

Физика 9–11

Публикуемая ниже заметка «Кинематика точного курса» предназначена девятиклассникам, заметка «Печаль или радость» – десятиклассникам и «Эффективное напряжение в сети переменного тока» – одиннадцатиклассникам.

Кинематика точного курса

А. ЧЕРНОУЦАН

ЧТО ОБЩЕГО В ПОВЕДЕНИИ КАПИТАНА корабля, плывущего через океанские просторы, командира самолета, совершающего дальний перелет, или лодочника, пересекающего быструю реку на небольшой моторной лодке? Каждый из них должен решать сложнейшую навигационную задачу – выбрать оптимальный курс в условиях перемещения относительно движущейся среды (т.е. с учетом океанских и речных течений и переменчивых ветров).

Представьте себя для начала капитаном, приступающим к корректировке курса своего корабля. Конечно, первая (и весьма трудная!) задача – точно определить свои координаты в отсутствие каких-либо зрительных ориентиров. До изобретения радио и появления радиомаяков мореплавателям приходилось иногда дни и недели ждать, когда, наконец, откроется небо и можно будет с помощью Солнца и звезд узнать, куда тебя занесли ветры и течения, и весьма приблизительно нанести на карту свое местоположение. В наше время эта проблема существенно упростилась, и будем предполагать, что мы с ней успешно справились.

Что дальше? Обозначив на карте положение корабля, выбираем направление дальнейшего движения (в простейшем случае – точно на порт назначения, если только не надо обогнуть Бермудский треугольник или группу гигантских айсбергов). Кажется бы, осталось только отдать приказ – взять курс в этом направлении. Но нет, необходимо сначала посмотреть на карту океанских течений и, если надо, сделать соответствующую поправку. Скорость океанских и мор-

ских течений может быть не столь уж мала; к примеру, скорость знаменитого Гольфстрима достигает 10 км/ч. Как же сделать поправку на течение и определить точный курс?

Когда капитан указывает курс, рулевой поворотами руля устанавливает в этом направлении корпус корабля. (Более точно – в указанном направлении устанавливается горизонтальная ось корабля, т.е. линия, проведенная от середины кормы к носу.) Если бы не было течения, волн и ветра, то именно в этом направлении двигался бы корабль, причем со скоростью, соответствующей его ходовым характеристикам. Для каждого корабля существует индивидуальная зависимость его скорости в спокойной неподвижной воде от режима работы двигателя (от числа оборотов). Если же есть заметное течение, то скорость корабля оказывается иной как по величине, так и по направлению – корабль, как говорят, сносит течением.

Предположим для простоты, что ветер и волны отсутствуют, и перейдем в систему отсчета, связанную с движущейся водой, т.е. двигающуюся со скоростью течения. В этой системе вода неподвижна, а корабль движется точно вдоль своей оси с расчетной скоростью. Значит, именно этой относительной скоростью $\vec{v}_{\text{отн}}$ управляет капитан корабля, задавая курс и число оборотов двигателя. Скорость же корабля относительно берега \vec{v} определяется законом сложения скоростей:

$$\vec{v} = \vec{v}_{\text{отн}} + \vec{v}_B, \quad (1)$$

где \vec{v}_B – скорость воды (скорость течения).

Это векторное равенство означает, что указанные три скорости образуют треугольник (рис. 1). После определения (по карте) направления на порт

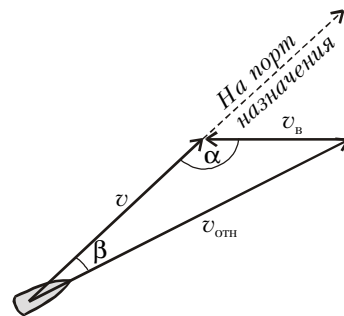


Рис. 1

назначения, т.е. направления скорости \vec{v} , и направления и величины скорости течения \vec{v}_B нам известны в этом треугольнике угол α и сторона v_B . Если капитан решает не менять число оборотов двигателя, то $v_{\text{отн}}$ тоже известна. Нам надо определить угол β – его называют углом сноса. Спроектировав равенство (1) на направление, перпендикулярное вектору \vec{v} , получим

$$0 = v_{\text{отн}} \sin \beta - v_B \sin \alpha, \quad (2)$$

откуда и находим угол β . Например, если скорость хода 30 км/ч, а скорость течения равна 4 км/ч и составляет с направлением движения угол 120° , то угол сноса составит приблизительно $6,5^\circ$.

Чтобы узнать, с какой скоростью v мы приближаемся к цели, спроектируем равенство (1) на направление вектора \vec{v} и найдем

$$v = v_{\text{отн}} \cos \beta + v_B \cos \alpha. \quad (3)$$

Подставляя численные данные для разобранного примера, получим, что скорость v равна примерно 27,8 км/ч.

Впрочем, можно поставить задачу немного иначе. Если задаться целью прибыть в порт назначения точно в срок, то надо поддерживать скорость движения v постоянной. Необходимую для этого $v_{\text{отн}}$ можно найти из теоремы косинусов:

$$v_{\text{отн}} = \sqrt{v^2 + v_B^2 - 2v v_B \cos \alpha}, \quad (4)$$

после чего можно по формуле (2) определить угол сноса β . Так, в нашем примере для поддержания скорости корабля 30 км/ч надо увеличить число оборотов так, чтобы относительная скорость равнялась 32,2 км/ч, а угол сноса сделать равным примерно $6,2^\circ$.

Отметим, что кроме течения есть и другие факторы, влияющие на направление и величину скорости корабля. Это, в первую очередь, сильный ветер, создающий дополнительное боковое давление на борт (можно сказать, что корабль движется не в одной подвижной среде, а в двух – водной и воздушной). При ветре направление движения корабля относительно воды может немного отличаться от направления его оси. Кроме того, дополнительное отклонение возникает за счет регулярных ударов волн, если они приходится на один из бортов. Учесть эти факторы можно только приблизительно, и поэтому надо периодически замерять координаты корабля и производить корректировку курса.

Теперь давайте пересядем на самолет, совершающий многочасовой перелет, и попробуем учесть влияние ветра. Проблемы для воздушного лайнера во многом такие же, как для океанского. Видимые ориентиры на поверхности часто скрыты облаками, а при высоких скоростях даже небольшие ошибки в выборе курса могут быстро привести к заметным отклонениям. Конечно, летчикам не приходилось совершать дальние перелеты в эпоху до изобретения радио, но несколько десятков лет назад, до появления систем глобальной радиолокации и спутниковой связи, проблема ориентации стояла весьма остро (вспомните, например, Экзюпери). В наши дни задачу выбора курса решает не только летчик, но и находящийся с ним в постоянном контакте наземный диспетчер, который по радиолокационным данным может отслеживать положение самолета и вычислять направление и величину его скорости (относительно земли). Вдали от аэропорта, вне связи с диспетчером, летчик следит за тем, чтобы не выйти за пределы выделенного ему воздушного коридора с помощью радиомаяков, доступных ему в течение перелета.

В отличие от корабля, взаимодействующего не только с водной средой, но и с воздушной, самолет испытывает отклоняющее влияние только одной движущейся среды – воздушной. В системе отсчета, связанной с воздухом (т.е. движущейся со скоростью ветра), скорость самолета $\vec{v}_{\text{отн}}$ направлена вдоль его оси. Его скорость относительно земли \vec{v} можно найти с помощью формулы (1), только $\vec{v}_в$ обозначает теперь не скорость воды, а скорость воздуха (ветра). Хотя скорость самолета в десятки раз больше, чем скорость корабля, но и скорость

ветра может быть значительно больше скорости течения. При взлете и посадке скорость самолета составляет 220–280 км/ч, т.е. 60–80 м/с, а скорость бокового ветра может достигать 15–20 м/с (при более сильном ветре посадка запрещена). На высоте 8–10 км, где проходит большая часть полета, самолет летит со скоростью 600–900 км/ч (на этой высоте плотность воздуха, а значит, и лобовое сопротивление в два с лишним раза меньше), однако и ветры, регулярно дующие на этих высотах (их называют струйными), могут иметь скорость до 40–50 м/с.

Главная трудность в расчете полетного задания состоит в том, что, в отличие от морских течений, невозможно создать устойчивую карту струйных ветров, поскольку день ото дня их скорость меняется и по величине, и по направлению. Примерная схема корректировки курса выглядит следующим образом. После набора нужной высоты диспетчер задает кораблю курс (т.е. направление и величину $\vec{v}_{\text{отн}}$), исходя из предполагаемой скорости ветра (определенной при пролете по этому коридору предыдущего самолета). После этого он определяет по данным радиолокации направление и величину скорости самолета относительно земли \vec{v} . Если она заметно отличается от ожидаемой, то необходимо внести поправку на изменение скорости ветра. Зная $\vec{v}_{\text{отн}}$ и \vec{v} , можно с помощью формулы (1) определить новую скорость ветра $\vec{v}_в$ (подумайте, как это сделать) и произвести необходимую корректировку.

Особое значение боковой ветер играет при взлете и посадке. Рассмотрим, какие трудности могут возникать во время посадки, проходящей при сильном боковом ветре. С момента, когда колеса шасси коснулись земли, самолет начинает взаимодействовать не только с воздухом, но и с твердой поверхностью. При качении по полосе всеми колесами – передними и задними – самолет должен быть ориентирован вдоль линии движения, т.е. вдоль посадочной полосы (иначе возникает опасность поломки шасси или разворота корпуса самолета). Однако при приближении к полосе у самолета может быть значительный угол сноса, т.е. его корпус может быть заметно повернут по отношению к полосе. Как рассказывают летчики, при посадке на легком самолете (со сравнительно небольшой посадочной скоростью) самолет бывает повернут так, что стойка окна мешает видеть всю полосу. Вы-

ход состоит в том, что надо садиться сначала на задние колеса, после чего действующая на них сила трения быстро выравнивает корпус самолета, и можно начинать качение на полном шасси.

Теперь нам осталось только пересечь быструю речку на небольшой моторной лодке. Многое из сказанного относится и к этому случаю, но здесь может возникнуть ситуация, с которой мы раньше не встречались. Если скорость течения реки $v_в$ больше, чем скорость нашей лодки относительно воды $v_{\text{отн}}$, то совсем не все направления движения нам доступны. В частности, мы при всем желании не сможем пересечь речку и оказаться точно напротив точки отплытия. Однако мы можем постараться сделать так, чтобы нас снесло течением как можно меньше. Для этого надо, чтобы угол Φ между направлением скорости \vec{v} и перпендикуляром к линии берега был как можно меньше. «Изобразим» на рисунке 2 формулу (1) и посмот-

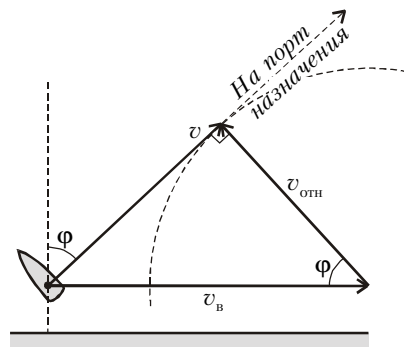


Рис. 2

рим, как будет меняться направление скорости \vec{v} при различных направлениях скорости $\vec{v}_{\text{отн}}$ (т.е. в зависимости от ориентации корпуса лодки). Видно, что конец вектора $\vec{v}_{\text{отн}}$ описывает окружность, и самый маленький угол $\Phi = \arccos(v_{\text{отн}}/v_в)$ достигается в том случае, когда вектор \vec{v} направлен по касательной к этой окружности. Для этого надо направить корпус лодки против течения под углом Φ к линии берега. Интересно, что в этом случае лодка будет плыть в направлении, перпендикулярном линии корпуса.

Чтобы проверить, насколько вы освоились с проблемой выбора курса и с законом сложения скоростей, попробуйте самостоятельно решить две такие задачи:

1. В безветренную погоду самолет затрачивает на перелет между городами 6 часов. На сколько минут увеличится время полета, если будет дуть

боковой ветер со скоростью 20 м/с перпендикулярно линии полета? Скорость самолета относительно воздуха 328 км/ч . (Ответ: на 9 мин.)

2. При переправе через речку шири-

ной 80 м надо попасть в точку, лежащую на 60 м выше по течению, чем точка старта. Лодочник управляет моторной лодкой так, что она движется точно к цели со скоростью $4,5 \text{ м/с}$

относительно берега. Какова при этом скорость лодки относительно воды, если скорость течения $2,1 \text{ м/с}$? (Ответ: 6 м/с.)