

**Лазерное сканирование пространства и
проблема сложения движений**

Кириленко А. И., Межинская А. С.
Белорусская государственная академия авиации
Минск, Республика Беларусь

В работе рассматриваются вопросы сканирования пространства двухзеркальным сканером посредством лазерного луча. Показано, что пространство может обегаться лучом с различной плотностью, то есть имеются области, где за определенное время луч проходит наиболее часто, и есть области, куда луч не попадает за ограниченное время сканирования (области ограниченной достижимости). По мере увеличения времени сканирования луч достигает любой точки пространства. Приведены примеры заполнения областей пространства различной конфигурации.

Задачи поиска и обнаружения объектов в пространстве многочисленны и разнообразны. Все они сводятся к формированию индикатрисы направленности излучения, по сути дела луча или пучка лучей, и управлению этой индикатрисой. Достаточно изменять два угла, задающих направление луча в пространстве для того, чтобы он заштриховал некоторую плоскость. В таком контексте задача сводится к сложению движений в плоскости.

Эта проблема имеет древнюю поучительную историю и обширные технические приложения. Пожалуй, первыми к таким задачам обратились древние греки. Их заворожила красота получающихся завитков – спиралей, которые они наблюдали в живой природе. Наиболее известна спираль Архимеда – кривая, описываемая точкой, движущейся с постоянной скоростью по лучу, который, в свою очередь, вращается около полюса с постоянной угловой скоростью. Ее свойства впервые описал Конон Самосский в III в. до н. э., но Архимед внес решающий вклад в изучение ее свойств.

Гораздо позже изучались кривые, описываемые точкой окружности, катящейся без проскальзывания по другой окружности внутри ее. Они называются гипоциклоидами. Гипоциклоиды – замкнутые кривые, родственные эпициклоидам и циклоидам. Частный случай таких движений рассмотрел персидский математик Насир ад-Дин Туси в XIII веке. Задача формулируется следующим образом: по внутренней поверхности жестко зафиксированного цилиндра радиуса R в плоскости сечения катится диск радиусом $R/2$. В результате точка контакта совершает колебательное движение вдоль диаметра большой окружности. Это простейший пример пре-

образования вращательного движения в колебательное. В индустриальную эпоху подобные задачи стали весьма актуальными. В современных условиях актуальными стали задачи сканирования пространства. Возникла проблема обнаружения и уничтожения «микроскопических» беспилотных летательных аппаратов. В соответствии с законами распространения излучения, чем короче длина волны излучения, тем более мелкие предметы могут быть обнаружены с его помощью.

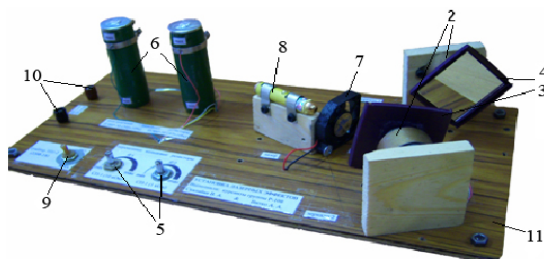


Рис. 1. Установка для получения фигур Лиссажу оптическим методом и наблюдения направления их обхода:

- 1 – блок питания постоянного тока с выходным напряжением 12 В;
 2 – два двигателя постоянного тока мощностью 3 Вт, 72 об/мин, 0,398125 Н·м;
 3 – первое зеркало (с внутренним напылением) (50×50 мм); 4 – второе зеркало по ходу лазерного луча; 5 – два переменных кольцевых резистора СП-1 (10 кОм, 1 кОм); 6 – два линейных резистора типа ПЭВР-50 ($240 \pm 10\%$ Ом, $47 \pm 10\%$ Ом);
 7 – прерыватель (вентилятор) для прерывания лазерного луча (кулер); 8 – лазер полупроводниковый; 9 – выключатель ТП1-2 (220 В, 2 А); 10 – клеммы для подключения блока питания; 11 – пластина монтажная (400 × 200 × 5 мм)

В принципе с этой проблемой может справиться тонкий лазерный луч, который с большой скоростью может перемещаться по заданной области пространства. Проще всего обеспечить такое движение луча можно с помощью двух вращающихся зеркал [1]. Нами разработан макет такой установки (рис. 1), вполне пригодный для демонстрации сложения колебаний и направления обхода получающихся траекторий. Также произведен расчет траекторий, которые описывает луч на плоскости, расположенной в пространстве так, что она перпендикулярна лучу при неподвижных зеркалах.

Изменяя напряжение на резисторах, изменяем частоту вращения зеркал. Наиболее полно изучены фигуры Лиссажу – результат сложения двух взаимно перпендикулярных колебаний, отношение частот которых представляется простой дробью. В этом случае луч на плоскости вычерчивает замкнутую кривую. Воспроизвести эти кривые можно на предлагаемой установке. Таким же способом достаточно просто получить траектории в

виде розеток. Оказывается, что на вид траекторий существенное влияние оказывает масса зеркал, от которых, в свою очередь зависит амплитуда биения валов. Таким образом, эта установка позволяет определять характер биения валов машин. Сильные биения получаются при утяжелении зеркал, вращающихся на тонких упругих осях.

Итак, обычные фигуры Лиссажу в виде замкнутых петлеобразных кривых не заполняют плоскость и не могут использоваться для сканирования пространства. Из теории известно, что фигуры Лиссажу образованы сложением взаимно перпендикулярных колебаний

$$x(t) = A \cos(\omega_1 t + \alpha_1), \quad y(t) = B \cos(\omega_2 t + \alpha_2),$$

где x и y – смещения по взаимно перпендикулярным осям; ω_1 и ω_2 – частоты; α_1 и α_2 – начальные фазы; A и B – амплитуды.

Образовавшиеся траектории всегда вписаны в прямоугольник, стороны которого равны удвоенным амплитудам колебаний [2].

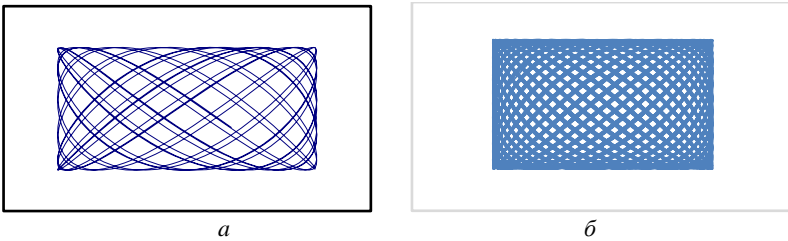


Рис. 2. Результат сложения двух взаимно перпендикулярных колебаний при иррациональном отношении частот $A = 1, \alpha_1 = 0, \omega_1 = 4;$

$$A_2 = 2, \varphi_2 = 0, \omega_2 = 4\sqrt{2};$$

$$a - i = 250; \quad b - i = 900$$

Отношение частот складываемых колебаний принципиально влияет на вид траекторий. Как отмечалось, при рациональном отношении частот вращения зеркал траектории – замкнутые кривые. Ситуация меняется принципиально, если отношение частот иррационально (рис. 2).

Как видим, плоскость заполняется траекторией, которая не замыкается сама на себя. Заметим, что наблюдается определенная симметрия в заштриховке прямоугольника. Вид заштриховки существенно зависит от количества точек i , на которые разбивается продолжительность сканирования t :

$$t = i \cdot \Delta a,$$

где Δa – шаг дискретизации времени сканирования.

При увеличении i при фиксированном Δa вся плоскость прямоугольника заполняется (рис. 2). Тем не менее, в этом прямоугольнике имеются участки, через которые траектория не проходит при значительных величинах i . Назовем их зонами недостижимости при заданном i . Однако вся внутренняя область прямоугольника заполняется при достаточно больших i . На рис. 3 показано, как заполняется прямоугольник при различных отношениях частот складываемых колебаний и при различных продолжительностях сканирования.

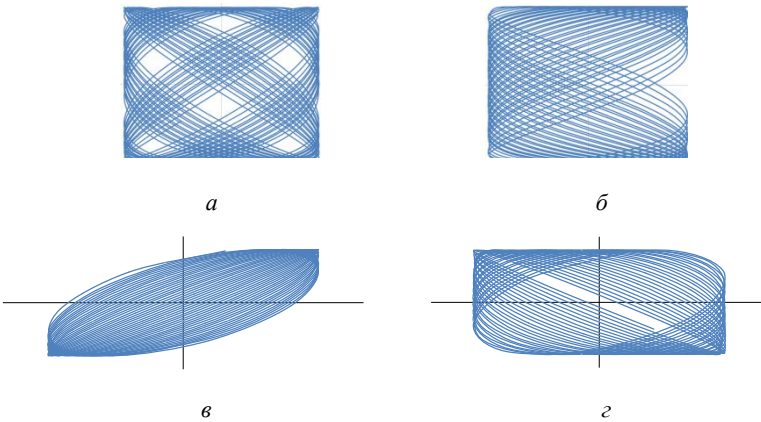


Рис. 3. Обобщенные фигурф Лиссажу, вписанные в прямоугольник, при рациональном и иррациональном отношениях частот:
 $a - [0,01-9,2], \omega_1 = 39, \omega_2 = 55$; $б - [0,01-9,2], \omega_1 = 39, \omega_2 = 35$;
 $в - [0,01-9,2], \omega_1 = 25, \omega_2 = 25\sqrt{2}$; $г - [0,01-2], \omega_1 = 84, \omega_2 = 83$

Обозначения $[0,01-9,2]$ нужно понимать следующим образом: расчет ведется в интервале t от 0,01 до 9,2 с шагом $\Delta a = 0,01$, то есть i равно количеству точек 600.

Оказывается, что можно так задать колебательные процессы по осям x и y , что заполняться будет не прямоугольник, а параллелограмм (рис. 4):

$$x(t) = A \cos \omega_1 t + B \cos \beta \cos(\omega_2 t + \alpha_1), \quad y(t) = B \sin \beta \cos(\omega_2 t + \alpha_2).$$

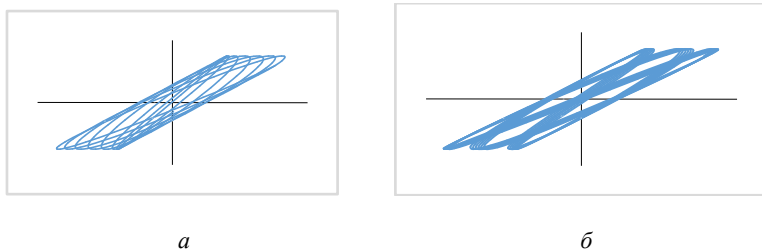


Рис. 4. Обобщенные фигуры Лиссажу, вписанные в параллелограмм, при иррациональном отношении частот:

$$a - [0,01-3], \omega_1 = 15, \omega_2 = 16; \quad б - [0,01-5], \omega_1 = 15, \omega_2 = 16\sqrt{2}$$

Характер заполнения опять определяется отношением частот, а вид заполняемой области зависит от i .

Можно также выбрать область заполнения в виде эллипса или окружности. Для этого зададим колебания в виде

$$x(t) = (A+a)\cos\omega t - 2\sqrt{2}\cos\left(\frac{A+a}{2}\omega t\right), \quad y(t) = (A+a)\sin\omega t - 2\sqrt{2}\sin\left(\frac{A+a}{2}\omega t\right).$$

Вид соответствующих кривых показан на рис. 5.

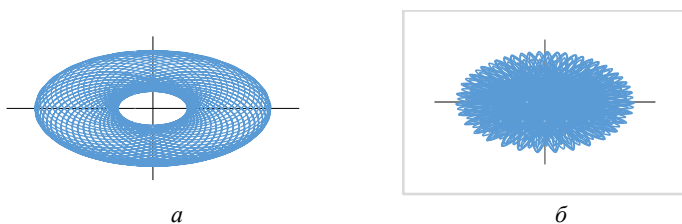


Рис. 5. Обобщенные эпициклоиды при иррациональном отношении частот:

$$a - [0,01-5], \omega = 85; \quad б - [0,01-5], \omega = 956$$

Итак, двухзеркальный оптический сканер вполне пригоден для сканирования пространства и обнаружения мелкоразмерных объектов при условии, что время сканирования достаточно велико и отношение частот вращения зеркал выражается иррациональным числом. При этом необходимо исключать биения валов, на которых зеркала крепятся.

Литература

1. Катус, Г. П. Информационные сканирующие системы / Г. П. Катус. – Москва, Машиностроение, 1965. – 448 с.
2. Кириленко, А.И. О некоторых применениях двухзеркального сканера / А. И. Кириленко // Наука – образованию, производству, экономике: материалы X междунар. науч.-техн. конф., Минск, 4 апреля 2013 г.: в 4 т. // БНТУ. – Минск, 2013. – Т. 3. – С. 330.

УДК 504.3

Актуальные экологические проблемы авиации

Кириленко А. И.

Белорусская государственная академия авиации
Минск, Республика Беларусь

В работе рассматриваются вопросы воздействия авиации на окружающую среду. Затрагиваются проблемы глобального и локального уровней, в том числе загрязнения в зоне аэропортов, на прилегающих территориях и в самом самолете. Указывается, что не все вредные факторы учитываются, например, нет исследований по инфразвуку, генерируемому авиацией. Показано, что уже в настоящее время разрабатываются технологии способные кардинально улучшить ситуацию.

Периодически в СМИ вбрасывается информация о колоссальном экологическом ущербе, который наносит авиация окружающей среде (ОС). Это один из методов конкурентной борьбы между различными видами транспорта, обеспокоенных тем, что авиация развивается динамичнее других отраслей. По оценкам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), авиация несет ответственность примерно за 3,5% антропогенного изменения климата, включая воздействие выбросов CO₂ и не CO₂ [1]. Локальные загрязнения могут быть более существенными. Отметим, что экологические проблемы находятся под пристальным вниманием Международной организации гражданской авиации (ИКАО). Цель работы – акцентировать внимание на прорывных технологиях решения экологических проблем авиации. Некоторые из этих технологий могут быть внедрены достаточно быстро, другие находятся в стадии изучения или испытаний, третьи могут применяться в отдаленной перспективе. Основные экологические проблемы авиации можно разделить на несколько категорий.

1. Глобальные. Это выбросы парниковых газов CO₂, H₂O, а также CO, SO_x, NO_x. В состав продуктов сгорания реактивных топлив входят: N₂ –