

УДК 629.7.036.3

ББК 22.21

Д181

Н. В. Даниленко

Иркутск, Россия

РОТОР В ПОЛЕ СУТОЧНОГО ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ

Рассматриваются особенности интерференции ротора гироскопа (ГТД и др.) в поле суточного вращения Земли с учётом азимутальной ориентации оси его вращения в плоскости горизонта. Приводятся азимутальная характеристика выбега ротора гироскопа и её следствия. Указывается на необходимость коррекции контролируемого времени выбега ротора при выключении ГТД на земле.

Ключевые слова: ротор гироскопа, выбег ротора, теория юлы, поле суточного вращения Земли, азимутальные характеристики ротора, перенос воздушных масс.

N. V. Danilenko

Irkutsk, Russia

A ROTOR IN THE FIELD OF THE DAILY ROTATION OF THE EARTH

The author considers peculiarities of interference of a gyro rotor (of a GTE and others) in the field of the daily rotation of the Earth taking into account the azimuth orientation of its axis of rotation in horizontal plane. The azimuthal characteristic of gyro rotor rundown is given. The author points out the necessity to correct the controlled rotor rundown time at GTE shutdown on the ground.

Key words: gyro rotor, rotor rundown, the theory of spinning tops, the field of the daily rotation of the Earth, the azimuthal characteristic of rotor, air mass transport.

Земля и её среды находятся в поле сложного и постоянно действующего естественного углового вращения. При этом активное суточное вращение Земли вокруг полярной оси NS в сотни раз превышает годовое её обращение вокруг Солнца. Следовательно, с точки зрения кинематики движения, суточное вращение Земли является определяющим и оказывает существенное влияние на биосферу, техносферу, её машины и механизмы, созданные и широко используемые человеком. Ярким примером такого влияния является отклоняющее действие кориолисовой силы [Тарг, 1986], изнашивающее рельсы и колёсные пары поездов, а также определяющее не только на восточный перенос полярных фронтов, но и на одноимённый дрейф льдов полярной шапки Земли. В поле стоковых течений кориолисова сила является катализатором и генератором одноимённых газовых и жидких вихрей.

Известен факт интерференции тела вращения юлы («волчка»), имеющего одну неподвижную точку, с суточным вращением нашей планеты [Тарг, 1986]. В поле суточного вращения Земли продольная ось ротора «волчка» наглядно формирует коническую поверхность, а все её точки, исключая опорную, совершают циркуляцию. Следовательно, в поле суточного вращения Земли все физические тела вращения, включая газовые вихри и жидкие водовороты, испытывают Западный (Восточный) перенос. Им также присуще изменение угловой скорости (частоты вращения) в ту или иную сторону.

Многие факты интерференции тел вращения и Земли малозаметны, или отвергаются специалистами. Например, в фигурном катании на льду для прыжков (бросков с вращением) принято циклоническое направление вращения спортсменов (в Северном полушарии Земли – против часовой стрелки). Такой прыжок (бросок) отличается сравнительно большей частотой вращения (оборотами). Прыжки с антициклоническим вращением менее результативны. Тренер спортсменов объясняет такой результат силой толчковой ноги.

Мнение автора статьи противоположно мнению тренера. Не зря спортсмены выбрали традиционные забеги по стадиону с циклоническим направлением движения (циркуляции). Подобное направление циркуляции в средних широтах

присуще циклонам и смерчам (торнадо в США). Как показали поверхностные исследования, циклоническое направление свободного вращения тел в поле суточного вращения Земли часто оказывается не только более лёгким, но и более производительным. Следовательно, оно может формировать процессы вращения, как с положительным, так и с отрицательным эффектом. Появилась познавательная проблема, требующая научного разрешения экспериментальными и (или) теоретическими методами.

Актуальность отмеченной проблемы очевидна. И ныне учёные США не могут установить физическую сущность циклонических вихрей и смерчей в силу дуализма их циркуляции (циклонического или антициклонического вращения). Глядя на «запад», российские учёные также затруднены в установлении физики и рабочего процесса мини-торнадо – стоковых вихрей воздухозаборников реактивных самолётов при работе ГТД на земле. Учёные гидродинамики не понимают двуликость вращения воды в сливных вихрях водоёмов и ванн. Можно привести и другие примеры отсутствия решения указанной проблемы.

Стоит задача – установить рабочий процесс и следствия интерференции тела свободного вращения с Землёй, имеющей собственное суточное вращение. Наиболее простым и достоверным направлением исследования является эксперимент. В качестве тела вращения выбран ротор гироскопа (*рис. 1*), продольная ось вращения которого $O-O'$ в исходном состоянии лежит в плоскости горизонта в заданной географической точке Земли и ориентирована по полярной оси NS .

Наиболее доступными параметрами исходного контроля вращения ротора приняты время его выбега и направление вращения ротора – циклоническое и антициклоническое. Для исключения влияния трения подшипников опор ротора направление его вращения по отношению к корпусу не изменялось – сохраня-

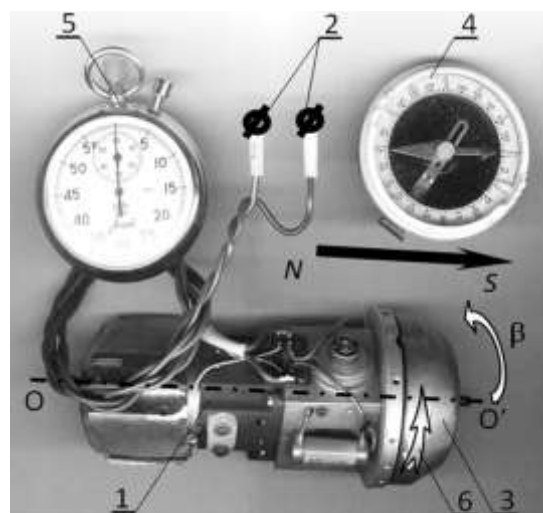


Рис. 1. Схема установки замера времени выбега ротора гироскопа

лась полярность на клеммах электропривода. В процессе контрольного эксперимента гироскоп принимал два диаметрально противоположных положения – носом на Северный полюс и наоборот.

Первые результаты времени выбега (50 и 58,5 с) удивили исследователя и осведомлённых специалистов в области авиационного оборудования. Время выбега ротора в первом и во втором случае отличалось друг от друга на десять и более процентов. Появилось сомнение в достоверности полученных результатов тестового эксперимента. Возможная причина разброса времени выбега ротора t_b могла быть определена:

1) исходной частотой раскрутки ротора n_p на момент Δt отключения питания, меньшей установившегося значения $\bar{n}_p < \bar{n}_{p,уст} = 1,0$ (рис. 2);

2) случайным нарушением полярности клемм гироскопа и источника электрического питания;

3) проведением эксперимента по замеру времени выбега ротора гироскопа в разных условиях – нарушена ориентация оси вращения ротора в азимутальной плоскости, или в плоскости местного меридиана.

Исключив вторую и третью причины побочного влияния на ротор гироскопа при вращении, было принято решение провести дальнейшие испытания и построить его разгонную характеристику. Результаты таких испытаний показаны на рис. 2. Разгонная характеристика представляет собой зависимость относительного времени раскрутки ротора $\bar{n}_p$ от временного интервала Δt вращения его электрическим приводом.

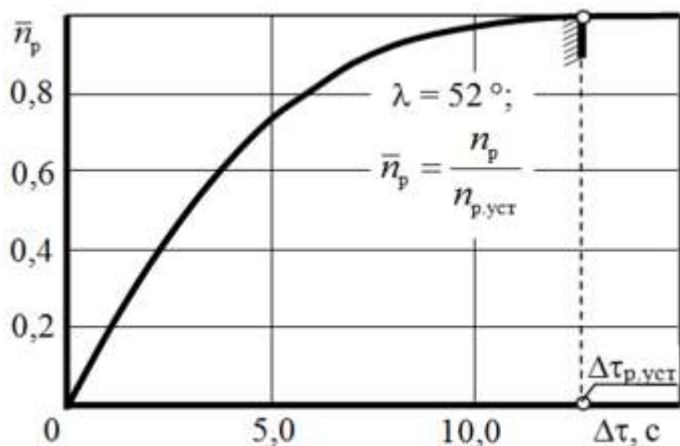


Рис. 2. Разгонная характеристика ротора гироскопа $\bar{n}_p$ по времени раскрутки Δt

ны на рис. 2. Разгонная характеристика представляет собой зависимость относительного времени раскрутки ротора $\bar{n}_p$ от временного интервала Δt вращения его электрическим приводом.

Анализ разгонной характеристики показал, что для вывода ротора гироскопа на установившийся режим достаточно было 15 секунд потребного времени Δt . Дальнейшие исследования контроля времени выбега ротора проводились со

временем разгона $\Delta\tau > \Delta\tau_{p.уст}$ с учётом поправок на прогрев его подшипников, их смазки и др.

Испытания ротора гироскопа, проводимые далее, строились по программе установления его азимутальной характеристики. Под азимутальной характеристикой ротора гироскопа решено полагать зависимость времени выбега ротора t_b от азимута β в диапазоне углов $0 \leq \beta \leq 360^\circ$ при постоянной географической широте $\lambda = \text{const}$ и горизонтальной ориентации продольной оси вращения ротора.

Графическое изображение азимутальной характеристики выбега ротора гироскопа представлено на *рис. 3* в виде зависимости $t_b = f(\beta)$ времени выбега от азимутального угла β при постоянном значении географической широты $\lambda \approx 52 = \text{const}$.

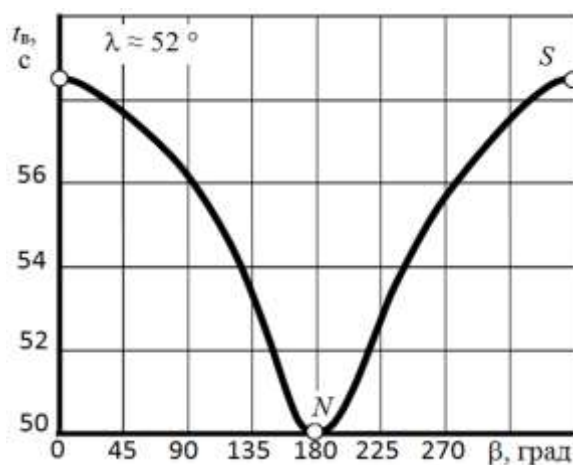


Рис. 3. Азимутальная характеристика выбега ротора гироскопа

Анализ азимутальной характеристики позволяет установить следующие особенности полученной закономерности:

1. Характеристика имеет явно выраженный максимум и минимум функции, соответствующие меридианной ориентации продольной оси вращения ротора.
2. Расположение точек максимума и минимума времени выбега определено не только полярной ориентацией оси вращения, но и направлением вектора угловой скорости $\vec{\omega}_p$ вращения ротора.
3. Максимуму времени выбега ротора гироскопа соответствует совпадение векторов угловой скорости ротора и суточного вращения Земли.
4. Ориентация продольной оси ротора на Восток или на Запад практически не оказывает влияния на время его выбега. Его значения близки друг другу.

5. В местах сильного магнитного склонения азимутальная характеристика выбега ротора гироскопа смещается в сторону магнитного склонения, что определено исходным выбором начального положения продольной оси вращения ротора по стрелке компаса.

6. По характеру протекания графической кривой исследуемой характеристики легко установить, что она качественно подчинена тригонометрической функции « $\cos \beta$ ».

7. Важно отметить, что в поле интерференции Земли наша планета имеет заметное влияние на твёрдые, жидкие, а также газовые тела свободного, либо вынужденного вращения, помогая им в их процессе, не мешая, или подавляя это вращение. Яркими примерами такой интерференции является вращение свободно взвешенных космических тел на их околоземной орбите, часто требующих внешней коррекции.

Область практического применения и фактической реализации закономерности интерференции углового вращения Земли и её вращающихся тел и сред многозначна. По этой причине её следует представить ограниченным перечнем:

1. Известные Западный и Восточный переносы циклонических воздушных масс подчинены интерференционным перемещениям тел и сред в поле суточного вращения Земли. А именно, циклонические вихри средних широт по законам теоретической механики [Тарг, 1986], созданным для твёрдых материальных тел, приобретают в поле суточного вращения Земли Великий Западный перенос. Метеорологи всего мира дают ему определение, как ветер западного направления, в чём методически ошибаются. Этому замечанию имеется ряд очевидных доказательств. В период отсутствия циклонического вращения воздушной среды стоит безветренная погода антициклонического типа и высокое атмосферное давление. С другой стороны, тропические циклоны антициклонического вращения в поле суточного вращения Земли приобретают в субтропических и средних широтах Восточный перенос. Этот перенос определён как пассатным ветром, так и законами тел вращения соответственно, известными из теоретической механики. Восточному переносу тропических циклонов также

способствует зеркальный эффект их интерференции с экваториальной плоскостью раздела циркулирующих воздушных масс Северного и Южного полушарий Земли.

Эффекты Западного и Восточного переноса проявляют себя в спорте. Во-первых, Западный перенос успешно реализован нападающим Киевского футбольного клуба «Динамо» В. Лобановским в своём угловом ударе «Сухой лист». Во-вторых, наши спортсмены на олимпиаде в Пекине уступили спортсменам сборной Китая. И наоборот, китайские спортсмены выглядели слабее на олимпиаде в Сочи. К этой ситуации прилагается пословица: «Дома и стены помогают». Секрет такого феномена в следующем. Ориентация стадионов определяется местом их расположения. Подобное можно сказать об ориентации спортивных полей, площадок, их снарядов и самых спортсменов. В такой ситуации спортсмены, тренирующиеся на домашних стадионах, склонны на других стадионах к потенциальным интерференционным ошибкам, как по характеру поля, так и по азимутальной ориентации его площадок, спортивных снарядов. Спортсмены, натренированные на местное интерференционное воздействие, показывают хорошие спортивные результаты, а приезжие – демонстрируют свои навыки в поле возможных естественных ошибок и часто проигрывают. Для успешных выступлений тренировки спортсменов необходимо проводить на подобно ориентированных площадках, снарядах, дорожках при той же географической широте.

2. Тенденциям проявления Западного переноса и циклонического вращения (циркуляции) наиболее склонны верхние слои мантии Земли средних широт, постоянно генерирующие напряжения – источник локальных землетрясений.

3. Грубой ошибкой конструкторов и заказчиков роторных машин является применение правила «правой руки» в проектной и других видах деятельности. А именно, роторы гидравлических турбин Иркутской и других ГЭС нашей страны имеют антициклоническое вращение. Следовательно, большой запас энергии воды, падающей на рабочие колёса их турбин, расходуется на борьбу с противостоящим им суточным вращением Земли.

4. Ныне тепловые электростанции имеют электрогенераторы и их приводы с горизонтальным расположением продольной оси вращения ротора. Как показал эксперимент (см. *рис. 3*), роторы этих машин испытывают на себе влияние суточного вращения Земли, исчисляемое десятью и более процентами. По мнению автора, его следствием является интерференционное линейное перемещение и циклоническое (антициклоническое) интерференционное вращение ротора с возможными физическими эффектами [Тарг, 1986]. Следует отметить, что в случае отсутствия реализации линейного перемещения ротора эта энергия переходит в поле его углового вращения. С другой стороны, при разгоне или сбросе частоты вращения ротора избыток его энергии сказывается на поперечной реакции его опор.

5. Эксплуатация ГТД требует проверки выбега ротора двигателя при его выключении на земле. Инструкцией по технической эксплуатации установлена нижняя граница времени выбега ротора, предупреждающая о возможной неисправности трансмиссии ГТД. Как видим (см. *рис. 3*), в поле суточного вращения Земли и различной ориентации ВС на стоянке время выбега ротора двигателя может отличаться от времени, установленного регламентом, на десять и более процентов. Подобные ошибки способны привести к отказу ГТД в полёте. Избежать указанной ситуации можно двумя путями:

- введением в систему контроля азимутальных поправок на время выбега ротора ГТД, замеренного при его останове;

- замер времени выбега ротора производить с расположением ВС носом на Восток, или на Запад, когда интерференционный эффект ротора с Землёй отсутствует.

Основы теоретического обоснования времени выбега ротора ГТД можно установить на базе известного из теоретической механики [Тарг, 1986] дифференциального уравнения вращательного движения твёрдого тела. Применительно к ротору ГТД, на переходных режимах его работы уравнение динамики ротора представляется посредством мощностей N [Нечаев, 2006, с. 282]:

$$N_r - N_k - N_{тр} = \Delta N_r = J_x \omega \frac{d\omega}{dt}, \quad (1)$$

где N_T и N_K – мощности газовой турбины и компрессора; $N_{тр}$ – затраты мощности на преодоление сил трения и привод агрегатов ГТД; ΔN_T – избыточная мощность турбины; J_x – приведённый момент инерции ротора относительно продольной оси его вращения; $\omega = 2\pi n$ – угловая скорость вращения ротора, определяемая частотой вращения ротора n .

Уравнение динамики ротора (1) положено авторами работы [Нечаев, 2006, с. 282] в основу выражения времени t переходного процесса. В случае выбега ротора ГТД на земле оно примет вид:

$$t_{n_{MT}-0} = 4\pi^2 J_x \int_{n_{MT}}^0 \frac{n}{\Delta N_T} dn. \quad (2)$$

Воспользуемся уравнениями (1) и (2) для анализа выбега ротора гироскопа. Конструктивно-компоновочная схема гироскопа включает ротор, состоящий из маховика и силового электропривода с моментом инерции J_{rx} . Тогда для гироскопа в поле угловой скорости ротора $\omega_r = 2\pi n_r$ уравнение (1) может быть представлено в виде

$$N_{СП} - N_{тр} = \Delta N_{СП} = J_{rx} \omega_r \frac{d\omega_r}{dt}. \quad (3)$$

На переходном режиме выключения гироскопа очевидным источником, замедляющим частоту вращения его ротора, является мощность $N_{тр}$, расходуемая на преодоление сил трения. Тогда выражение (2) может быть приведено к виду

$$t_{n_r-0} = 4\pi^2 J_{rx} \int_{n_r}^0 \frac{n_r}{N_{тр}} dn_r, \quad (4)$$

где n_r – частота вращения ротора гироскопа.

Как видим, уравнения (1)–(4) не содержат в себе угловой скорости Ω_3 суточного вращения Земли. Следовательно, при исследовании интерференции ротора гироскопа (ГТД) с полем суточного вращения Земли система уравнений (1)–(4) не раскрывает сущность рабочего процесса физического явления, представленного на *рис. 3*.

Появилась проблема установления математического обоснования азимутальных характеристик ротора гироскопа (ГТД). Простейшее её решение можно найти, качественно анализируя характер протекания азимутальных характеристик ротора гироскопа, полученных экспериментальным способом на натурном образце.

Анализ характера протекания азимутальной характеристики (см. *рис. 3*) указывает на наличие в ней экстремальных точек максимума (т. *S*) и минимума (т. *N*) исследуемой функции. Касательная к азимутальной характеристике в этих точках параллельна оси абсцисс (0β) в диапазоне углового интервала $\Delta\beta = 180^\circ$. Показания времени выбега ротора гироскопа при азимутальном угле β девяносто и двести семьдесят градусов равны друг другу. Следовательно, по значениям функции $t_b = f(\beta)$ в экстремальных (сходных) точках и характеру протекания легко установить её закономерность – тригонометрическую функцию « $\cos \beta$ ». Более удивительным оказалось свойство кинематического характера исследуемой функции $t_b = f(\beta)$. А именно, максимум времени выбега ротора гироскопа соответствует совпадению по знаку угловой скорости гироскопа ω_r с угловой скоростью Ω_3 суточного вращения Земли, параллельной полярной оси *NS*. Таким образом, азимутальная характеристика $t_b = f(\beta)$ может быть представлена закономерностью

$$t_b = t_{b, \text{cp}} + \Delta t_b \cdot \cos \beta, \quad (5)$$

где $t_{b, \text{cp}} = 0,5(t_{b \text{ max}} + t_{b \text{ min}})$ – среднее время выбега ротора гироскопа, $\Delta t_b = (t_{b \text{ max}} - t_{b \text{ min}})$ – временной интервал между максимумом и минимумом исследуемой закономерности.

Эксперимент по исследованию азимутальной характеристики проводился в городе Иркутске, расположенном на географической широте $\lambda \approx 52^\circ$. Этот угол соответствует углу наклона плоскости горизонта – касательной к Иркутскому меридиану. С учётом географического положения места проведения эксперимента, закономерность (5) должна быть дополнена поправкой $\cos \lambda$ на геогра-

фическую широту. Тогда азимутальная характеристика ротора может быть представлена обобщённым выражением

$$t_{\text{в}} = t_{\text{в.ср}} + \Delta t_{\text{в}} \cos \lambda \cdot \cos \beta. \quad (6)$$

Анализ выражения (6) позволяет установить элементы практической значимости азимутальных характеристик выбега ротора, состоящих в следующем:

1. Запуск газотурбинного двигателя российского производства в Северном полушарии Земли будет облегчён при ориентации воздушного судна носом на юг, при котором знаки угловой скорости Земли и ротора совпадают. Для ГТД производства США – наоборот.

2. При техническом обслуживании ГТД с контролем времени выбега его ротора при выключении двигателя следует в снимаемый контролируемый параметр вводить поправки, как по азимутальному положению ВС, так и по географической широте. При отсутствии возможности ввода поправок контроль времени выбега надо производить при ориентации оси вращения ГТД вдоль географической широты – носом на Запад (Восток).

3. Тренерам спортивных команд необходимо учитывать фактор ориентации спортивных полей, площадок, снарядов в пространстве с учётом азимутальной характеристики выбега ротора (см. *рис. 3*).

4. Проектным организациям и конструкторам следует заменить правило «правой руки» и «часовой стрелки» на правило циклонического и антициклонического вращения.

5. Максимум интерференционного эффекта ротора и Земли возможен на экваторе при полярной ориентации оси его вращения и совпадении знаков их угловых скоростей.

Библиографический список

1. *Тарг С. М.* Краткий курс теоретической механики: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1986. 416 с.
2. Теория авиационных двигателей: учебник для вузов ВВС / Ю. Н. Нечаев, Р. М. Фёдоров, В. Н. Котовский, А. С. Полев / Под ред. Ю. Н. Нечаева. Ч. 2. М.: Изд. ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 2006. 448 с.

References

1. *Targ S. M. (1986). A short course of theoretical mechanics: textbook for higher schools. M.: Higher school, 1986. 416 p. (in Russian)*
2. *Theory of aircraft engines: textbook for Air Force higher schools / Ju. N. Nechaev, R. M. Fjodorov, V. N. Kotovskij, A. S. Polev / ed. by Ju. N. Nechaev. P. 2. M.: Zhukovsky Air Force Engineering Academy, 2006. 448 p. (in Russian)*