму в качестве максимальной высоты.

Для выведения формулы был рассмотрен вертикальный прямоугольный тонкий лист (т.е. половина листа бамбуковой стрекозы). Во времени Δt было выбрано небольшое смещение перед лезвием: $\Delta x = \omega r \Delta t$, небольшой столб воздуха: $V = a \Delta r \Delta x$, масса воздушного столба: $m = V \rho$. Этот воздушный столб имеет количество движений: $P = m \omega r$. Согласно этому $\Delta P = \Delta F \Delta t = a \Delta r \omega r \Delta t \rho \omega r$, можно вывести $\Delta F = a \Delta r \omega^2 r^2 \rho r^2$. При $\Delta r \rightarrow 0$, ΔF была проинтегрирована, тогда была получена сила воздуха, действующая на бамбуковую стрекозу $F = \int_0^L a \omega^2 r^2 \rho dr = \frac{1}{3} a \omega^2 \rho L^3$.

Затем листья были наклонены и была рассмотрена возможность наклона этой прямоугольной пластинки на α градусов. Так как после наклона область действия поверхности листа с воздухом s становится $S' = S \times \sin \alpha$, то V становится $V' = V \times \sin \alpha$, поэтому $F' = F \sin \alpha$, затем нужно было разложить F' , получить подъемную силу $F_1 = F \sin \alpha \cos \alpha = \frac{1}{3} a \omega^2 \rho L^3 \sin \alpha \cos \alpha$ и сопротивление $F_2 = F \sin^2 \alpha = \frac{1}{3} a \omega^2 \rho L^3 \sin^2 \alpha$.

Затем были выведены формулы с аэродинамической точки зрения. Коэффициент подъемной силы имеет две независимые переменные: скорость бамбуковой стрекозы и угол наклона α . В случае определенного угла наклона скорость вращения бамбуковой стрекозы является единственной переменной. Потом в справочной литературе было найдено соотношение между углом наклона и коэффициентами подъемной силы и сопротивления, как показано на графике 1. Также было выявлено, что эти коэффициенты постоянны при определении угла атаки. В статье Ван Икуня была найдена информация, как вращается бамбуковая стрекоза в постоянной несжимаемой модели потенциального потока [2].

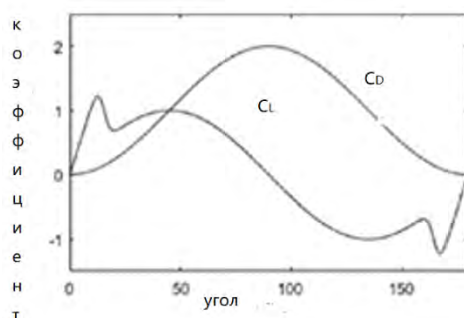


График 1. Соотношение между коэффициентом подъемной силы, коэффициентом сопротивления и углом наклона

Коэффициенты C_L и C_D рассматриваются как постоянные, и соотношение между подъемной силой L и сопротивлением D и скоростью бамбуковой стрекозы можно описать следующей формулой (здесь сопротивление понимается как тангенциальные силы):

$$L = F_{\text{лифт}} = 0.5 C_L \rho v^2 s, \quad D = F_{\text{Тангенциальные силы}} = 0.5 C_D \rho v^2 s$$

При угле наклона 30° были сравнены коэффициенты формулы, установленные нашей группой, с формулой аэродинамики: $\frac{1}{3} \sin \alpha \cos \alpha \approx 0.13$ а $\frac{1}{2} C_L \approx 0.30$, $\frac{1}{3} \sin^2 \alpha \approx 0.083$ а $\frac{1}{2} C_D \approx 0.09$.

Изучение аэродинамики не основано полностью на взаимодействиях (т.е. предлагаемых предположениях). На самом деле силы, действующие на бамбуковую стрекозу сложны, но они были упрощены. Нам было интересно узнать, применима ли аэродинамическая формула для полета бамбуковой стрекозы, поэтому аэродинамическое сопротивление было заменено сопротивлением с более похожим коэффициентом, а также была использована подъемная сила, полученная нашей группой.

$$\therefore F_{\text{лифт}} = \frac{1}{3} a \omega^2 \rho L^3 \sin \alpha \cos \alpha, \quad F_{\text{сопротивление}} = 0.5 C_D \rho v^2 s$$

Анализ силы в вертикальном направлении и направлении вращения показал, что есть подъемная сила и гравитация в вертикальном направлении, и есть сила сдвига в направлении вращения.

$$F_{\text{лифт}} = F_1 = \frac{1}{3} a \omega^2 \rho L^3 \sin \alpha \cos \alpha,$$

$$F_{\text{тангенциальные силы}} = \frac{1}{2} C_D \rho v^2 s = \frac{1}{2} C_D \rho a b \omega^2 L^2$$

$$\therefore dF_{\text{тангенциальные силы}} = \frac{3}{2} C_D \rho a \omega^2 L^2 dL,$$

$$dL_{\text{тангенциальные силы}} = \frac{3}{2} C_D \rho a \omega^2 L^3 dL \therefore L_{\text{тангенциальные силы}} = \frac{3}{8} C_D \rho a \omega^2 L^4$$

Для бамбуковой стрекозы целиком :

$$L_{\text{тангенциальные силы}} = \frac{3}{4} C_D \rho a \omega^2 L^4, \quad F_{\text{лифт}} = \frac{2}{3} a \omega^2 \rho L^3 \sin \alpha \cos \alpha$$

В вертикальном направлении :

$$m\ddot{h} = F_{\text{лифт}} - mg \therefore h = \frac{2a\omega^2 \rho L^3 \sin \alpha \cos \alpha}{3m} \int \omega^2 dt^2 - \frac{1}{2} g t^2$$

В направлении вращения:

$$L_{\text{тангенциальные силы}} = \frac{3}{4} C_D \rho a \omega^2 L^4 = J \frac{d\omega}{dt} \therefore dt = \frac{4J}{3C_D \rho a L^4} \frac{d\omega}{\omega^2}$$

$$\therefore \int_0^t dt = \int_{\omega_0}^{\omega} \frac{4J}{3C_D \rho a L^4} d\frac{1}{\omega} = \frac{4J}{3C_D \rho a L^4 \omega_0} - \frac{4J}{3C_D \rho a L^4 \omega} \therefore \omega = \frac{4J\omega_0}{4J - 3C_D \rho a L^4 \omega_0 t}$$

Введение конечного состояния: подъемная сила равна гравитации.

при $F_{\text{лифт}} = mg, \omega_0 = \sqrt{\frac{3mg}{a\rho L^3 \sin 2\alpha}}$ (постоянный)

$$\therefore \omega = \frac{4J \sqrt{\frac{3mg}{a\rho L^3 \sin 2\alpha}}}{4J - 3C_D \rho a L^4 t \sqrt{\frac{3mg}{a\rho L^3 \sin 2\alpha}}}, u = \frac{48Jmg}{a\rho L^3 \sin 2\alpha}, i = 16J^2,$$

$$o = 9C_D^2 \rho^2 a^2 L^8 \frac{3mg}{a\rho L^3 \sin 2\alpha}, p = 24JC_D \rho a L^4 \sqrt{\frac{3mg}{a\rho L^3 \sin 2\alpha}}$$

$$\therefore \int \omega^2 dt^2 = u \left[\frac{2p^2 \log(ox^2 - px + i)}{16io^2 - 4op^2} + \frac{(p - 2ox) \arctan\left(\frac{p - 2ox}{\sqrt{-p^2 + 4io}}\right)}{o\sqrt{-p^2 + 4io}} - \frac{8io \log(ox^2 - px + i)}{16io^2 - 4op^2} \right]$$

Таким образом:

$$h = \frac{2a\omega^2 \rho L^3 \sin \alpha \cos \alpha}{3m} \left(u \left[\frac{2p^2 \log(ox^2 - px + i)}{16io^2 - 4op^2} + \frac{(p-2ox) \arctan\left(\frac{p-2ox}{\sqrt{-p^2+4io}}\right)}{o\sqrt{-p^2+4io}} - \frac{8io \log(ox^2 - px + i)}{16io^2 - 4op^2} \right] - \frac{1}{2}gt^2, t = \frac{4J}{3C_D \rho a L^4 \omega_0} - \frac{4J}{3C_D \rho a L^4 \omega} \right).$$

Чтобы проверить правильность созданной модели был проведён эксперимент и получены следующие данные, которые можно увидеть в таблице 1. [3].

Таблица 1

Физическая величина

а длина одного ли- ста	б ширина	т масса	ρ плотность	J момент инер- ции	C_L
0,09м	0,02м	0,0102кг	1,29кг/м ³	2,33е – 5 кг/м ²	0,09

Затем дважды экспериментально были измерены начальная угловая скорость и максимальная высота бамбуковой стрекозы и получены следующие данные (см. графики 2-7).



Графики 2-7. Определение высоты с помощью программного обеспечения Tracker

Начальные угловые скорости, полученные экспериментально, как независимые переменные, а высоты, полученные с помощью эксперимента, как зависимые переменные, можно увидеть в таблице 2.

Таблица 2

Скорость вращения и высота

	1	2	3	4	5
Скорость Враще- ния(rps)	17	18	19	20	21
Высота(м)	0,48	0,56	0,60	0,68	0,75

Полученные данные и результаты эксперимента были проанализированы. На их основе был построен график (см. график 9).

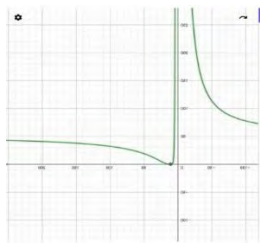


График 8. Теоретические кривые

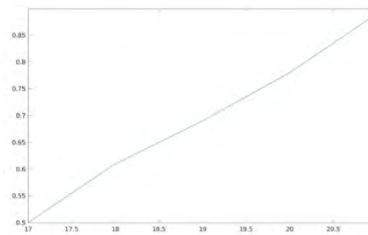


График 9. Кривые экспериментальных данных

Сравнив графики 9 и 8, нарисованные по формуле h , были сделаны следующие выводы. Когда начальная угловая скорость находится в пределах 17-21 оборотов в секунду, то, во-первых, изображение, полученное в соответствии с теорией, и изображение, соответствующее фактическому результату, имеют одинаковую тенденцию изменения, то есть монотонное увеличение. Во-вторых, теоретическая максимальная высота примерно на 10 см выше фактической максимальной высоты, и относительная погрешность, рассчитанная из этого, находится в пределах 10%, что является допустимым.

В целом, можно считать, что выведенная нами формула находится в хорошем согласии с реальной ситуацией. Кроме того, данная теоретическая модель может быть применена к изучению объектов с аналогичными структурами, например, лопасти вертолѐта, лопасти подводной лодки и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ву Зиниу. Аэродинамика (М). Пекин: Издательство Бэйханского университета, 2016.
2. Ван Икунь. Оптимизация полета бамбуковой стрекозы. (J). Вестник научно-технических инноваций, 2017.1 (10) - С. 103-105.
3. Институт физики Китайской академии наук. Возможность реализации бамбуковой стрекозы Дораэмонва (EB/OL). https://m.sohu.com/a/119102355_224832 (дата обращения 16.3.2022)