

Проф. Б. ДОНАТ

ВОЛЧОК

и его будущее в технике

Проблема волчка при настоящем состоянии математики, по-видимому, не может быть решена исчерпывающим образом. Установлены лишь главные моменты этого сложного явления, но и этого было достаточно, чтобы волчок, представлявшийся до того только забавной игрушкой, стал предметом всестороннего и серьезного исследования. Действительно, представители машинной техники убедились, что в волчке они проглядели принцип и конструктивный элемент огромного значения. Таким образом, теперь оживился интерес к волчку, выдвинувший его на передний план не только для специалиста, но и для всякого образованного человека; в однорельсовой железной дороге мы уже видим первые плоды новых успехов знания.

Явления вращения волчка вообще известны всем, но только относительно причин и следствий этого вращения еще очень многое остается тайной. Прежде всего в волчке поражает, можно сказать, капризный характер, или, лучше, удивительное своеобразие его движения. Замечательно уже то, что вращающемуся волчку, по-видимому, совершенно чуждо неустойчивое равновесие и, вопреки всякому нашему ожиданию, он балансирует на своем острие, как палка. Он находится в «неустойчивом» равновесии, которое практически не может долго сохраняться; он необходимо должен опрокинуться. Таким образом, в волчке, очевидно, только с вращением появляется жизнь и устойчивость, или, другими словами, только тогда выступают силы, противодействующие земному притяжению, которое стремится опрокинуть волчок. Откуда берутся эти силы и чем они объясняются?

Всякое объяснение, построенное элементарными средствами, в конце концов, неудовлетворительно. Если мы все-таки делаем попытку в этом направлении, то мы прекрасно знаем, что ею мы можем удовлетворить лишь первую потребность пути уяснения этого явления. Волчок представляет собою систему материальных точек, симметрически вращающихся вокруг оси; все эти материальные точки подчинены Ньютону закону инерции, т. е. стремятся сохранить направление

своего пути. Очевидно, что этот путь (рис. 1, слева) под влиянием центробежной силы, действующей наружу, и сил упругости, действующих внутрь, должен в нашем случае быть горизонтальным и круговым. Когда волчок вращается влево, — если смотреть на него сверху, — то все материальные точки у A движутся по направлению к наблюдателю, у точки B — удаляются от него; у точки C — проходят мимо него слева направо и т. д. Рассмотрим сначала только места A и B и представим себе в то же время, что мы опрокидываем волчок назад. Тогда массы у точки A внезапно оказываются вынужденными двигаться наискось вверх, а у точки B — наискось вниз; но так как они по инерции стремятся оставаться на своем горизонтальном пути, то понятно, почему волчок сопротивляется всякой попытке опрокинуть его ось и противопоставляет последнему свою инерцию, которая — заметим мимоходом — растет пропорционально числу частиц массы (т. е. весу волчка) и квадрату числа оборотов, которое он делает в минуту. Беспрепятственно удаются только параллельные перемещения оси, которые можно получить, например, если тянуть в сторону волчок на листе бумаги. В этом смысле можно вообще говорить о *постоянном стремлении волчка сохранять направление своей оси в пространстве*.

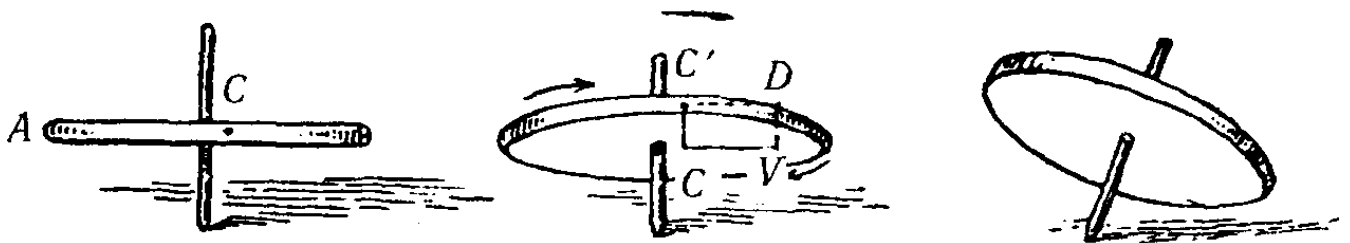


Рис. 1. К объяснению устойчивости и прецессии волчка.

Все сказанное до сих пор, пожалуй, известно. Но волчок совершает еще одно особенное, самостоятельное движение, которое, собственно, и придает интерес всей проблеме. Именно, когда волчок, сопротивляясь нашему воздействию, подается и наклоняется также в сторону, перпендикулярную к направлению толчка (в нашем случае вправо), так что в следующий момент он наклонен назад и в то же время вправо. Это уклонение волчка под прямым углом в плоскости, в которой его старались опрокинуть, называется его «прецессией». Она обязана своим происхождением тем частицам его массы, которые при толчке не толь-

ко получают изменение в направлении движения, но в то же время при этом поднимаются или опускаются, — например, материальным частицам, находящимся у точки C (рис. 1, средний чертеж). В то самое время, как такая частица стремится повернуться от C к V , она одновременно поднимается в положение C' и таким образом внезапно принуждена двигаться по диагонали CD . Но так как она стремится держаться старого направления CV , то она вместе с другими частицами наклоняет волчок вправо, как это указано стрелкой вверху у оси.

Если бы мы сами еще нажали волчок вправо, то последовала бы прецессия в плоскости, направленной к нам, т. е. тогда ось, как это легко себе уяснить, наклонилась бы верхушкой вперед (так как теперь точка A поднимается). Другими словами, *если в направлении, в котором произошла прецессия, стала действовать опрокидывающая сила, то последняя вызывает новую прецессию, направление которой противоположно той опрокидывающей силе, которая вызывает первую прецессию.* Мы видим, что дело усложняется. Но нам и незачем идти дальше: мы можем обещать читателю, спокойно уяснившему себе эти своеобразные отношения, и, может быть, изучившему их практически на маленькой модели, что все дальнейшее будет ему понятно.

Имея игрушечный волчок, вращающийся в кольце*, можно легко убедиться в существовании прецессионного движения, если держать вращающийся волчок между пальцами в таком положении, как показано на рис. 2. Если тогда быстро повернуть кольцо вправо, — следовательно, и ось наклонить также вправо, — то ясно получается ощущение сопротивления и в то же время чувствуется, что волчок хочет выскользнуть из пальцев по направлению длинной стрелки. Само собою понятно, что направление прецессии зависит от характера вращения волчка и от направления, в котором наклоняют ось волчка.

Уже эти краткие замечания и соображения могут дать интересное освещение многим явлениям повседневной жизни. Всякое колесо, всякий обруч, ружейная пуля из нарезного ствола, вращающийся двойной конус игрушки диаволо, наш земной шар и т. д. — все это волчки, часто обладающие значительной быстротой вращения и массой. Во всех этих случаях сохранение направления оси до очевидности ясно. Обруч не падает до тех пор, пока он катится, так же, как и двухколесный велосипед

*См. статью *А. Васильева* «Некоторые свойства вращающегося твердого тела». «Вестник Опытн. Физ. и Элемент. Мат.», № 519.

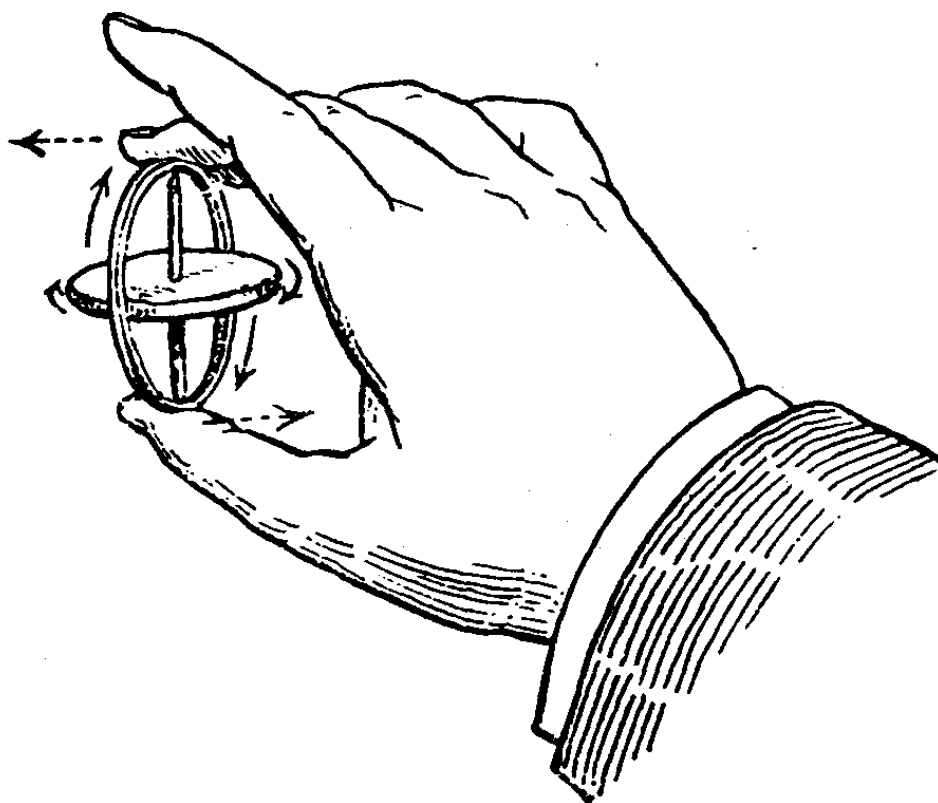


Рис. 2. Опыт прецессии с игрушечным волчком.

(оба с горизонтальными осями); точно так же и диаволо возвращается в то же положение, из которого его бросили. Прецессию же можно заметить здесь в некоторой степени только тогда, когда появляются осеопрокидывающие силы, — например, если обруч или велосипед попадает под действие боковых ударов ветра. Большею частью, однако, здесь размер прецессии незначителен. В противном случае железнодорожный поезд, — который вследствие своей прямолинейно мчащейся массы уже сам по себе обнаруживает стремление при поворотах соскочить с рельс, — вследствие прецессии своих наклоненных в сторону колес стремился бы также и опрокинуться. Но если масса велика или рассматриваемая система очень чувствительна, то и прецессия может стать заметной и часто может обнаружиться в очень неприятной форме. Приведем поразительный пример. Сидит на велосипеде новичок*. Хотя еще неуверенно управляемый рулем, велосипед послушно несется по прямому пути. Неожиданно слева впереди показывается препятствие, — скажем, куча камней. И вот ездок инстинктивно наклоняется

*См. статью А. Васильева «Об устойчивости велосипеда в движении». «Вестник Опыта. Физ. и Элемент. Мат.», № 531.

вправо. Но это ему несколько не помогает. Как будто притянутый магнитом и «вопреки всякому здравому смыслу», велосипед катится прямо на это препятствие. Это классический пример действия прецессии. Произведенное отклонение горизонтальной передней оси вправо имело следствием поворот именно этой оси вперед и вследствие этого — поворот руля влево.

Лишь с недавнего времени волчок из рук физика перешел в руки техника. Последний, как уже сказано, с целью использовать известные вращения волчка, сделал из него машину или, по крайней мере, часть машины. Все теперь предстало в увеличенном размере. Вращающийся кружок стал громадным, весит несколько центнеров; оси вращаются уже не на остриях, а в хорошо смазанных шариковых подшипниках; приводится теперь в движение волчок уже не разматыванием шнурка, а паром или сильным электромотором, которые сообщили ему непрерывное бешеное вращение. Что устроенный таким образом волчок должен получить огромную способность сопротивления по отношению к внешним силам, ясно без дальнейших рассуждений. Но какое употребление делает из него техника?

Первым техником, заинтересовавшимся волчком или, правильнее, попытавшимся воспользоваться им на пользу страждущему человечеству, был корабельный инженер Консуль Шлик (Schlik), который пытался бороться с муками морской болезни с помощью интересного физического принципа. Как известно, под действием ветра и морского волнения судно совершает колебания двоякого рода. Во-первых, оно имеет боковую качку, т. е. колеблется в боковом направлении с правого борта на левый и обратно; во-вторых, оно имеет килевую качку, т. е. колеблется в продольном направлении сзади наперед и обратно. Из этих двух слагающихся составляется иногда то печальной известности сложное движение, против которого недолго могут устоять самые неподатливые против морской болезни желудки.

И вот напрашивается мысль прочно установить на судне волчок, который несомненно обеспечил бы судну значительную устойчивость против морских волн. Такая мысль напрашивается, но, к сожалению, в этой форме она неосуществима. Подобный волчок был бы настоящим бедствием для судна. Допустим, что ось волчка стояла бы вертикально. Тогда мы имели бы сопротивление, например, против боковой качки, но в то же время, смотря по направлению вращения волчка, произо-

шла бы прецессия вперед или назад, и таким образом волчок погрузил бы в воду нос или корму. При килевой качке дело шло бы в обратном порядке. Парализуя это движение, волчок в то же время опрокидывает судно, нанося ему боковой удар в правый или левый борт. Следовательно, этим способом ничего не выигрывается. Судовой волчок, имеющий в своем вращении одну степень свободы (под каковым разумеется вращение его вокруг своей оси), невозможен.

Поэтому Шлик устроил две степени свободы: кроме вращения вокруг своей оси, его волчок допускает еще одно движение, перпендикулярное к нему. Отношения обеих осей между собой, равно как и их положение на судне, может пояснить рисунок 3, конечно, исполненный совершенно схематически. Представим себе, что волчок заключен в раму, а концы горизонтальной оси этой рамы в борты, в которых они легко вращаются. Очевидно, что вся килевая качка нисколько не влияет на волчок, но при бортовой качке он увлекается судном и вместе с ним опрокидывается на бок. Ясно, что произойдет теперь, если волчок пущен в ход. Допустим, что катится волна со стороны правого борта; тогда она будет стремиться опрокинуть судно вместе с волчком на левый борт. Естественно, что этому опрокидыванию волчок окажет сопротивление, и в то же время у него произойдет прецессия по направлению вперед; волчок может произвести эту прецессию беспрепятственно, не увлекая за собой судна в этом направлении. Если волна прикатила с левого борта, то и здесь момент опрокидывания был бы значительно ослаблен; в то же время должна была бы произойти прецессия по направлению назад.

Мы видим таким образом, что волчок предохраняет судно только от чрезмерной боковой качки. Если желательно уменьшить килевую качку, то следует установить второй волчок или, лучше, два волчка с осью в продольном направлении, способных свободно двигаться в поперечном направлении. Во всяком случае, волчки должны быть снабжены системой буферов и тормозов, которые восприняли бы излишнюю прецессию и плавно свели бы ее к нулю. Эти тормоза, действительно, имеют огромное значение для судового волчка Шлика и представляют важную составную часть всей конструкции. Если бы существовало полное соответствие всех факторов, т. е. одинаковое число колебаний морских волн, суда и рам волчков (рассматриваемых в качестве маятника), то можно было бы обойтись без тормоза. Таким образом, часть

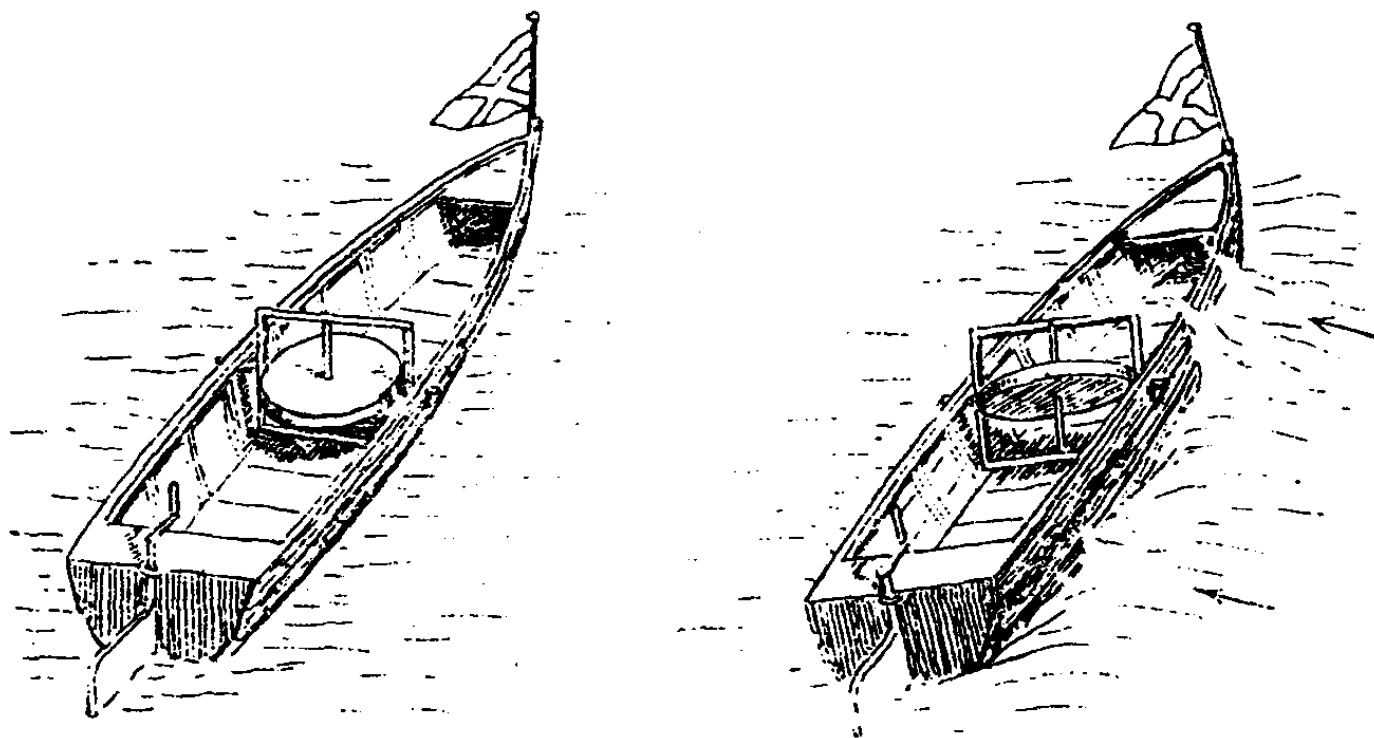


Рис. 3. Схематическое изображение судового волчка Шлика.

энергии прецессии должна постоянно уничтожаться, — конечно, не вся, так как тогда наступил бы описанный выше случай волчка, установленного неподвижно по всем направлениям. Мы не можем здесь войти в детали этой довольно сложной теории.

Подобные судовые волчки не раз вводились в употребление с техническим успехом, например, на «Сильване», пароходе, обслуживающем курорты Северного моря. Волчок на «Сильване» находится приблизительно посередине корпуса, приводится в движение паром, при диаметре в 1,6 м, делает до 2000 оборотов в минуту и весит 6000 кг. Отсюда можно составить себе представление об инерции его массы. Экономической стороны вопроса мы здесь не станем касаться; во всяком случае, техникам придется в каждом отдельном случае решать, до каких пределов могут идти размеры этого сооружения. Не последнее место должно занять соображение, что крепость конструкции судна, снабженного волчком, — которое не принаравливается к движению морских волн, а представляет собою как бы мол в морском прибое, — должна быть очень значительной вследствие напора водяных масс. Как здесь установить наиболее благоприятные условия действия волчка, решить нелегко.

Гораздо острее еще стоит вопрос об устойчивости для летательных аппаратов. Все до сих пор введенные в конструкцию их детали, как известно, не привели к автоматической устойчивости против опрокидывающих моментов. Естественно, что подумывали также о волчке: но присоединить к летательному аппарату тяжелый волчок — это значит идти на дальнейшее увеличение несоответствия между требуемой силой и полезной нагрузкой, уже без того достаточно вредного; на это конечно, трудно решиться. Следовательно, пока еще речь идет о теоретической проблеме. Во всяком случае, правильнее было бы прежде всего изучить влияние того волчка, который несет с собой всякий летательный аппарат в своем пропеллере и моторе, — тем более, что последним служит так называемый мотор с вращательным движением, в котором цилиндры звездчатой формы вращаются вокруг оси. Вообще, следует признать, что подобные машины, при внезапных изменениях курса в сторону или в высоту, должны оказать влияние на положение летательного аппарата.

Все эти практические применения волчка имели до сих пор интерес скорее для специалиста, чем для профана. Действительно популярным техническое применение волчка стало, несомненно, только благодаря однорельсовому вагону.

Всем еще памятно то впечатление, которое произвел около года тому назад Бреннан — Шерловский однорельсовый вагон, когда он в первый раз появился перед публикой на выставке в Берлинском зоологическом саду. Зрелище, действительно, было совершенно необычное и странное. Маленькая, открытая вагонетка на несколько мест (рис. 4) катилась на двух колесах, помещенных одно за другим, только по *одному* рельсу и с прямо поразительной устойчивостью. Она изменяла скорость движения, легко скользила по самым крутым закруглениям и даже *делала остановки*, чтобы выпустить пассажиров. И при этом она не опрокидывалась.

Для того чтобы понять принцип устройства этого замечательного однорельсового вагона, обратимся прежде всего к обыкновенному железнодорожному вагону, который твердо стоит на своих двух колесах. Если его несколько наклонить на бок, то сила притяжения Земли, имеющая приложение в его центре тяжести, снова ставит его прямо. Следовательно, его устойчивость на рельсах обеспечивается «внешними силами». У однорельсового вагона условия, очевидно, совершенно

иные. Он находится в неустойчивом равновесии, и сила тяжести стремится не поставить его прямо, а опрокинуть его. Чтобы удержать его в стоячем положении, необходимы, следовательно, «внутренние силы», и волчок дает возможность получить такие силы, хотя вопрос здесь по существу иной, чем в судовом волчке Шлика. Волчок Шлика, устроенный точно таким же образом, как на судне, дал бы следующие результаты. Когда вагон наклоняется, волчок, во всяком случае, окажет этому известное сопротивление; но в то же время его ось, вследствие прецессии, перейдет из вертикального положения также в наклонное, только по направлению вперед*. И вот вагон уже стоит немного наклонно, так как он не может, подобно судну, выпрямиться сам по себе; а все сильнее действующая сила тяжести клонит его больше набок. Этому снова сопротивляется волчок, но в то же время и его ось, вследствие прецессии, все больше переходит в горизонтальное положение. А как только это произойдет, вагон окончательно погиб потому, что ось волчка вообще уже больше не опрокидывается, а только передвигается параллельно самой себе, и он больше не оказывает уже никакого сопротивления; дело обстоит так, как будто волчка вовсе не существует. Таким образом, волчок, устроенный по способу Шлика, мог бы, правда, вначале несколько оттянуть падение вагона, но не мог бы его вовсе предотвратить.

В чем же заключается тайна устройства однорельсового вагона, которому дает устойчивость именно волчок? Если читатель заглянет в одну из предыдущих страниц, он найдет там следующее установленное нами положение: принудительное опрокидывание оси волчка в направлении наступающей прецессии вызывает действие силы, которая *противоположна* силе, вызывающей прецессию. Если мы, таким образом, к прецессии, претерпеваемой волчком при опрокидывании вагона, присоединим в том же направлении насильно *еще дальнейшую прецессию*, то вагон *снова выпрямляется*. Таково разрешение загадки. «Эта добавочная прецессия» является, конечно, технически трудно разрешимой задачей; но затруднения, по-видимому, уже преодолены. В пробном вагоне Шерловских инженеров установлены приблизительно на уровне пола два волчка с вертикальной осью, вращающиеся в противоположных направлениях. Вагон приводится в движение обычным образом, подобно электрическому трамваю, электродвигателями, так же, как и

* Или назад, смотря по вращению волчка.

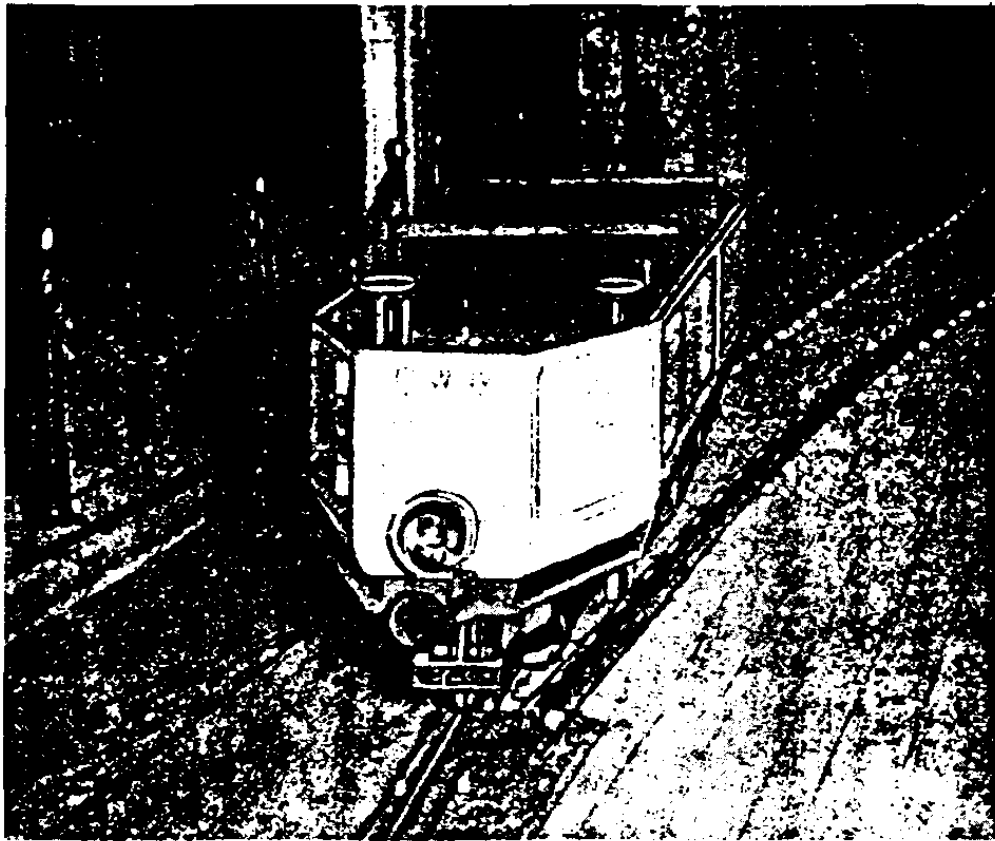


Рис. 4. Однорельсовый вагон.

волчки; число оборотов последних доходит до 8 000 в минуту, а вес — до 57 кг. Когда вагон накрывается и волчки претерпевают прецессию, то немедленно вступает в действие очень чувствительный механизм добавочной прецессии, который усиливает прецессию и выпрямляет вагон; последний тогда по инерции накрывается немного в другую сторону. Там повторяется та же история, и таким образом однорельсовый вагон, строго говоря, постоянно колеблется по обе стороны своего вертикального положения, но, конечно, так слабо, что это едва заметно.

Если центр тяжести вагона передвигается, например, оттого, что пассажиры входят сбоку, то, благодаря этому новому опрокидывающему моменту, усиливается как прецессия, так и добавочная прецессия, и вагон наклоняется в *другую* сторону, пока центр тяжести снова не будет подпираться рельсом. Это, во всяком случае, кажется довольно странным. Надо представить себе катящийся только по одному рельсу вагон, который вследствие нагрузки на правой стороне накрывается на левую сторону. Это зрелище совершенно необычно и настолько противоречит всякому опыту, что поразительный эффект его на наивного зрителя приходится назвать прямо колоссальным.

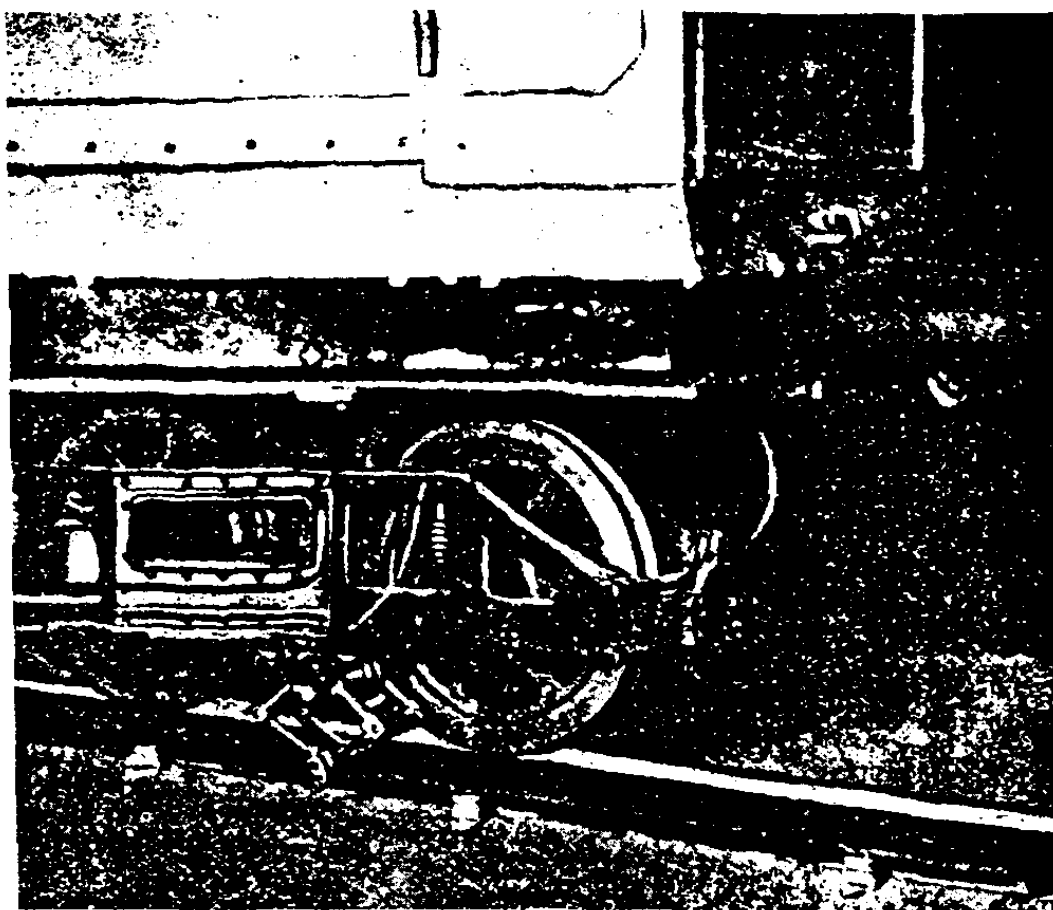


Рис. 5. Передняя пара колес и приемник тока в однорельсовом вагоне.

На закруглениях центробежная сила, действующая наружу, заменяет собой одностороннюю нагрузку. Поэтому вагон наклоняется в противоположную сторону, т. е. вовнутрь, и, следовательно, на закруглениях *автоматически* становится так, что равнодействующая из силы тяжести и центробежной силы всегда проходит через центр тяжести вагона и головку рельса. Таким образом, если предположить технически совершенное устройство, то пассажир не мог бы даже заметить, что он въехал на закругление, и что вагон наклоняется; он мог бы продолжать на этом закруглении партию на бильярде, начатую им еще на прямом пути. Во всяком случае, в физическом смысле однорельсовый вагон представляет собою самый безопасный экипаж, — безразлично, стоит ли он на месте или находится в ходу, идет ли он по крутому закруглению или, как канатный плясун, скользит по крепкому проволочному канату над глубочайшей пропастью. И даже движущий механизм волчков может приостановиться, так как волчки и после того вращаются еще около часа. Только механизм для добавочной прецессии *не должен* отказываться служить, потому что тогда, несмотря на

все подпорки, которые можно опустить с помощью ручного привода, вагон перевернулся бы.

Трудно представить себе картину будущего, которое предстоит однорельсовому вагону. Там, где земля для широкой полосы слишком дорога, или где недостаток рабочих рук или неровная поверхность сами по себе препятствуют положению дорогого стоящей двухрельсовой железной дороги, как, например, в колониальных странах, — там уже теперь однорельсовая дорога может найти полезное применение. Но может ли она когда-нибудь дать возможность осуществить мечту об ускорении сообщения во всем мире (при этом мечтают о скорости, по крайней мере, в 200 км в час, — следовательно, для расстояния Берлин-Гамбург — о времени, немногим больше одного часа) — это вопрос: с этим еще придется немало подождать. Препятствия здесь прежде всего далеко не столько технические, сколько экономические.

Наконец, пришли к мысли сделать волчок компасом и этим выдвинули в высшей степени интересную проблему. Здесь собственно идет дело о двойной проблеме: *о движении одного волчка на другом*, — в том смысле, что один движется по другому, как карусель. На это не следует смотреть как на хитроумную выдумку, годную просто лишь для математического упражнения. Ведь наш земной шар сам представляет собой волчок, и, следовательно, мы, строго говоря, не в состоянии проделать опыта с волчком без того, чтобы этот опыт фактически не происходил на другом волчке.

Если бы при этом обнаружилась взаимная зависимость обоих движений, то волчок проявил бы известное отношение к космическим величинам. Так оно и есть в действительности, когда волчок подвешен в кардановом подвесе и точка привеса совпадает с центром тяжести всей системы. Подобного рода волчок с тремя степенями свободы, сохраняя неизменным направление своей оси, постоянно будет направлен в ту сторону мирового пространства, в которую он был установлен вначале; таким образом, следуя, например, за восходящим светилом, волчок в течение 24 часов принимал бы самые различные положения относительно земной поверхности. Уже Фуко был такого мнения, что с помощью волчка мы должны быть в состоянии продемонстрировать вращение Земли в короткое время, — так сказать, на лабораторном столе. К сожалению, для выполнения такого опыта ему не доставало всех утонченных технических приспособлений.

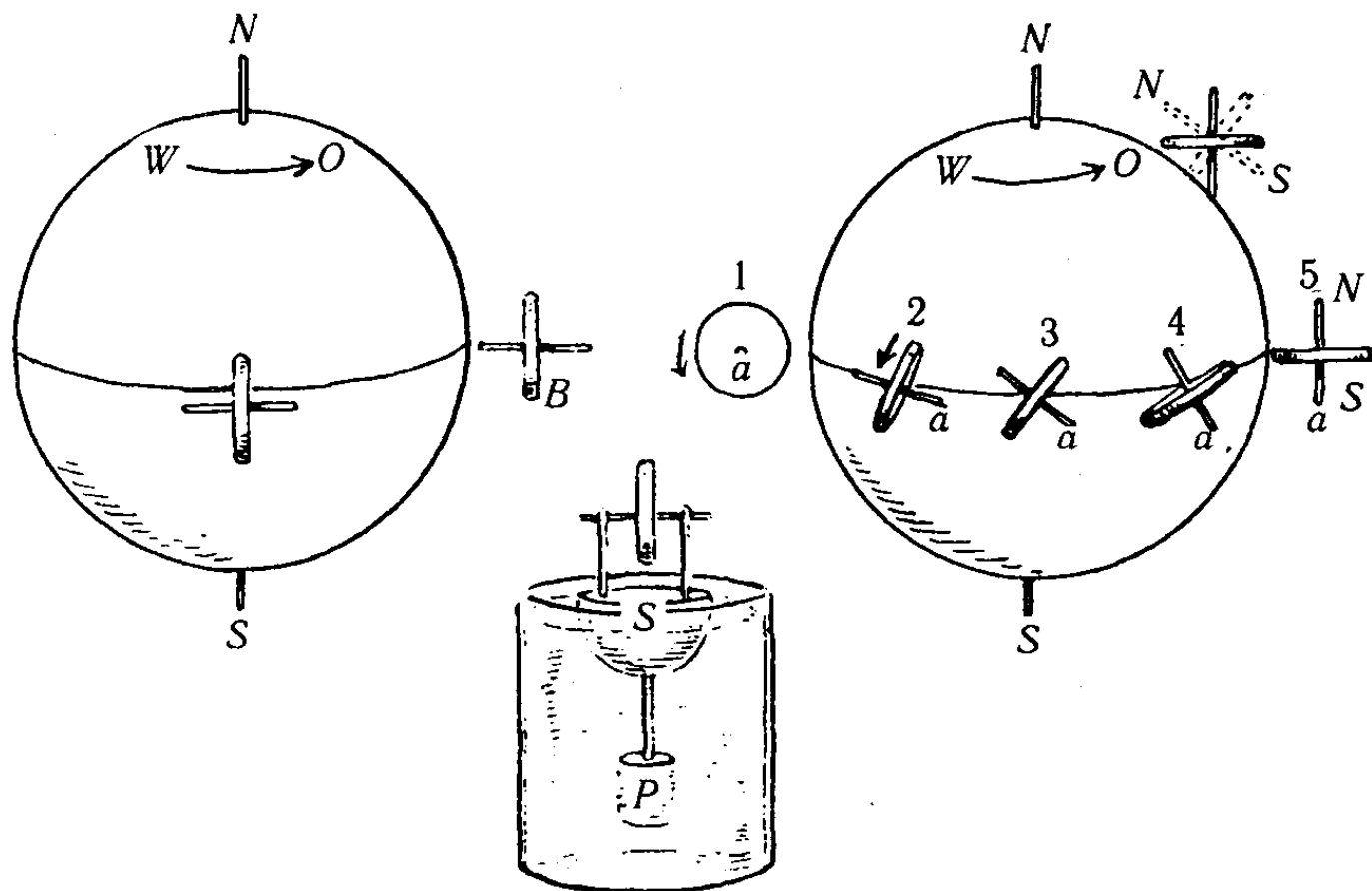


Рис. 6. Схематический набросок для объяснения компаса-волчка.

Напрощивается мысль воспользоваться волчком, уравновешенным подобным образом, для ориентирования на Земле. В самом деле, будь такой постоянно вращающийся волчок направлен на Полярную звезду, он стоял бы вертикально на земном полюсе и лежал бы горизонтально на экваторе, или, другими словами, на каждом месте земной поверхности он указывал бы не только направление меридиана, но и широту места, благодаря наклонению своей оси к горизонту, — само собой разумеется, независимо от всей магнитных влияний.

Магнитным компасом уже давно недовольны. Он показывает неточно, и неточность его меняется с каждым местом, с каждым годом: он отклоняется местными магнитными массами часто совершенно бесконтрольным образом, будь то на дне моря, на берегу или даже на самом судне; его показания на подводной лодке, заключенной со всех сторон в железную броню, становятся уже совершенно ненадежными. К сожалению, только что описанный волчок мало может помочь делу, так как до сих пор не удавалось его так подвесить, чтобы точка

привеса совпадала с центром тяжести. А всякое самое незначительное несовпадение было бы губительно для слабых направляющих сил. Точно с того момента, когда — именно благодаря трудам д-ра Аншютца (Anschütz) — устроена была подвеска с *двумя степенями свободы*, мы имеем действительно практический компас-волчок.

В этом случае волчок так установлен, что его ось, вследствие притяжения Земли, удерживается постоянно в горизонтальном положении; в то же время он может при этом вращаться вокруг своей собственной оси и, помимо того, благодаря способу подвески, еще вокруг вертикальной оси. Это устройство следует себе представить приблизительно так. Приводимый в постоянное движение электрическими силами волчок (рис. 6, середина) укреплен горизонтальными осевыми подшипниками на полой теле S , которое плавает в сосуде, наполненном водой. Тяжелый привес P переносит центр тяжести всей системы глубоко вниз, чтобы обеспечить этому маленькому судну вертикальное положение. Если представить себе, что весь этот прибор помещен на экваторе и вместе с вращающейся земной поверхностью движется с запада на восток, то ось волчка, если она также лежит в направлении с запада на восток, будет, по-видимому, стремиться подниматься и через 6 часов должна перейти из положения A в положение B (рис. 6, левая сторона). Но плавательный аппарат и подвешенная к нему тяжесть P препятствуют этому и заставляют ось волчка оставаться постоянно в горизонтальном, т. е. параллельном земной поверхности, положении; другими словами, ось волчка, вследствие вращения Земли будет постоянно опрокидываться по направлению опять-таки с запада на восток. В результате этого опрокидывания должна, как нам известно, произойти прецессия перпендикулярно к направлению опрокидывания (рис. 6, правая сторона), т. е. ось волчка (вместе со всем прибором, на котором она плавает) должна будет постепенно поворачиваться в направлении север-юг (ср. положения 2, 3, 4, 5). Как только это последнее направление достигнуто, дальнейшее колебание оси прекращается, так как теперь ось волчка уже больше не опрокидывается, а только передвигается параллельно самой себе. Из всякого другого положения плавающий волчок тотчас вернулся бы в направление с севера на юг; он приобретает два полюса, точно так же, как их имеет магнитная стрелка, но преимущество его перед последней заключается в том, что он показывает правильное астрономическое направление.

Бесшумно, без сотрясения несется наш земной шар уже миллионы лет по своей орбите вокруг Солнца и вращается вокруг своей оси. Спокойствие и однообразие этого величественного движения так велико, что еще ни один человек сам не ощутил этого движения на Земле. Но искусно подвешенный волчок чувствует, что Земля вращается; скованный с нею цепями силы тяготения, он поворачивается до тех пор, пока его ось не примет одного и того же направления с земной осью или же, по крайней мере, пока не попадет в одну и ту же плоскость ориентирования в мировом пространстве.

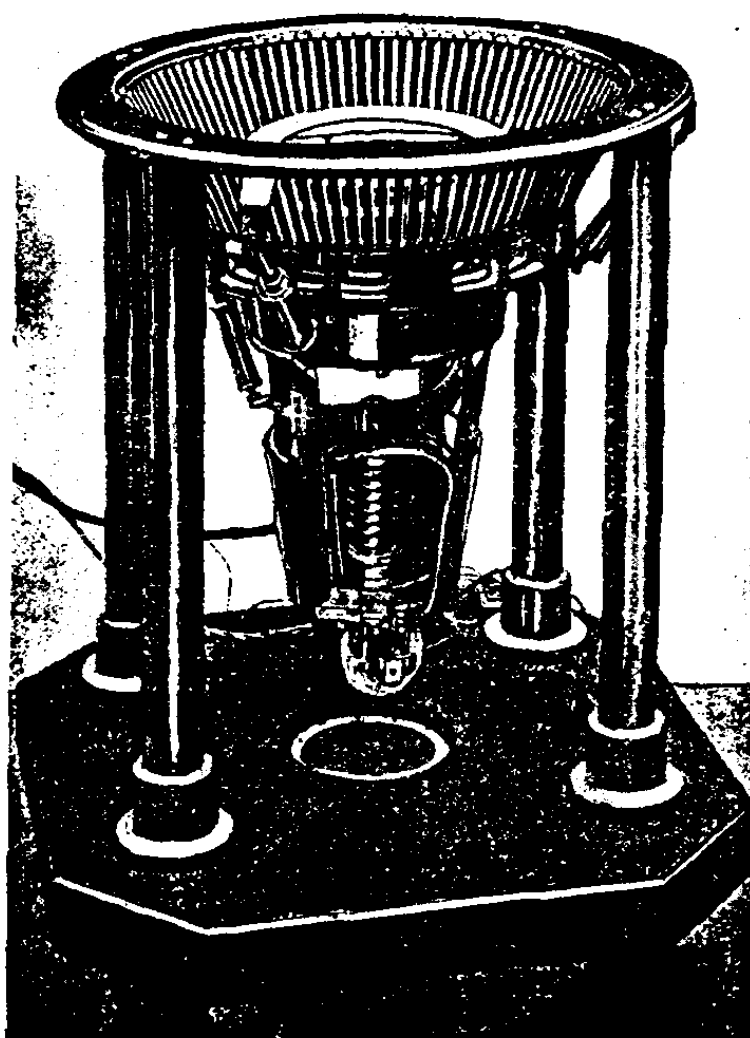


Рис. 7. Компас-волчок с электрической передачей.

Таков в общем принцип компаса-волчка. Да простят мне все те, кто, отдавшись на долгие годы тяжелой теоретической и практической работе, трудились над одной из самых сложных проблем, если я, ис-

ключительно с целью заинтересовать этим вопросом широкую публику, взялся за такое сравнительно поверхностное изложение. Профан, действительно, едва ли может представить себе, какое огромное количество чисто математической работы положено на компас-волчок, не говоря уже о представившихся технических затруднениях. Нужны были многие годы самоотверженного труда, пока удалось довести механический компас до практического применения.

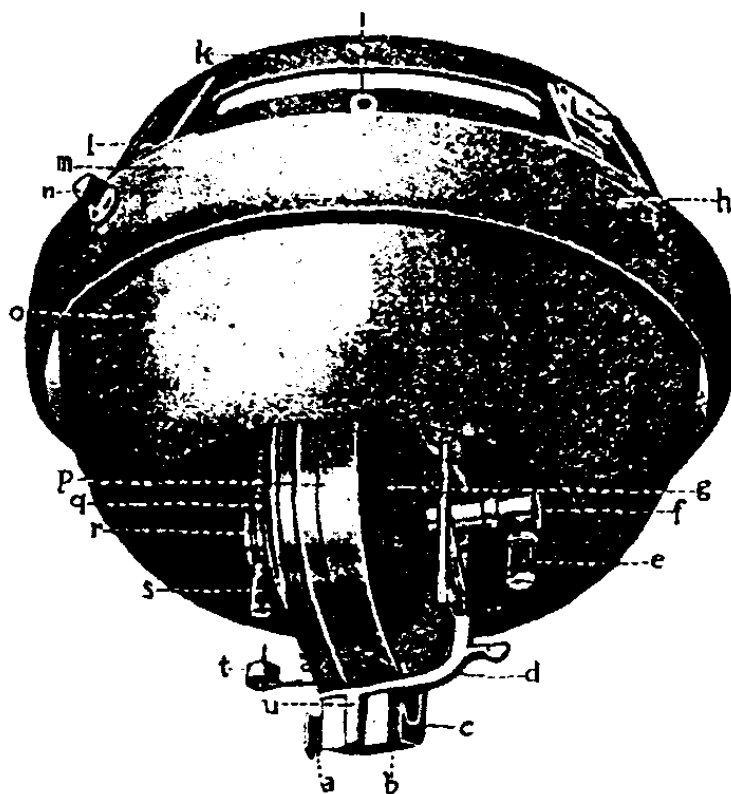


Рис. 8. Вид компаса-волчка сбоку и снизу с кожухом волчка.

Прежде всего компас-волчок имеет, конечно, другой вид, чем мы его до сих пор представляли. Его внешний вид неподготовленного зрителя приводит прямо в смущение. Рисунок 7, которым, как и следующими, мы обязаны фирме «Д-р Аншютц и К^о» в Неймилен-Дитрихсдорфе возле Киля (D-r Anschütz & C^o in Neumüller-Dietrichsdorf bei Kiel), преимущественно занимающейся изготовлением эти приборов, — представляет компас-волчок, именно так называемый Mutterkompass — главный компас. В кольце, поддерживаемом столбами, на венке из спиральных пружин, которые должны воспринимать толчки судового корпуса, висит собственно компасный аппарат. Он состоит из котла, наполненного ртутью, в котором находится устроенный также в форме котла попла-

вок. На последнем висит снизу волчок, играющий также роль грузила. Поплавок, который, конечно, от действия волчка вместе с ним меняет направление, снабжен сверху компасной катушкой (розой ветров), положение которой может быть обычным способом определено относительно какой-нибудь неподвижной черты. Рисунок 8 представляет еще раз отдельно компасный котел с подвешенным к нему кожухом волчка. Сам волчок представляет собой чудо технического искусства. Так как он при сравнительно небольшой массе должен делать около 300 или даже еще больше оборотов в секунду для того, чтобы доставить необходимую направляющую силу, то можно себе представить, какая здесь требуется абсолютная симметрия массы и прочность конструкции. Был уже случай, что, несмотря на все предосторожности, развивающиеся здесь чрезмерные центробежные силы разорвали волчок прямо на куски. А что должны выдержать подшипники! Будем считать только 20 000 оборотов в минуту. Это составит в час уже 1 200 000, а в 24 ч. — 28 800 000 оборотов или за время пути от Бремена до Нью-Йорка — около 172 800 000 оборотов. Мы должны проникнуться прямо благоговением перед техническим искусством, узнавши, что оси и подшипники даже после действия в течение месяцев не обнаруживают заметного изнашивания.

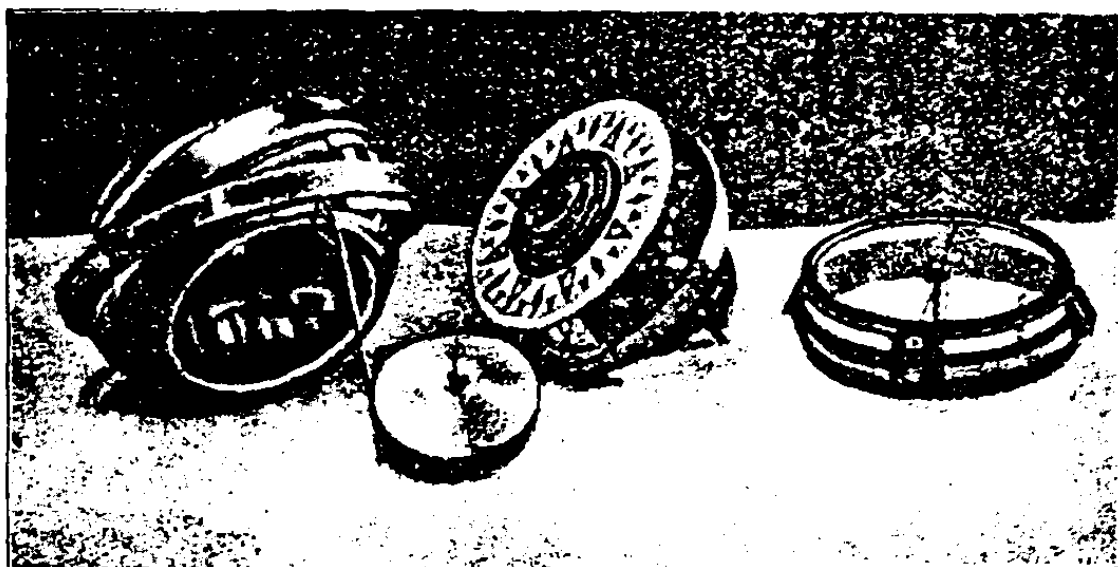


Рис. 9. Подвес, волчок и циферблат с розой ветров компаса-волчка.

В большинстве случаев можно будет по-прежнему пользоваться магнитным компасом, а механический компас пускать в ход для контроля во всех таких случаях, в которых показания магнитной стрелки

сомнительны. Впрочем, волчок не моментально дает правильное показание; он должен еще только быть направлен вращением Земли, для чего вначале требуется около 2–3-часового действия волчка. Этот промежуток можно сократить, если прямо привести компас приблизительно в надлежащее положение. Географическая широта также будет иметь свое влияние, так как направляющая сила, естественно, совершенно отсутствует на полюсе и наибольшую величину имеет на экваторе. Даже скорость движения самого судна, хотя она, в сравнении со скоростью движения какой-нибудь точки земной поверхности в низших широтах, всегда очень незначительна, все же при известных обстоятельствах может оказывать заметное влияние. Если судно движется по меридиану на север (ср. рис. 6, справа), то происходит также непрерывное опрокидывание оси (место, отмеченное черточками), а вместе с тем, вследствие прецессии, постоянное отталкивание компасной розы на восток или запад, смотря по направлению движения.

Все эти явления в совокупности должны, конечно, приниматься во внимание, что легко осуществимо, благодаря уже заранее составленным таблицам.

Двигателем вращающегося в своем кожухе волчка является электричество в виде трехфазного тока. Вращающийся диск волчка сам образует якорь трехфазного поля.

Остроумное электрическое приспособление, составляющее одно из главных преимуществ компаса-волчка, дает возможность показания главного компаса переносить на произвольное число побочных циферблатов с нанесенной на каждом розой ветров. Как выполняется эта передача и какие технические затруднения удалось при этом счастливо преодолеть, мы здесь, к сожалению, изложить не можем. И вот, главный компас будет установлен там, где его лучше всего можно будет обезопасить от колебаний в температуре, влияний погоды, толчков и качаний судна, — например, посредине судна под палубой; побочные циферблаты помещаются в соответственных местах, — например, в рулевой будке, у румпеля на корме и в капитанской каюте. Они, впрочем, не требуют горизонтального положения, а допускают всякое, в котором легко наблюдать их показания.

Много компасов-волчков уже изготовлено и, как слышно, успешно. Дешевым такой аппарат, конечно, не может быть, но этого и не нужно. Что, в самом деле, составляет какая-нибудь пара тысяч марок там, где

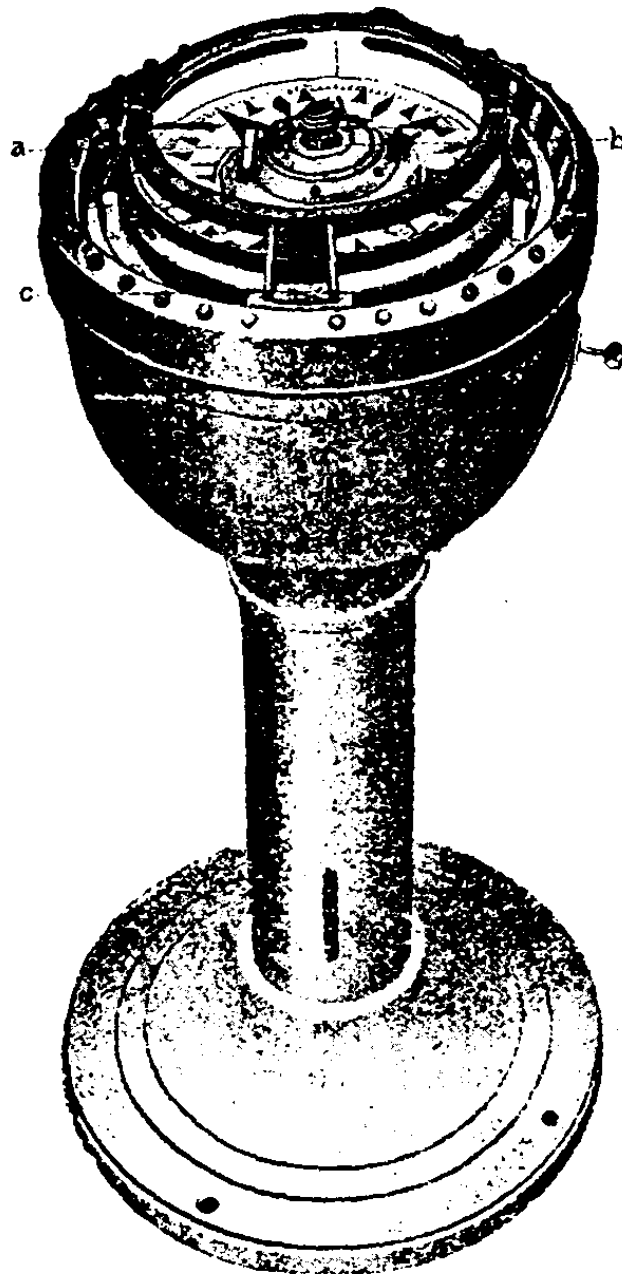


Рис. 10. Колонна с рулевым компасом (компасом-волчком).

доверяются безопасному плаванию сотни тысяч людей и ценности на бесчисленные миллионы?

Из этих немногих примеров читатель увидит, до каких технических размеров развился принцип, так мало обещавший вначале. И, может быть, найдется целый ряд таких известных, но нецененных принципов, ожидающих своей очереди быть извлеченными из тьмы на свет дневной. Кто может сегодня сказать, с какими поразительными сюрпризами нам еще придется иметь дело?

Замечательным и многообещающим является прежде всего отношение между движением волчка и вращением Земли, которое прояв-

ляется в стремлении к параллельности осей. Во всякой вещи, вращающейся на Земле, во всякой катящейся оси, и даже — если нам будет позволено употребить этот гиперболический оборот — во всякой танцующей паре кроется эта тоска по Полярной звезде. Хорошо только, что направляющие силы так незаметно малы, и что, очевидно, здесь речь идет лишь о «скрытой» тоске.



Джон Перри

ВРАЩАЮЩИЙСЯ ВОЛЧОК

Дизайнер М. В. Ботя

Технический редактор А. В. Ширококов

Корректор З. Ю. Соболева

Подписано в печать 02.08.01. Формат 60 × 84¹/₁₆.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,51. Уч. изд. л. 6,63.

Гарнитура Computer Modern Roman. Бумага газетная.

Тираж 1000 экз. Заказ № 362 т.

Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика»

426057, г. Ижевск, ул. Пастухова, 13.

Лицензия на издательскую деятельность ЛУ №084 от 03.04.00.

<http://rcd.ru> E-mail: borisov@uni.udm.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленных диапозитивов в ФГУП «Полиграф-ресурсы».

101429, г. Москва, ул. Петровка, 26.
