

ВЕСТНИК

**МОРСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Серия

**История морской науки, техники
и образования**

Вып. 82/2018

УДК 504.42.062

В38

Вестник Морского государственного университета. – Вып. 82/2018. –
Серия : История морской науки, техники и образования. – Владивосток :
Мор. гос. ун-т, 2018. – 103 с.

ISBN 978-5-8343-1091-4

В сборнике представлены научные статьи сотрудников Морского государственного университета имени адм. Г. И. Невельского, посвященные различным областям морской науки, техники и образования.

Редакционная коллегия: А. А. Лентарёв, д-р техн. наук (отв. ред.)
Л. К. Лысенко, канд. техн. наук
В. И. Логинова

Рецензирование: А. А. Лентарёв

ISBN 978-5-8343-1091-4

© Морской государственный университет
им. адм. Г. И. Невельского, 2018

АСТРОНОМИЯ НАШИХ ДАЛЁКИХ ПРЕДКОВ

Панасенко А. Н.

Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского

Величественна картина звёздного неба. Тысячи звёзд, мерцая и переливаясь, манят к себе любознательные умы. Человек пытался и пытается осмыслить, какое место он занимает во Вселенной, что такое этот мир, как он устроен, всегда ли существовал и если нет, то возник ли сам или создан богами. Постигание звёздного мира бесконечно, но начало познания неба просто потому, что большинство небесных явлений повторяется совершенно одинаково несчётное количество раз. Однообразно повторяются суточный путь Солнца, порядок восхода и захода созвездий, лунные фазы, изменения на небе, связанные с временами года. Эти небесные явления настолько срослись с жизнью, что ими пользуются люди, животные и растения. Дуб «знает», когда его почки начнут распускаться, а человек и без часов способен проснуться точно в намеченные им час и минуту. Птицы хорошо ориентируются по Солнцу, учитывая его дневное движение по небу; у них есть даже свои «навигационные» звёзды, по которым они находят путь в Африку и обратно. Североамериканская бабочка монарх, перелетая на зимовку в Центральную Америку, никогда не сбивается с дороги.

Всё это примеры астрономического ориентирования, выработанного живыми организмами бессознательно, в процессе эволюции. Когда же появился человек разумный, он стал осознанно ориентироваться во времени и пространстве и ради жизни, и ради трудовой деятельности, которая тогда занимала почти всё его время. Первобытные охотники и рыболовы должны были знать циклы жизни и пути миграции животных. Скотоводам нужно было вовремя перегонять стада на новые пастбища, как-то ориентироваться на местности, определять время наступления дождливых или засушливых сезонов, а в более северных местах – предвидеть наступление зимы или лета. Земледельцы оказались в ещё большей зависимости от сезонных изменений, их труд – посев и жатва – невозможен без календаря.

Именно практические потребности – ориентирование в пространстве и времени – привлекли внимание людей к небесным явлениям, к наблюдениям за перемещением Солнца, Луны, к суточному движению звёзд.

Тысячелетиями, ночуя у костра и глядя на небо, человек усвоил, что от вечера к вечеру звёзды остаются одними и теми же и не меняют взаимного расположения. Он выделил несколько приметных фигур – созвездий. 40 тыс. лет назад они имели не такой вид, как сейчас. Большая Медведица была похожа на Большую Колотушку, не было привычной фигуры подпоясанного Ориона. Первые созвездия позволяли ориентироваться ночью, а главное, следить за движением ночного неба.

Сначала люди думали, что небо поворачивается вокруг нас, словно сфера с нарисованными на ней созвездиями. Большинство звёзд при этом так же как Солнце и Луна, восходят и заходят, но в полуночной (северной) стороне, где Солнце никогда днём не бывает, есть звёзды, которые вообще не заходят. Надо только наблюдать за ними во время длинных зимних ночей. Если находиться на одном и том же месте и следить за восходом какой-нибудь яркой звезды из ночи в ночь, то станет ясно, что она всегда восходит в одном и том же месте горизонта. Это можно заметить, ориентируясь на далекий предмет – дерево или гору. То же относится и к заходу звёзд.

А вот Луна меняет свои точки восхода и захода. Она не только движется вместе со звёздами слева направо, но ещё перемещается среди них от ночи к ночи справа налево. Если же заметить, что в какую-то ночь Луна была рядом с яркой звездой, то она вернётся к ней через 27,3 суток. Так был открыт период времени – лунный *сидерический* (от лат. *sideris* - «звезда») месяц, сказали бы мы сейчас. А смена лунных фаз – *синодический* (от греч. «синодос» - «соединение») месяц – завершается за 29,5 суток. Она легла в основу первого – лунного календаря. Его появление относится к IX – III тысячелетиям до н. э. В эту эпоху возникают первые государства, усложняются мифология и язык, мышление в целом. В Мишне – сборнике толкований библейских текстов – говорится так: «Луна была создана для счёта дней».

Наблюдая за месячным движением Луны среди звёзд, люди открыли, что она движется в сравнительно узкой полосе небесной сферы, которую ныне называют поясом зодиака. Он был разделён на 27 или 28, «лунных станций». Это были небольшие группы звёзд, удалённые друг от друга примерно на 13°, так что Луна при движении по небосводу каждую ночь оказывалась в следующей группе. Среди них были приметные группы звёзд: сейчас это Голова Овна, Плеяды, Гиады с Альдебараном (Рога Тель-

ца), близнецы Кастор и Поллукс, Голова Льва с Регулом, выразительный Скорпион, а были и пустые, беззвёздные «станции».

Великим открытием стало и то, что по зодиаку кочуют ещё и «блуждающие звёзды» – планеты. Их выделили уже в глубокой древности. Первыми были открыты Вечерняя и Утренняя звёзды. Много веков спустя астрономы поняли, что одна планета (Венера). Вероятно, первым догадался об этом Пифагор Самосский в VI в. до н. э. За несколько поколений до него Гомер упоминал обе эти «звёзды» как разные светила. Затем, вероятно, был открыт Юпитер, а следом Марс – по степени яркости. Сатурн, по блеску едва выделяющийся среди ярких звёзд, и Меркурий – планету, которую трудно заметить, наверняка открыли люди, специально занимавшиеся наблюдениями неба (например, жрецы).

С движением Солнца дело обстояло сложнее: ведь днем звёзд не видно. Но люди догадались, что и Солнце перемещается относительно звёзд. Наблюдая за его восходом и заходом, люди видели, что место, где оно появляется над горизонтом, каждый день немного меняется. Замечая места

Восходов и закатов, они нашли в его движении новую важную закономерность. В дни летних солнцестояний светило вставало и садилось ближе всего к точке севера и несколько дней, самых длинных в году, не меняло мест заката и восхода. Потом точки восхода и заката день за днём удалялись от севера, пока через полгода не достигали мест, самых близких к югу, что означало наступление зимнего солнцестояния. В середине между «стояниями» по линии восток – запад располагались точки, где дважды в году Солнце восходило, чтобы отмерить день, равный ночи.

Когда лунный путь зодиак был разделён на созвездия, выяснилось, что какое-то из них обязательно оказывается на рассвете над местом восхода Солнца, а другое загорается вечером там, где оно закатилось. Зная созвездие, предшествующее Солнцу на рассвете, и созвездие, следующее за ним на закате, можно было легко определить, в каком созвездии между ними находится светило. Так было открыто годовое движение Солнца по зодиаку. Особенно важным на пути светила стали считаться те созвездия, в которых, судя по наблюдениям мест восходов, Солнце проходило четыре особые точки, деля свой годовой путь на почти равные отрезки.

Эти точки в средних климатических поясах отмечали и чередование сезонов. Весеннее равноденствие знаменовало возрождение природы. После него светило, поднимаясь по эклиптике из созвездия в созвездие, достигало к солнцестоянию наибольшего могущества. Потом оно начинало

опускаться и в момент осеннего равноденствия пересекало границу Северного и Южного полушарий. С каждым днём вместе с увяданием природы Солнце оставалось на небе всё меньше времени. Наконец, в середине зимы, после зимнего солнцестояния, как бы преодолев усталость, оно начало медленно возвращаться к «миру живых». Древние люди обожествляли Солнце. Совершая магические обряды, они старались «помочь» светилу благополучно преодолеть все трудности, которые могли встретиться ему на звёздной дороге.

Первобытные народы знали, когда происходили солнцестояния или равноденствия, так как с ними были связаны разливы рек и наступления тех или иных сезонов. Например, у скотоводов был весенний праздник. Он определялся началом весны, т.е. прохождением Солнца через точку весеннего равноденствия и полнолунием. Праздник приходился на разные числа календаря. Его надо было вычислять.

Итак, астрономические наблюдения, связанные с необходимостью ориентироваться во времени и пространстве, возникли на заре человеческой культуры. Уже тогда, задолго до появления письменности и государств, были сделаны многие важные открытия, связанные с расположением и видимым движением светил по небу. Так возникла астрономия – древнейшая из наук.

В конце каменного века (VI – III Тысячелетия до н. э.) в благоприятных климатических условиях вблизи великих рек: Нила, Тигра и Евфрата, Инда, позднее – Ганга, Хуанхэ, позднее – Янцзы – появились земледельческие племена. В тех местах и зародились древние цивилизации. Наблюдение за небом стало здесь важнейшим делом для жрецов. Проходили тысячелетия медленного накопления астрономических знаний. По уровню развития астрономии можно довольно верно судить об общем уровне древней цивилизации. Примечательно, однако, что первые цивилизованные народы относили свои астрономические знания к наиболее отдалённому, доисторическому, периоду своего существования.

Таким образом, задолго до того как человек научился ориентироваться на Земле и создал географию, он уже ориентировался во Вселенной, создав её первые модели. Овладение пространством началось с космоса и лишь впоследствии распространилось на Землю.

До нас дошли свидетельства о трёх попытках создания египтянами звёздных часов.

Наиболее точными из них были третьи, в которых использовались наблюдательные инструменты. Этот способ измерения ночных часов по звёздам был изобретён около 1500 г. до н. э. Его осуществляли, отмечая время прохождения определённых звёзд через небесный меридиан и соседние участки неба. Наблюдатель садился на площадке лицом к югу, напротив фигуры сидевшего «на меридиане» человека. Был ли это служитель храма или манекен, неизвестно. Наблюдатель с помощью визирного приспособления - дощечки с вырезом в верхней части – следил за прохождением «часовой звезды» над фигурой».

Сохранились таблицы с указанием звёзд и их положений для каждого из 12 часов ночи. Положения обозначались фразами «напротив сердца» (посередине фигуры, «над правым глазом», «над левым ухом», «над правым плечом» - всего семь положений. Как и первые два, этот способ определения времени, привязанный к скользящему календарю, требовал постоянного обновления таблиц и оказался недолговечным.

В Карнаке, около Фив, были найдены самые древние египетские водяные часы. Они изготовлены в XIV в. до н. э. По-видимому, такие часы были известны лет 300 до того: они появились незадолго до изобретения последних звёздных часов. Водяные часы, которые греки позднее называли клепсидрой, представляли собой чашу с небольшим отверстием, из которого понемногу вытекала или капала вода. На внутренней стороне чаши помещались шкалы, по которым можно было судить, сколько времени «утекло». Египтяне той эпохи делили ночь и день на 12 часов, и часы получались разными в зависимости от сезонов. Поэтому в каждом месяце пользовались отдельной шкалой с его названием. Шкал было 12, хотя хватило бы 6, поскольку длины дней, находящихся на одном расстоянии от солнцестояний, практически одинаковы. Но египтяне были пленниками традиций и крайне неохотно шли на изменения первоначальных конструкций. Часы заполнялись водой в начале ночи, причем точкой отсчета мог служить, например, заход Солнца, а дальше в ходе службы жрецам уже не нужно было смотреть на небо.

Водяные часы не могли обойтись без регулировки. Вероятно, для этого отверстия клепсидр заклепляли воском, в котором прокладывали дырочку нужного размера. Но требовалось ещё согласование «хода» этих часов с действительной длиной дня, т.е. нужны солнечные часы.

Главными солнечными часами в Египте были, конечно, обелиски, посвященные Солнцу-Ра. Такой астрономический прибор в виде вертикаль-

ного столба называется *гномон*. Это первый инструмент, позволивший измерить высоту Солнца над горизонтом по длине тени. Так египтяне дополнили древнейшую «горизонтальную» астрономию вертикальным нахождением угловой высоты, тогда как в Стоунхендже измерялись только азимуты светил. Когда тень от гномона становилась самой короткой, наступал полдень. Остальные часы дня эти обелиски показывали не так точно.

Древние египтяне, как и все народы, как и все народы, делили небо на созвездия. О египетских созвездиях мы можем судить по упоминаниям в тестах и по рисункам на потолках храмов и гробниц. Египетские созвездия не похожи ни на древнегреческие. Всего их известно 45. Сохранившиеся росписи потолков не образуют звёздной карты, и положение египетских созвездий на небе удаётся определить лишь приблизительно. Упоминаются, например, Мес (вероятно, Большая Медведица, которая изображалась в виде ноги быка); созвездие Ан в виде фигуры с головой сокола, пронзающей копьём созвездие Мес; созвездие Бегемотихи, за которой изгибается огромный Крокодил. В древних текстах околополярные незаходящие созвездия именовались «неразрушимыми»

Планеты египтянами были известны с давних времён. Египетские жрецы рано смогли разделить их на две группы. Верхние планеты, которые можно было наблюдать в противостоянии Солнцу, считались воплощениями бога Хора. Так, Юпитер назывался «Хор», который освещает обе Земли», Сатурн – «Хор – бык небес», а Марс – «Красный Хор». Каждую из нижних планет, которые видны то утром, то вечером, египтяне, видимо, уже с середины II тысячелетия до н. э. знали как светило. Древнее название Венеры переводится как «Пересекатель», т. е. звезда, пересекающая путь Солнца. О Меркурии говорилось как о боге вечерних и утренних сумерек.

Платон. Гармония сфер

Платон Афинский (427-347 до н. э.), знаменитый мыслитель, основатель Академии – философской школы, просуществовавшей почти 1000 лет (до н. э.), в своих представлениях о Вселенной во многом соглашался с пифагорейцами.

Проблем мироустройства Платон коснулся в двух своих поздних диалогах – «Государство» и «Тимей». Вселенная там похожа на составное веретено, вертящееся на коленях Ананке (Необходимости).

Оно сложено из насаженных на одну ось алмазных частей, которые философ назвал валами.

Платон не различал еще осей мира и эклиптики. Вселенная показана как бы в разрезе: «Всех валов восемь (Луна, Солнце, пять известных тогда планет и небо звезд), они вложены один в другой, их края имеют вид кругов на общей оси, так что снаружи образуют непрерывную поверхность единого вала». Значит ли это, что Платон действительно считал светила закрепленными на твердых прозрачных сферах, или же это поэтическая метафора, говорящая о нерушимости их орбит? Скорее второе. Последний штрих картины выглядит таким образом: «Сверху на каждом из кругов веретена восседает по Сирене; вращаясь вместе с ними, каждая из них издает только один звук... – а их восемь – получается стройное созвучие».

Идея о связи небесных движений с музыкой – пифагорейская. По видимому, еще Пифагор открыл, что гармонично звучащие тона соответствуют определенным соотношениям длин струны. Это открытие, связавшее математику и природу, было распространено пифагорейцами и на небесные тела. Давно замечено, что быстродвижущиеся тела издают звуки.

При своей огромной удаленности от нас небесные тела должны нестись с гигантскими скоростями, а значит, и звучать. Отсюда делались выводы о гармоничных соотношениях расстояний между светилами и высотой самих звуков. Наиболее высокий звук издавала быстрее всех мчащаяся сфера звезд, самый низкий – Луна, которая в своём месячном движении отстаёт от бега небесной сферы.

На вопрос, каким образом мог появиться гармонично устроенный мир, Платон отвечал, что он был сотворён согласно определённому плану. Причем мир, задуманный и созданный Вечносущим Богом, также одушевлён и божествен. Платон писал: «Весь этот замысел вечносущего бога относительно бога, которому только предстояло быть, требовал чтобы тело космоса было сотворено гладким ... одинаково распространённым во все стороны от центра ... В его центре построивший дал место душе, откуда распространил её по всему протяжению и вдобавок облёк его тело извне».

Здесь видно сходство с представлениями пифагорейцев, но Платон ушёл от древней традиции соединения божеств со стихиями. Роль Центрального огня и Крайнего Олимпа у него играет Душа. Архаичная мифология отступает и заменяется абстрактными понятиями.

Признав мир живым существом, цельным и наилучшим образом устроенным, Платон избавил себя от необходимости разбирать конкрет-

ные механизмы тяготения земных предметов к центру или природу солнечного света.

В сочинениях Платона впервые в европейской культуре встречается идея единого Бога – Творца. Его Платон называет Демиургом (Мастером). Для устройства Вселенной Демиург создал особое вещество в виде смеси двух сущностей – «неделимой идеальной». Потом он «рассёк состав по длине на две части, свернул их и из одной сделал небо неподвижных звёзд, а вторую – заготовку остальных небесных тел – «разделил на семь неравных кругов, сохраняя число двойных и тройных интервалов». Это деление, определяющее расстояния между Землёй и орбитами светил, называют платоновской гармонией сфер. Относительные расстояния от Земли до светил получились следующими: Луна – 1, Солнце – 2, Венера – 3, Меркурий – 4, Марс – 8, Юпитер – 9, Сатурн – 27. Предложенные Платоном интервалы никак не связаны с действительностью и имеют только историческое значение. Однако сам принцип поиска закономерностей в размерах орбит сыграл важную роль в истории астрономии.

В «Тимесе» Платон, говоря о Димесе, вскользь упомянул о подвижности Земли: Земле же, кормилице нашей, он определил вращаться вокруг оси, проходящей через Вселенную, и поставил её блюстительницей дня и ночи». Это движение противоречило вращению, которое философ приписывал и небу звёзд. Может быть, Платон колебался, какое вращение предпочесть. Впрочем, астрономические подробности он назвал в диалоге «второстепенными вещами».

Аристотель. Человек, остановивший землю

Аристотель (384-322 до н. э.) великий ученый-энциклопедист, родился в городе Стагире. Его отец был врачом македонского царя Аминты III. В 17 лет Аристотель уехал в Афины, стал учеником Платона и провёл в его Академии 20 лет. После смерти учителя Аристотель покинул Афины. В 343 г. до н. э. наследник Аминты III Филипп Македонский попросил философа стать воспитателем своего юного сына Александра, будущего великого полководца.

Аристотель провёл в Македонии несколько лет, потом вернулся в Афины и основал там школу, названную Ликеем (в латинском варианте Лицей) из-за её расположения рядом с храмом Аполлона-Лику. Учеников Аристотеля называли перипатетиками (прогуливающимися), возможно, за

любовь беседовать на ходу. После смерти Александра в 323 г. до н.э. ненависть к македонцам, захватившим Грецию, распространилась и на Аристотеля. Он вынужден был уехать в свое имение на остров Эвбею, где через год умер. Впрочем, Ликей афиняне не тронули, знаменитая школа существовала еще долго.

Аристотель, великий логик и систематизатор, занимался многими науками – от поэтики и политики до физики и биологии. Он критиковал своего учителя Платона и стремился заниматься не только общими вопросами, но и анализировать конкретные явления. Его представления о мире внешне мало отличались от платоновских, но по сути своей были им противоположны. Аристотель считал мир вечным и неизменным, живущим по физическим законам. Но физика Аристотеля резко отличалась от нашей, и её авторитет в Средние века в какой-то момент стал сдерживать прогресс этой науки.

Сначала философ обосновал идею о том, что во Вселенной есть особая точка – центр, к которому в силу своей природы стремились тяжёлые элементы земли и вода. Ведь если бы такого центра не было, падение предметов продолжалось бы вечно, без остановки. Из-за стремления элементов к центру мира Земля получила форму шара. Лёгкие элементы – воздух и огонь – напротив, стремились от центра, но не уходили за границы – ”подлунной сферы. За ней начиналось царство небесных тел, построенное из особого, пятого, элемента – «квинтэссенции» эфира.

Движения к центру и от него Аристотель считал «естественными», все остальные его виды требовали приложения силы и назывались «принудительными». Земная механика Аристотеля не знала движения по инерции, это открытие сделал только Галилей. Чтобы объяснить, почему небесные тела движутся, философ ввёл некий божественный перводвигатель, располагавшийся у внешних пределов мира. А как быть с полётом пущенной стрелы или брошенного камня? Ведь они летят, когда сила уже не действует. Согласно Аристотелю, их несёт воздушный вихрь. Камень раздвигает воздух, тот обходит летящее тело, ударяет по нему сзади и тем самым поддерживает движение. Эта странная на наш взгляд физика не допускала даже осевого вращения Земли, которое, между прочим, могло бы серьёзно упростить «небесный механизм» Евдокса – Аристотеля. Вместо 55 сфер в нём осталась бы 41. А вот ученик ученика Аристотеля - Аристарх Самосский – не только признал вращение Земли, но и «изгнал» её из центра мира.

ГИРОСКОП С. В. КОВАЛЕВСКОЙ

Саранчин А. И., Чесноков А. Г.

Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского

1. О модели гироскопа С. В. Ковалевской

Вопрос физической трактовки гироскопа С. В. Ковалевской сталкивается с проблемой конструкции его фигуры. Форма этого гироскопа представляется настолько сложной, что не имеет однозначного толкования. По этой причине его даже иногда называют нереальным [7]. Например, самый известный специалист 20-го века по теории гироскопа Р. Граммель в своем фундаментальном труде «Гироскоп, его теория и применение» отказался дать интерпретацию гироскопа Ковалевской, считая это вряд ли возможным [5].

Гироскоп С. В. Ковалевской удовлетворяет условию [1]

$$A = B = 2C, \quad (1)$$

где A , B и C – моменты инерции относительно осей, проходящих через точку подвеса и параллельных главным осям (обозначения взяты из оригинала).

Однако для полного представления данного гироскопа это условие является недостаточным.

Если бы речь шла о симметричном гироскопе, то названное условие выполнялось бы, когда моменты инерции рассматриваются относительно главных центральных осей. Для этого случая самая простая и очевидная форма гироскопа – это цилиндр. Если принять радиус цилиндра за R , а длину, равную $3R$, то осевой и экваториальные моменты инерции составят

$$\begin{aligned} J_0 = C &= \frac{m \cdot R^2}{2} \\ J_3 = A = B &= mR^2 \left(\frac{1}{4} + \frac{9}{12} \right) = mR^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Однако рассматриваемый гироскоп представляет собой тело, центр тяжести которого «лежит на плоскости экватора эллипсоида инерции, построенного для неподвижной точки, который должен быть эллипсоидом вращения и должен удовлетворять условию $A = B = 2C$ » [1] (курсив авто-

ров). Таким образом, моменты инерции даны относительно точки подвеса. Это означает, что форма гироскопа в рамках данного условия может иметь множество вариантов, что и проявляется при ее толковании.

К. Магнус предложил модель гироскопа Ковалевской как раз в виде названного выше геометрически симметричного цилиндра, но с неравномерным распределением масс [3]. Вследствие этой неравномерности центр масс оказывается смещенным от центра подвеса так, что относительно этой точки распределение масс удовлетворяет условию Ковалевской. Причем это смещение перпендикулярно оси вращения и, как указано в ее работе, в эйлеровых координатах направлено по оси x (координата x_0), чего она добилась соответствующим разворотом гироскопа ($y_0 = 0$). Очевидно, что такого же результата можно добиться, если изготовить гироскоп также в виде цилиндра, но эллиптического, с равномерным распределением масс. Экваториальные оси должны совпадать с осями эллипса. В этом случае достаточно сместить точку подвеса по большой оси этого эллипса.

Сама С. В. Ковалевская также не представляла, как выглядит ее гироскоп, поэтому «обратилась к господину Шварцу... с просьбой дать... образец модели, на которой можно осуществить рассматриваемый случай вращения твердого тела вокруг неподвижной точки» [1]. Шварц, известный в то время изобретатель, дал, по-видимому, первую интерпретацию ее гироскопу. По его версии такой гироскоп представляет собой два жестко связанных цилиндра, оси которых параллельны и находятся на специально подобранном расстоянии. Причем цилиндры своими образующими не касаются друг друга.

Известна реальная модель Н. И. Мерцалова. Гироскоп Ковалевской модели Мерцалова действительно представляет собой вытянутый цилиндр, изменение положения центра масс которого достигается смещением гироскопа в кардановом подвесе [7].

Модель Н. Е. Жуковского, представленную в виде его рисунка, вряд ли можно считать соответствующим названному условию (1). Во-первых, из его рисунка явно следует, что осевой момент инерции больше экваториальных. Во-вторых, его модель опирается нижним концом на горизонтальную плоскость, то есть центр подвеса находится на оси z (координаты Эйлера), в то время как гироскоп Ковалевской подвешен в точке, находящейся в экваториальной плоскости.

Второе замечание относится и к другим исследованиям гироскопа Ковалевской. Например, вывод о том, что его стационарное движение

с нижним расположением центра тяжести устойчиво при любой скорости собственного вращения, а вращение с верхним расположением центра тяжести всегда неустойчиво [3]. Строго говоря, здесь речь идет также не о гироскопе Ковалевской, центр тяжести которого вращается относительно оси z и, следовательно, если ось вращения не вертикальна, меняет положение с верхнего на нижнее и обратно через каждые пол-оборота. То есть гироскоп Ковалевской не может быть со смещенным вверх или вниз центром тяжести. Иными словами, условие Ковалевской выполняется, когда центр тяжести ее гироскопа имеет следующие координаты: в системе Эйлера – $z = z_0 = 0, y = y_0, x = x_0$, причем смещение центра тяжести $d = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$.

Возможно, высказанные здесь замечания объяснимы терминологически? Термин «гироскоп» допускает двойное толкование. Первое: под гироскопом понимается устройство, имеющее вращающийся элемент – ротор с маховиком и осью, его привод и подвес, а также устройство съема информации. Второе: только ротор. В настоящей работе всегда речь будет идти о гироскопе второго понимания этого термина. Если же представить его в первом понимании, то это может быть гироскоп, ротор которого может быть симметричным относительно оси вращения. Смещение центра тяжести в нем можно добиться либо несимметричным кожухом, внутри которого вращается ротор, либо, как в модели Мерцалова, перемещением гироскопа внутри карданова подвеса. Здесь в первую очередь рассмотрим гироскоп, ротор которого несимметричен относительно оси подвеса и имеет смещение центра тяжести в экваториальной плоскости. Напомним, что такой гироскоп относится к категории тяжелых гироскопов.

Если представим $d = R$, то есть смещение центра тяжести равно радиусу цилиндра, то ось вращения будет проходить по его образующей. В этом случае, когда гироскоп точно уравновешен относительно одной из экваториальных осей (допустим относительно оси y), то имеем вращение точки (центра масс) вокруг оси z . Момент инерции для этого случая согласно теореме Штейнера равен сумме моментов инерции относительно двух параллельных осей – центральной оси и оси вращения z

$$J_0 = C = \frac{1}{2} m \cdot R^2 + mR^2 = \frac{3}{2} mR^2, \quad (3)$$

тогда длину цилиндра выразим $l = R\sqrt{33}$. Экваториальные моменты инерции

$$J_{\vartheta} = A = B = mR^2 \left(\frac{1}{4} + \frac{33}{12} \right) = 3m \cdot R^2. \quad (4)$$

Очевидно, что при произвольном значении d , соотношение моментов инерции, удовлетворяющее условию (1), можно найти только подбором размерностей гироскопа, поскольку в двух уравнениях имеется три неизвестных R , l и d . Как выше отмечалось, в работе Ковалевской недостаточно данных для однозначного представления модели ее гироскопа, то есть для отыскания третьего уравнения. В любом случае условие (1) будут выполняться, если

$$\begin{aligned} J_0 &= C = C_1 + m d^2 \\ J_{\vartheta} &= A = B = 2(C_1 + m d^2), \end{aligned} \quad (5)$$

где C_1 – момент инерции относительно продольной центральной оси цилиндрического гироскопа.

Таким образом, рассматриваемый гироскоп, это цилиндр, а его ось вращения может находиться как внутри фигуры, так и снаружи. В любом случае его движение будет определяться распределением масс, поэтому можно считать достаточным, если исследовать простейший случай, указанный формулами (3) и (4), в которых неизвестная d выражена через R .

2. Движение гироскопа Ковалевской

Гироскоп Ковалевской в инерциальной системе отсчета. Составим динамические уравнения Эйлера для гироскопа Ковалевской (рис. 1) с общими параметрами (5). Понятно, что без подвеса в инерциальных координатах тело, получившее

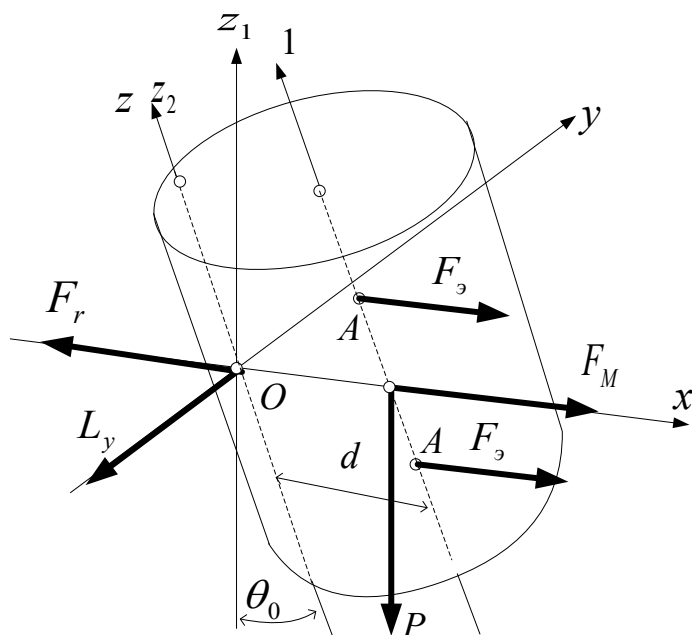


Рис. 1

вращательный импульс, будет вращаться вокруг одной из главных осей, в соответствии с законом сохранения момента импульса, то есть $\bar{H} = const$. Наш гироскоп имеет подвес, поскольку как в земных, так и инерциальных координатах *только благодаря подвесу выполнимо*

условие (1), то есть, возможно вращение не относительно оси симметрии. На рис. 1 изображен гироскоп Ковалевской. Для упрощения, которое использовано и в оригинале, центр тяжести смещен по оси x ($x = x_0$). Рисунок демонстрационный, поэтому соотношение размеров приблизительное. Отметим, что в упомянутом выше труде [5] смещение указано в направлении другой экваториальной оси – оси y и считается, что $x_0 = 0$. Однако во втором параграфе рассматриваемой работы С.В. Ковалевской прямо указано $y_0 = 0$. Хотя следует заметить, что для окончательного решения это не принципиально, поскольку данный гироскоп симметричен относительно экваториальной плоскости.

Из рис. 1 видно, что центробежная сила F_M , действующая на точку M , компенсируется реакцией F_r опор и момент не создает. Поскольку гироскоп симметричен относительно главной центральной оси и экваториальной плоскости xOy , то центробежные силы F_g , действующие на распределенные относительно этой плоскости массы, взаимно компенсируются и момент также не создают. Следовательно, движение сводится к вращению точки M вокруг оси z . Такое вращение всегда устойчиво [6]. Данный вывод для ИСО относится к любому гироскопу, имеющему смещение центра масс в экваториальной плоскости, в том числе и удовлетворяющему условию (1).

Решение для ИСО значительно упрощается, поскольку общие динамические уравнения для гироскопа Ковалевской приобретают вид (6), для которого решение уже найдено самим Эйлером

$$\begin{aligned} A \frac{d\omega_x}{dt} + (C - B) \omega_y \omega_z &= 0, \\ B \frac{d\omega_y}{dt} + (A - C) \omega_z \omega_x &= 0, \\ C \frac{d\omega_z}{dt} + (B - A) \omega_x \omega_y &= 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Для упрощения членов уравнения введем новые обозначения и учтем условие (1): $A = B = J_3$; $C = J_0$; $C - B = -C = -J_0$; $A - C = C = J_0$. Поскольку $B - A = J_3 - J_3 = 0$, то

$$\begin{aligned}
J_3 \dot{\omega}_x - J_0 \omega_y \omega_z &= 0, \\
J_3 \dot{\omega}_y + J_0 \omega_z \omega_x &= 0, \\
J_0 \dot{\omega}_z &= 0.
\end{aligned}
\tag{7}$$

Отсюда следует

$$J_0 \bar{\omega}_z = J_0 \bar{\Omega} = \bar{H} = const . \tag{8}$$

Выполняется закон сохранения момента импульса, что подтверждается и рисунком 1, в соответствии с которым $\omega_x = 0$, $\omega_y = 0$.

Дальнейшие преобразования подобны преобразованиям Эйлера для симметричного гироскопа, которые дают результат

$$\theta = const . \tag{9}$$

Уравнения (8) и (9) указывают на устойчивость движения.

Интеграл энергии для этого гироскопа в ИСО

$$2T = J_0 \Omega^2 = const , \tag{10}$$

то есть речь идет о свободном и, следовательно, устойчивом движении. Очевидно, что для данного гироскопа справедливо выражение направляющих косинусов (третий классический интеграл).

Гироскоп Ковалевской в условиях действия силы тяжести. На Земле также существуют условия, при которых момент силы тяжести не действует на гироскоп Ковалевской. Этот вариант, очевидный с точки зрения механики, ранее уже был получен аналитически. Данное явление существует, когда ось вращения гироскопа горизонтальна и нет плеча для силы тяжести. Поэтому для исследования движения гироскопа С. В. Ковалевской рассмотрим более общий случай.

Используем тот же рис. 1 за неподвижную систему примем координаты, связанные с Землей (показана только ось z_1). Ось z установим к вертикали под углом θ . Смещение точки подвеса оставим в направлении оси x , как это было сделано с целью упрощения в оригинале. Это упрощение позволит нам, как и самой Ковалевской избавиться от необходимости вводить еще один неизвестный угол для того, чтобы задать положение вектора момента силы тяжести. Таким образом, момент L силы тяжести всегда горизонтален и находится в плоскости осей yOz . Следовательно, он проецируется на эти оси с некоторыми значениями, соответственно L_y и L_z . Поскольку последний из моментов направлен по оси собственного вращения,

то его влиянием можно пренебречь ($L_z \approx 0$), так как оно незначительно изменяет кинетический момент. Динамические уравнения для этого случая будут

$$\begin{aligned} A \frac{d\omega_x}{dt} + (C - B) \omega_y \omega_z &= 0, \\ B \frac{d\omega_y}{dt} + (A - C) \omega_z \omega_x &= L_y, \\ C \frac{d\omega_z}{dt} + (B - A) \omega_x \omega_y &= 0. \end{aligned} \quad (11)$$

С учетом выше приведенного изменения обозначений

$$\begin{aligned} J_0(2\dot{\omega}_x - \omega_y \omega_z) &= 0, \\ J_0(2\dot{\omega}_y + \omega_z \omega_x) &= mg x_0 \gamma_1, \\ J_0 \dot{\omega}_z &= 0. \end{aligned} \quad (12)$$

Последнее уравнение данной системы позволяет получить выражение (9), после выполнения аналогичных вышеприведенным преобразования. Это обстоятельство в свою очередь позволяет уточнить, как изменяется кинетический момент от действия момента L_z . Центр M приложения силы тяжести, а, значит, и ее плечо вращаются с угловой скоростью Ω . Текущее значение момента этой силы $L = L_0 \sin \Omega t$. Проекция этого момента на ось z , это момент L_z . Его значение изменяется в соответствии с текущим положением центра масс. Суммарное действие L_z за один период обращения, то есть за один полный оборот, будет

$$L_z = \int_0^T L_{z0} \sin \Omega t dt = \int_0^T mg x_0 \gamma_1 \gamma_3 dt = 0. \quad (13)$$

Таким образом, от момента L_z происходит пульсация проекций на ось z угловой скорости у среднего положения Ω и кинетического момента у среднего положения H .

Проекция L_y момента силы тяжести на ось y вращается вместе с гироскопом и вызываемое этой проекцией изменение кинетического момента, совершает такое же вращение. Следовательно, суммарная ось вращения обращается вокруг неподвижной оси, занимающей первоначальное положение. Обозначим это положение z_2 . Угол между осями z_1 и z_2 обозначим θ_0 . Действие момента L_y привело к возникновению суммарной оси вращения, то есть к появлению проекций ω_x и ω_y . Дальнейшее решение может

быть найдено из подобия такого же решения, но для гироскопа с повышенным центром тяжести (быстрого волчка) [6]. Для этого из уравнений (12) достаточно найти классические интегралы и присоединить к ним кинематические уравнения. Поскольку движение происходит относительно неподвижной оси z_2 , то прецессии очевидно не будет

$$\dot{\psi} = 0, \quad (14)$$

где $\dot{\psi}$ – из кинематических уравнений угловая скорость движения вокруг оси z_1 (то есть прецессия).

Относительно оси z_2 гироскоп Ковалевской совершает нутационное движение

$$\dot{\varphi} = \Omega + \frac{J_0 \Omega \cos \theta_0}{J_3 \sin \theta_0} \gamma, \quad (15)$$

где $\gamma = \theta_0 - \theta$.

Из данного соотношения квадратурой получается угол φ в зависимости от времени. Не производя вычислений интеграла, уже можно сделать следующие выводы для быстровращающегося гироскопа Ковалевской.

Уравнения (14) и (15) справедливы для произвольного по направлению смещения центра масс в экваториальной плоскости (не обязательно по оси x). Здесь мы пришли к одному из частных случаев *перманентного вращения Штауде*, поскольку рассматриваемые оси вращения одновременно неподвижны в земных координатах и координатах тела.

1. В общем случае, находясь в условиях действия силы тяжести, гироскоп совершает нутационное движение относительно неподвижной оси при постоянстве угла нутации.

2. Нутация гироскопа вызвана действием момента силы тяжести на его смещенный центр.

3. При больших значениях Ω , то есть при большом кинетическом моменте угол нутации пренебрежимо мал.

Приведенные в данном разделе решения демонстрируют более понятный физический смысл движения гироскопа Ковалевской, если, конечно, его модель соответствует предложенному варианту.

Решения С. В. Ковалевской имеет обобщающий характер, так как из него следуют четыре известных случая интегрируемости уравнений Эйлера. Это дало ей повод считать, что она нашла общее решение. В конце работы в качестве резюме она отметила все четыре случая [1].

1. $A = B = C$. Случай, когда эллипсоид инерции гироскопа представляет собой шар.

2. $x_0 = y_0 = z_0 = 0$. Решение Эйлера, в котором центры масс и подвеса совпадают, а моменты инерции могут быть любыми.

3. $A = B, x_0 = y_0 = 0$. Решение Лагранжа для тяжелого гироскопа, центр масс которого смещен по оси z . Осевой момент инерции может быть любым.

4. $A = B = 2C, z_0 = 0$.

Анализ, выполненный А. А. Марковым, вскрыл некоторые сомнительные места в решении Ковалевской, которые были устранены А.М. Ляпуновым, давшим строгое доказательство ее теоремы, обобщающим ее на случай любых однозначных общих интегралов [1].

Решение С.В. Ковалевской чисто математическое и по этой причине не является наглядным. В своих двух работах «Задача о вращении твердого тела» и «Задача о вращении тяжелого тела» она выбирала пути, кратчайшие для достижения результата и не рассматривала другие случаи, иногда даже ссылаясь на отсутствие времени [1]. В представленном здесь варианте есть возможность увидеть, что решающими условиями для такого гироскопа являются следующие:

– $A = B$;

– смещение центра тяжести должно быть в экваториальной плоскости эллипсоида инерции.

При этих условиях на Земле на гироскоп действует только один момент, то есть на его смещенный центр масс действует сила тяжести. Отсюда следует, что *моменты инерции относительно точки подвеса и их соотношение могут быть любыми*. Данный вопрос будет рассмотрен в следующем разделе.

Для более удобного представления данного движения в прикладной теории координаты Эйлера по известной схеме могут быть преобразованы в координаты горизонтной системы. Поскольку гироскоп тяжелый, то есть находится под действием момента силы тяжести, то в новых координатах его движение удобно представить как качение полодии по герполодии. При этом герполодия стягивается в точку (прецессия отсутствует), а полодия представляет собой аксоид нутации.

3. Варианты модели гироскопа Ковалевской

Обзор, выполненный в параграфе 1, показывает, что гироскоп Ковалевской это вытянутый гироскоп, удовлетворяющий условию (1). Это круговой цилиндр, соотношение размеров которого решено подбором (3, 4). Другой вид данного гироскопа – эллиптический цилиндр. Однако в этом случае задача подбора размерностей значительно усложняется. Трудности возрастают, если рассматривать другие сложные формы тела. Поэтому остановимся на круговом цилиндре и, хотя бы, наметим границы, в пределах которых возможно удовлетворение условию (1). Для этой цели воспользуемся методом итераций.

Назначим: $2d = R$, $l = R\sqrt{15}$. Тогда

$$\begin{aligned} J_0 = C &= \frac{1}{2} m \cdot R^2 + \frac{1}{4} mR^2 = \frac{3}{4} mR^2 \\ J_3 = A = B &= mR^2 \left(\frac{1}{4} + \frac{15}{12} \right) = \frac{3}{2} m \cdot R^2, \end{aligned} \quad (16)$$

Назначим: $4d = R$, $l = R\sqrt{\frac{21}{2}}$. Тогда

$$\begin{aligned} J_0 = C &= \frac{1}{2} m \cdot R^2 + \frac{1}{16} mR^2 = \frac{9}{16} mR^2 \\ J_3 = A = B &= mR^2 \left(\frac{1}{4} + \frac{21}{24} \right) = \frac{9}{8} m \cdot R^2. \end{aligned} \quad (17)$$

Перед обобщением сделаем еще шаг: $8d = R$, $l = R\sqrt{\frac{75}{8}}$. Для этих параметров

$$J_0 = \frac{33}{64} mR^2, \quad J_3 = \frac{33}{32} mR^2. \quad (18)$$

Уже три первые итерации показывают, что при $d \rightarrow 0$ моменты инерции гироскопа Ковалевской стремятся к моментам инерции симметричного гироскопа с параметрами (3) и (4). При этом гироскоп сохраняет условие (1). Таким образом, плечо, а с ним и момент силы тяжести уменьшается и решение уравнений (6) переходит от выражений (14) – (15) к выражениям (8) – (10).

Гироскоп Ковалевской модели Мерцалова. Модель Мерцалова из всех реальных моделей наиболее известна. Движение гироскопа данной модели в корне отличается от теоретических предсказаний предыдущего параграфа. Фактически наблюдаемые данные говорят о том, что движение представляет собой на первый взгляд хаотичную траекторию [6], по сложности соответствующую движению неуравновешенного тяжелого гироскопа [4, 5]. Очевидна единственная причина такого расхождения: один из гироскопов не соответствует гироскопу Ковалевской. То есть, либо предложенная в разделе 2 теоретическая модель неверна, либо реальная модель Мерцалова изготовлена с низкой точностью. Поскольку предложенная автором этих строк модель и модель Мерцалова внешне близки друг другу, то последнее предположение кажется наиболее вероятным.

По всей видимости, модель Мерцалова была изготовлена в конце 30-х годов 20 столетия. Технологии производства гироскопов в то время не были развиты, вследствие чего ротор гироскопа вряд ли был уравновешен в достаточной степени. В гироскопе Ковалевской центры подвеса и тяжести находятся на одной нормали к оси вращения). Очевидно, что любое, даже самое незначительное отклонение центра тяжести от этой линии приводит к возникновению момента сил F_M и F_R . При высокой скорости вращения центробежная сила F_R и ее момент могут быть велики и уже только они способны вызвать значительный дрейф гироскопа [2]. Неточность вывески – это изменение распределения масс, а дрейф – это изменение характера и осей вращения. Следовательно, изменяются и центробежные моменты инерции, а с ними и моменты центробежных сил F_c , которые теперь уже не будут уравновешиваться, а их суммарный момент постоянно меняется. Если прибавить сюда действие момента силы тяжести, который также меняется вследствие изменения положения гироскопа, то это и дает сложнейшую картину прецессионно-нутационного движения модели Мерцалова. Конечно, можно подобрать решение для движения данного гироскопа, однако вряд ли есть в нем какой-нибудь смысл, так как это позволит оценить точность вывески только одного конкретного экземпляра.

Таким образом, экспериментальная модель не подтверждает теоретические данные, однако это с большой вероятностью говорит о недостаточной чистоте эксперимента. Если следовать теоретическим предположениям настоящей работы, то для достижения полного соответствия модели Мерцалова гироскопу Ковалевской необходимо следующее. Надо предусмотреть устройство, с помощью которого ротор можно передвигать ротор

в направлении продольной оси z . Запустив гироскоп, установленный главной осью горизонтально, продольными перемещениями добиться исчезновения прецессии и нутации. В горизонтальном положении не действует момент силы тяжести, следовательно, наличие прецессии и нутации говорит о том, что гироскоп неуравновешен. Продольными перемещениями ротора добиться, чтобы ось вращения стала неподвижной. Так можно выполнить динамическую настройку модели Мерцалова на параметры гироскопа Ковалевской. Образец устройства перемещения ротора в этой модели уже есть в виде винтовых устройств для перемещения ротора относительно экваториальной оси.

О других моделях тяжелых гироскопов. Большинство из них вряд ли могут представить собой технический интерес. По этой причине будем придерживаться, в основном, только их физического смысла. Начнем с варианта модели, предложенной в предыдущем параграфе, но подвешенной так, как указывал К. Магнус. В обоих случаях (рис. 2 и 3) для разгона гироскопа можно, например, зафиксировать ось z , а затем убрать одну из опор.

1. Центр тяжести выше точки подвеса. Этот вариант, кстати, изображен и на упомянутом выше рисунке Жуковского. В этом случае момент центробежной силы F_M (рис. 2а) относительно точки опоры настолько велик [2], что даже при достаточно медленном вращении гироскоп мгновенно ляжет на опорную поверхность. Вывод К. Магнуса о неустойчивости такого гироскопа наглядно подтверждается.

Очевидно, что под действием момента L_M y центробежных сил ось z начнет описывать спираль (рис. 2б) до тех пор, пока цилиндр нижним основанием не коснется поверхности Π . После этого начнется качение гироскопа по этой поверхности.

2. Центр тяжести ниже точки подвеса (рис. 3а). Во время разгона гироскопа на центр его масс действует центробежная сила F_M и ее момент L_{My} . После его разгона и удаления нижней опоры вращение по инерции продолжается относительно точки опоры O . Момент времени удаления опоры примем за начальный. После него движение переходит во вращение вокруг оси z_2 , проходящей через точки O и M . В этом случае гироскоп имеет значительные центробежные моменты инерции (показана точка только A и центробежная сила F , создающая наибольший момент L_{Ay}).

Если применить рассуждения предыдущего параграфа, то можно показать, что положение оси z_2 может быть неизменным. Момент L_y силы тя-

жести оказывается значительным, особенно при большом угле θ , поэтому он вызовет прецессию гироскопа. Кривая прецессии является герполодией. Момент L_{Ay} вращается вместе с гироскопом, вызывая нутационное движение, то есть полодию.

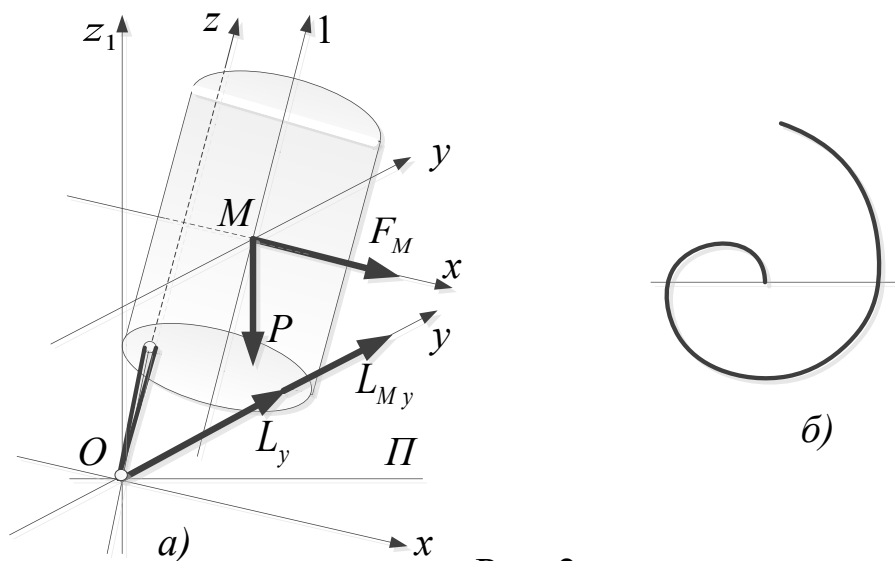


Рис. 2

При медленном вращении полодия и герполодия не образуются, так как центробежные силы относительно мгновенной оси вращения незначительны (рис. 3б). По этой причине на начальном этапе траектория движения оси z представляет собой расходящуюся спираль относительно оси z_1 , как на рис. 2б). Затем наступит положение равновесия, при котором движение сводится к устойчивому вращению массивной точки M вокруг вертикали. Центр тяжести M описывает окружность радиуса MK .

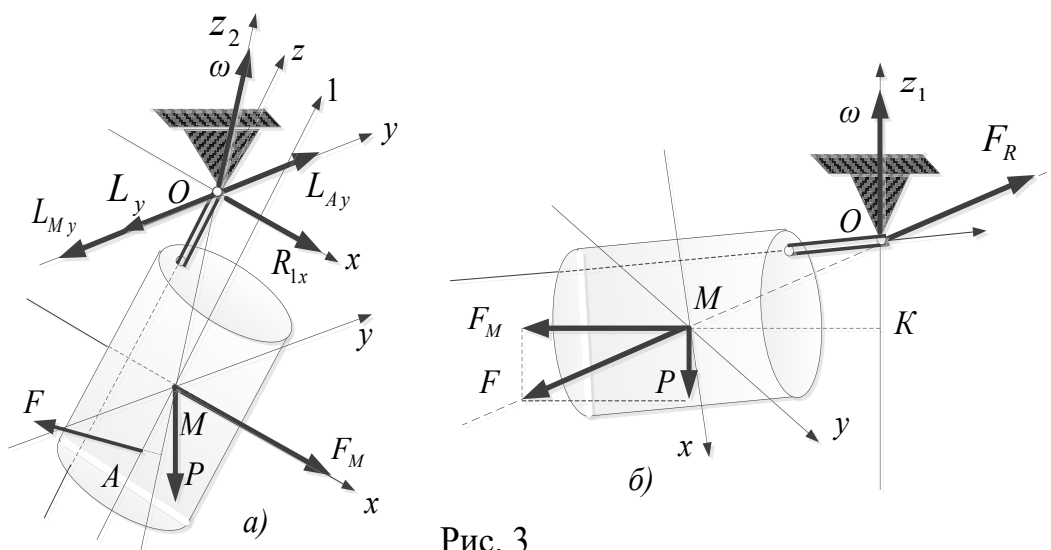


Рис. 3

В классификации К. Магнуса имеются многие другие случаи интегрируемости уравнений Эйлера. Близким к гироскопу Ковалевской является гироскоп Горячева-Чаплыгина, для которого $A = B = 4C$. Хотя этот случай имеет некоторые ограничения, однако непосредственно сам гироскоп движется так же как гироскоп Ковалевской и все приведенные в данной главе рисунки и выводы по ним полностью соответствуют и этому гироскопу.

Случай Горячева-Чаплыгина имеет ограничение по начальным условиям: вектор H_0 кинетического момента данного гироскопа горизонтален. Выше этот случай рассмотрен для гироскопа Ковалевской. Такой гироскоп устойчиво вращается на Земле также как и в инерциальных координатах. Правда здесь следует добавить, что как у Ковалевской, так и у Горячева-Чаплыгина речь идет о «неподвижной» Земле. Фактически же она вращается, вследствие чего вектор H_0 выйдет из горизонтального положения и его дальнейшее движение будет происходить так, как показано разделе 2.

В качестве вывода можно отметить, что все известные случаи и модели гироскопов не имеют принципиальных различий в движении, а само движение обусловлено формой и уравновешенностью ротора, а также действием моментов внешних сил.

Литература

1. Ковалевская С.В. Избранное. – М.: Издательство академии наук, 1948. – 388 с.
2. Мартыненко Ю.Г. Тенденции развития современной гироскопии. <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/443/html> 04.04.2003.
3. Магнус К. Гироскоп. Теория и применение. – М.: Мир, 1974. – 526 с.
4. Арнольд Р. Н., Мондер М. Гиродинамика. – М.: Машиностроение, 1964. – 468 с.
5. Граммель Р. Гироскоп. Его теория и применение. Т 1. – М.: ИЛ, 1952. – 386 с.
6. Никитин Н. Н. Курс теоретической механики. – М.: Высш. шк. 2003.– 719 с.
7. Борисов А. Н. <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/443/html>.

КИНЕТИЧЕСКИЙ МОМЕНТ ВСЕЛЕННОЙ

Саранчин А. И.

Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского

Солнечная система сформировалась таким образом, что в ее центре находится небольшая по космическим мерам звезда – желтый карлик. Масса Солнца составляет 99,87 % от всей массы солнечной системы. Таким образом, масса системообразующего тела почти на три порядка превосходит остальную массу вещества. В связи с этим существуют условия, при которых выполняются законы Кеплера: в частности, чем дальше находится планета от Солнца, тем меньшую линейную скорость движения по орбите она имеет. Это с достаточно высокой степенью точности объяснено законом всемирного тяготения Ньютона. Собственно, открытие самого этого закона в большой степени предопределено законами Кеплера. Из закона всемирного тяготения следует, что условием выполнения законов Кеплера является наличие большой массы, которая формирует центр вращения (ЦВ). Действительно, при таком соотношении масс Солнца и периферии центр вращения всегда близок к центру Солнца. Даже во время, так называемого «парада планет», когда все они выстраиваются в одну линию с одной стороны Солнца, центр вращения смещается на незначительную величину.

Кинетический момент H солнечной системы формируется планетами. Их радиусы вращения вокруг Солнца настолько большие, что, несмотря на незначительную массу, они вносят основной вклад в этот параметр. В то же время масса и угловая скорость вращения самого Солнца несоизмеримо велики, но его вклад в кинетический момент системы составляет только 2 %. Отметим, что вращение планет вокруг собственной оси, то есть их собственный кинетический момент, никак не сказывается на кинетическом моменте H системы в целом.

Однако сказанное нельзя отнести к значительным звездным образованиям. В частности, известно, что законы Кеплера, например, уже для галактики, не выполняются, а именно, звезды на периферии и близко к ее центру имеют практически одинаковую линейную скорость движения. О Вселенной по этому вопросу мы вообще не имеем никакой информации.

Поскольку закон всемирного тяготения не зависит от количества вещества в небесном формировании, то для исследования Галактики в каче-

стве аналога примем Солнечную систему. Тогда можно сделать вывод: законы Кеплера не выполняются в Галактике потому, что в ней недостает масс вещества. Например, в нашей Галактике Млечный Путь не менее 100 миллиардов звезд. По аналогии с Солнечной системой, для того, чтобы в Галактике выполнялись законы Кеплера, в ее центре должно находиться некоторое образование, масса которого составляет 100 триллионов масс звезды. Поскольку такого образования в Галактике нет, то законы Кеплера в ней не выполняются.

Выше высказанная гипотеза имеет под собой хоть какое-то опытное основание. Существует и другая, прямо противоположная гипотеза: для обеспечения равной линейной скорости составляющих тел Галактики в ней должна существовать огромная масса. Иными словами, весьма неожиданно предполагается: вещество огромной массы в Галактике все-таки существует, и по этой причине законы Кеплера в ней не выполняются. Это вещество проявляет себя только созданием для всех тел Галактики, независимо от их расстояния до центра, одинакового ускорения свободного падения, то есть имеет массу, создающую гравитационное поле. В остальном оно себя никак не проявляет, само не создает и не отражает никаких физических полей или частиц, которые можно регистрировать, и поэтому недоступно ни для какого наблюдения. По этой причине оно получило название темного вещества или темной материи.

Еще одно противоречие последней гипотезы. Концентрация видимого вещества в Галактике определяется гравитационным полем, следовательно, и физическим смыслом ее зарождения, а именно: плотность размещения тел в ней убывает от центра к периферии. В то же время, для того чтобы поддерживать равное гравитационное поле на периферии, темное вещество должно концентрироваться в обратном порядке. Таким образом, темную материю вряд ли можно считать веществом в привычном понимании, поскольку вещество под действием собственного гравитационного поля стягивается к центру масс, а темная материя – к периферии.

В представляемых здесь рассуждениях мы пойдем от Солнечной системы к построению модели несоизмеримо грандиозного небесного образования – Галактике, а от нее – к самой Вселенной. Для этого используем *известное распределение* масс для построения картины их взаимодействия посредством гравитационного поля.

1. О гравитации

Путь построения модели Галактики был подсказан в 90-х годах прошлого столетия человеком, имя которого стало символом одного из самых выдающихся научно-технических достижений 20-го века, Нилом Армстронгом. В воспоминаниях о первом полете на Луну он упомянул о прохождении одной из замечательных точек гравитационной системы Земля-Луна. Данная точка известна, но на нее мало обращается внимания при теоретическом построении различных космических моделей. Эта точка равных гравитационных сил Земли и Луны, то есть точка нулевой гравитации названной системы.

Обычно при построении таких моделей используется другая точка – центр масс системы. Эта точка как раз и является центром вращения тел, входящих в систему. При построении модели воспользуемся понятиями данных точек. Однако, вначале напомним некоторые дополнительные сведения, которыми воспользуемся в дальнейшем для построения модели, основанной на известной закономерности: *ускорение свободного падения величина постоянная, независимая от массы падающего тела.*

Согласно закону всемирного тяготения все тела взаимодействуют друг с другом с силой

$$F = G \frac{Mm}{R^2}, \quad (1)$$

где G – гравитационная постоянная; M и m – массы взаимодействующих тел; R – расстояние между центрами масс этих тел.

На рис. 1 показаны несколько тел разной массы, соответственно, m_1, m_2, \dots, m_n , поочередно помещенных в одной точке на расстоянии R от некоторого тела, массой M . За систему координат примем ИСО, в которой суммарный центр масс $ЦМ_i$ условно неподвижен. Закон всемирного тяготения (1) позволяет на каждый случай рассчитать положение центра масс. Чем больше масса помещенного в точку тела, тем ближе к ней смещается общий центр масс $ЦМ_i$. На таком же расстоянии r_i от центров масс помещенных в точку тел будут находиться точки 0_i , в которых сила взаимодействия с телом M равна нулю. Ранее мы условились называть такие точки точками нулевой гравитации системы.

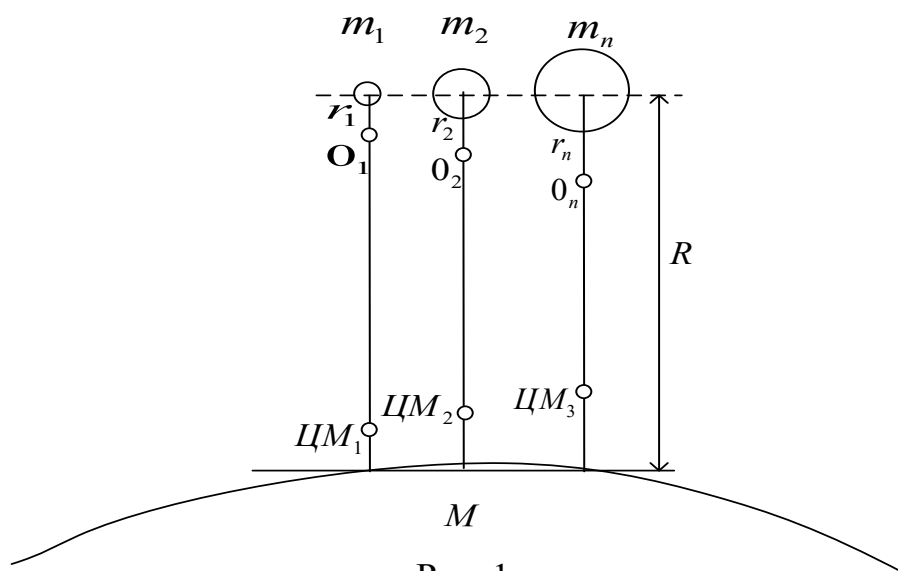


Рис. 1

Как можно заключить из рис. 1, отношение масс тел m_i , взаимодействующих с телом M , к расстоянию r_i до точек O_i есть величина постоянная

$$\frac{m_1}{r_1} = \dots = \frac{m_n}{r_n} = const. \quad (2)$$

Рассмотрим механизм свободного падения, допустим, на примере второго тела m_2 и тела M . Оба тела устремляются в точку $ЦМ_2$ общего центра масс, которая и определяет положение равновесия. Точка нулевой гравитации движется впереди тела m_2 . Затраты энергии полностью прекратятся, когда все четыре точки совпадут. Это точки собственного центра масс каждого тела, а также точки нулевой гравитации и центра масс системы.

Из уравнения (2) и рассмотренного механизма свободного падения мы получили следующие выводы.

1. Ускорение свободного падения величина постоянная.
2. Ускорение свободного падения не зависит от массы падающего тела.
3. Ускорение свободного падения определяется массой притягивающего тела и расстоянием до него.

Последнее утверждение требует дополнительного пояснения. Известно основное противоречие закона всемирного тяготения: почему с увеличением массы тела, то есть с увеличением силы, ускорение свободного падения не изменяется. На первый взгляд это противоречит второму и третьему законам Ньютона. Из них следует, чем больше действующая сила, тем больше ускорение. Из рис. 1 можно увидеть, что эти законы все-таки выполняются для гравитационного поля, а вместе с ними выполняется

и закон сохранения энергии. Чем большей массы тело n мы поместим в рассматриваемую точку, тем с большей силой оно будет действовать на тело M , тем с большим ускорением это тело M будет падать на первое тело, поскольку $\frac{M}{R - r_i}$ увеличивается с увеличением значения r_i .

Если это вывод рассмотреть по отношению, например, к Земле, то можно сказать: чем больше тело, падающее на нее, тем с бóльшим ускорением она падает на тело. Само же тело сохраняет ускорение свободного падения на Землю в силу (2). Таким образом, закон всемирного тяготения это мера воздействия каждого тела на все другие тела. Именно этим определяется взаимодействие тел.

Если пренебречь механическими свойствами тел, то можно сказать, что в точке их встречи $ЦМ_i$ центры масс и точка нулевой гравитации совпадут. В этой точке, то есть в центре тела, гравитационная сила равна нулю. Кстати, это может касаться и черной дыры. На горизонте событий черной дыры гравитационное поле ослаблено настолько, что с него уже может стартовать свет. Если двигаться от горизонта событий внутрь, то потенциал поля будет возрастать до некоторого предела, а затем по мере приближения к центру дыры – уменьшаться, доходя до нуля в центре.

Обратимся к небесной системе, например, к Солнечной. Все тела системы вращаются вокруг Солнца по своим орбитам. Таким образом, они находятся в свободном падении на Солнце, оставаясь на орбите благодаря линейной скорости v , касательной к ней. Гравитационная сила (13.1) исполняет роль центростремительной силы [4]

$$G \frac{Mm}{R^2} = -m \frac{v^2}{R} . \quad (3a)$$

Здесь речь идет об одной и той же силе, выраженной через разные параметры. Согласно третьему закону механики противодействует этой центростремительной (гравитационной) силе сила инерции. Это центробежная сила, выражаемая, правой частью уравнения (3a), но с противоположным знаком. Здесь мы говорим уже о разных силах

$$G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v^2}{R} . \quad (3б)$$

Согласно выражению (13.2), ускорение любого тела, находящегося на данной орбите, величина постоянная, не зависящая от массы этого тела. Если принять условие равенства тяжелой и инертной масс, то получим

$$G \frac{M}{R} = v^2. \quad (3в)$$

Например, любое тело, движущееся по эклиптической, будет иметь такое же ускорение свободного падения, как и Земля. Это означает, что это *тело, оставаясь на земной орбите, будет иметь ту же линейную скорость, что и Земля.*

Центром орбитального вращения всех тел Солнечной системы является её центр тяжести. Это точка, как отмечалось выше, находится внутри солнечного тела, а центры нулевой гравитации вращаются с каждым телом. При этом *тела, находящиеся на разных орбитах, имеют различные линейные скорости.*

Будем считать, что условие устойчивого существования небесных систем, это неотличимость и равенство гравитационных и инерционных сил.

Все приведенные в данном параграфе выводы будем использовать для построения моделей более сложных систем, чем Солнечная система.

2. Кинетический момент Галактики

В Галактике все тела и другие образования вращаются также как и в Солнечной системе вокруг центра ее масс. Но есть коренное отличие этих вращений – в Галактике они происходят с одинаковой линейной скоростью, то есть имеют одинаковое ускорение свободного падения. Отсюда можно сделать вывод, что *каждое тело имеет свою мгновенную точку вращения и свою мгновенную точку нулевой гравитации. В формировании этих точек участвуют все массы Галактики.* Рассмотрим механизм их формирования.

В среднем массы звезд колеблются около определенной величины. Среди них есть и гиганты, и карлики, процент которых сравнительно небольшой, но в среднем звезды соизмеримы по массам. Каждая из них имеет свою орбиту в галактике. Рассмотрим взаимодействие вначале пары звезд (двойная звезда), обозначенных на рис. 2 номерами 1 и 1а. Они образуют центр вращения, совпадающий с центром масс ЦМ1, который ближе к той из них, которая массивнее. Этот центр характерен тем, что, хоть он

и является центром масс, но гравитационная сила в этой точке равна нулю. То есть эта же точка является точкой нулевой гравитации.

Представим, что на линии y , соединяющей звезды, существует третья звезда 2. В этом случае центр вращения системы перемещается в район звезды 1 и смещен от ее центра в сторону или более близкой, или более массивной звезды. Далее будем считать, что все звезды равны по массе и расположены друг от друга на одинаковом расстоянии r . После того как станет понятен механизм формирования скоростей, от упрощения можно будет отказаться.

Появляется четвертая звезда 2а. Между ней и ближайшей от нее звездой 1а возникает точка нулевой гравитации. На положение этой точки влияют и остальные звезды, находящиеся на этой линии. Они смещают точку на некоторое расстояние к центру системы.

Далее, если появится звезда 3, то между ней и звездой 2 происходит подобное же взаимодействие. Кроме того, ее появление «подкорректирует» и центр нулевой гравитации O_1 в свою сторону. Такое взаимовлияние распространяется и на все звезды в галактике.

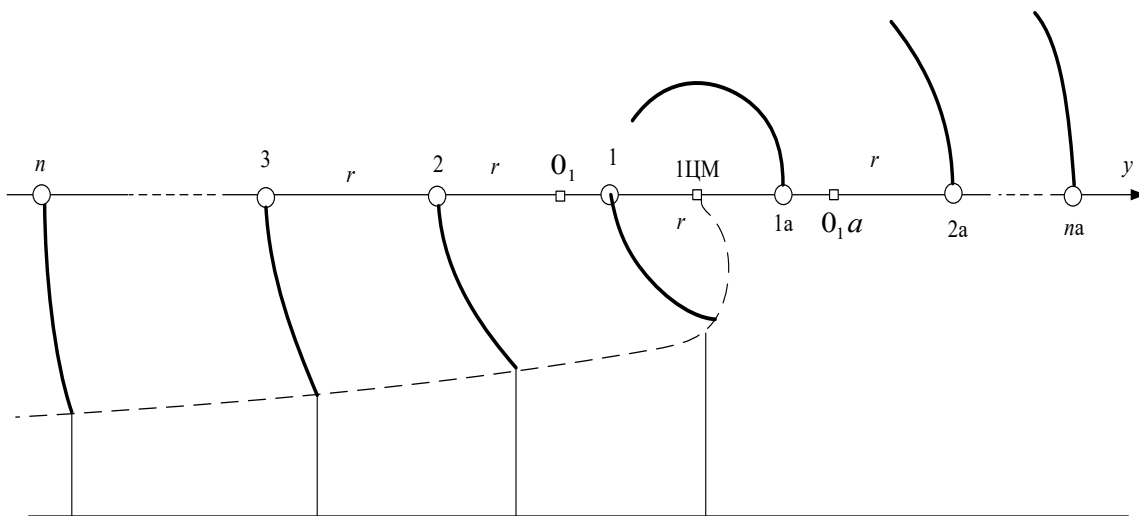


Рис. 2

Приведенные выше рассуждения позволяют заключить, что в формировании точек нулевой гравитации для каждой звезды участвуют все тела галактики. Положение этих точек относительно каждой звезды, следовательно, практически одинаково и не зависит от массы отдельной звезды ввиду ее несоизмеримости с массой галактики. Таким образом, в соответствии с (2) и (3а) каждое тело находится в состоянии свободного падения с одинаковым ускорением и, в соответствии с (3в), движется с одинаковой

линейной скоростью. В то же время движение тела по орбите перемещает и точку нулевой гравитации этого тела.

Возможно, среди множества галактик есть такие, которые образовались по столь упрощенной схеме. В центре такой галактики может и не находится балдж с ядром, хотя это и маловероятно. Для того, чтобы такое образование могло все больше захватывать вещество, оно должно обладать достаточной начальной массой. Поэтому наиболее вероятен на начальном этапе вариант образования балджа и ядра. Однако в последующем с присоединением все большего количества звезд и других массивных тел приведенная схема начинает работать. С присоединением очередных тел с какого-либо направления (на рис. 2 это ось y) эквипотенциальная поверхность гравитационного поля вытягивается по этой оси. В результате вероятность захвата других тел с этого направления увеличивается. Далее происходит все так, как показано на рис. 2: звезды, двигаясь с одинаковой линейной, но с разной угловой, скоростью, образуют спираль. Такое развитие событий наиболее вероятно, поскольку число спиральных галактик наибольшее и составляет 55% от их общего количества. Эллиптические галактики образуются или в случае более-менее равномерного присоединения тел с разных направлений, или старые галактики. В последнем случае рукава спиралей закручиваются настолько, что сливаются между собой.

Для выше приведенных выводов достаточно было иметь перед собой рис. 2. Однако позже стало известно, что еще в семидесятых годах братья Алар и Юрий Гумре (Германия) показали, что составленные ими компьютерные программы неизменно рисуют эллиптические галактики, возникающие в результате слияния двух или нескольких спиралей [3]. Добавим, что и одна спираль может прийти к слиянию, если галактика сделает несколько оборотов. Участие автора этих строк в этом выводе здесь упомянуто, чтобы показать его очевидность. Когда в черный кофе добавляют сливки, то вначале при размешивании образуется постепенно сливающаяся спираль.

Чаще всего галактики имеют форму диска, все тела, которого вращаются приблизительно вокруг одной оси, перпендикулярной к его плоскости. Угловые скорости тел в галактике уменьшаются от центра к периферии. Линейные скорости этих тел приблизительно постоянны. Кинетический момент такого образования будет

$$H = R_c v \sum_1^n m, \quad (4)$$

где m – масса всего вещества, входящего в галактику; R_c – средневесовой радиус галактики; $v \approx const$.

Очевидно, что кинетический момент такого образования отличается от кинетического момента твердого тела. Для твердого тела постоянна угловая скорость $\omega = const$, для галактики – постоянна линейная скорость ее составляющих $v = const$.

3. Уравновешенная Вселенная

Исследование гироскопа, представленное в предыдущих главах показало, что выбор системы координат при изучении механических явлений может значительно упростить понимание того или иного вопроса в силу инвариантности законов физики к инерциальной системе отсчета. Однако существует проблема представления самой инерциальной системы отсчета, поскольку нет материализованных точек, с которыми можно связать координаты.

Построение моделей больших космических образований связано как раз с материализацией системы отсчета. При построении Солнечной системы Птолемей в качестве материальных координат использовал Землю. Копернику удалось перенести себя в другую систему отсчета, материальным воплощением которой является Солнце. Этот революционный шаг привел к созданию модели Солнечной системы еще до открытия закона всемирного тяготения. Высокоточные астрономические наблюдения Т. Браге позволили И. Кеплеру, используя новую систему отсчета, отказаться полностью от принципов Аристотеля в объяснении движения небесных тел и построить модель Солнечной системы. Попутно Кеплер выявил, что кометы являются телами этой системы и находятся дальше Луны. Закон всемирного тяготения внес в эту модель физический смысл, указав, почему движение небесных тел является именно таковым. Общая теория относительности в начале 20 века окончательно завершила модель Солнечной системы, объяснив отдельные «тонкости», например, движение орбиты Меркурия. Таким образом, *принципиальная модель Солнечной системы была создана до открытия закона всемирного тяготения* только на основании наблюдаемого движения небесных тел.

Надо отметить, что параллельно с моделью Солнечной системы создавалась и модель Вселенной. Очевидно, первую научно обоснованную модель Вселенной на основании учения Коперника предложил популяризатор этого учения Джордано Бруно. Это произошло во второй половине 16 века, то есть также до открытия закона тяготения. Её Вселенная статична, так как в то время было неизвестно движение звезд. Д. Бруно считал, что Вселенная бесконечна в пространстве и времени и вследствие этого не может в движении, поскольку ей некуда переместиться, так как она присутствует везде. При этом звезды образуют отдельные миры, так как каждая звезда может иметь свою систему на подобии Солнечной.

До начала 20-го века считалось, что Вселенная статична. Даже Эйнштейн в процессе согласования гравитационного взаимодействия со специальной теорией относительности, создавший в 1915 году общую теорию относительности, был уверен в статичности Вселенной. Заметим, что И. Ньютон, вполне возможно, не считал Вселенную статичной. Разъясним причину такого предположения позже.

С открытием закона всемирного тяготения можно было прийти к выводу, что под действием гравитационных сил статичная Вселенная должна сжаться, однако этого не происходит. По этой причине Эйнштейн вынужден был модифицировать общую теорию относительности понятием «антигравитационной» силы, введя в ее уравнения космологическую постоянную [1]. Эйнштейн считал, что пространство-время всегда расширяется и тем самым уравновешивает гравитационное сближение.

Многие современные физики задаются вопросом, почему с открытием закона всемирного тяготения уж в 17 веке не была поставлена проблема нестатичности Вселенной. Ответить на это можно следующими предположениями. Поскольку Вселенная бесконечна (так тогда считалось), то на любые тела, находящиеся в ней, например, на звезды по всем направлениям действуют одинаковые силы, так как по всем направлениям находится одинаковое бесконечное количество материи. Благодаря этому обеспечивается и неподвижность звезд.

Параллельно с развитием космологии развивались и совершенствовались средства измерения. В 1924 году американский астроном Э. Хабл установил, что кроме Млечного Пути существуют и другие галактики. Кроме того, используя особо чувствительные приборы, основанные на эффекте Доплера, он открыл факт расширения Вселенной. С помощью эффекта Доплера по красному смещению в спектре галактик Хабл показал:

чем дальше от нас находится галактика, тем с большей скоростью она удаляется от нас. Поскольку эффект Доплера дает возможность только измерить скорость сближения или удаления приемника и источника колебаний, то в то время считалось, что расширение происходит «по прямой». То, что галактики имеют и боковое движение, было установлено позже [2].

Самое понятное предположение очевидно: когда-то произошел взрыв некоторой сингулярной точки, породивший Вселенную. Так родилась теория большого взрыва.

Теория большого взрыва многократно подтверждалась и объясняла многое в строении и движении Вселенной. Кроме того, примерно в то же время, когда Хаббл сделал свое открытие, советский математик А.А. Фридман нашел решение уравнений общей теории относительности без космологической постоянной, то есть без «противосилы». Оказалось, что такое решение возможно как раз вследствие расширяющейся Вселенной. Правда это решение стало известно физикам намного позже, когда теория большого взрыва уже стала преобладающей, но оно оказалось исключительно точно подтверждающим эту теорию.

Однако в теории есть и противоречия.

1. Не все галактики имеют красное смещение. Есть такие, спектр которых имеет голубое (фиолетовое) смещение. С такими галактиками мы сближаемся.

2. Галактики разбегаются не точно по прямой. Зафиксировано и боковое движение галактик. Это может означать, что во Вселенной имеется привилегированная точка, от которой «разбегаются» галактики вследствие большого взрыва, но это противоречит начальной концепции. Кроме того, существуют галактики, траектории которых пересекаются, что приводит к их столкновениям. Это можно объяснить или их случайным собственным движением, не подтверждающим общую закономерность, или какими-то другими причинами.

3. Обнаружено ускоренное «разбегание» наиболее далеких галактик. Это означает, что согласно второму закону механики на них действует сила. Таким образом, снова вернулись к эйнштейновской «противосиле», которая, как оказалось, не только не уравновешивает гравитацию, но и превосходит ее. Фактически вернулись к тому положению, от которого ушли благодаря теории большого взрыва. Чтобы не признавать это обстоятельство пришлось «прятаться» за терминологию. Теперь появилась темная энергия, разгоняющая Вселенную. Её источник неизвестен. Можно пред-

положить, что большой взрыв происходил в два этапа. Вначале была выброшена темная материя, и она разбегается впереди видимой материи, притягивая к себе последнюю. Кстати, к такому же выводу мы пришли в модели галактики. Там тоже получается, что темная материя должна быть сосредоточена на периферии этого образования.

Отметим, что в наших исследованиях мы второй раз сталкиваемся с одним и тем же явлением некорректности. Теория гироскопа начиналась с отвержения сил инерции. Свои уравнения Л. Эйлер составил таким образом, что все гироскопические явления объясняются особенностями вращения. Хотя среди моментов в его уравнениях есть и моменты сил инерции, но этот факт удалось обойти. Однако сами особенности движения требовали физических объяснений. Тогда пришлось ввести в действие гироскопический момент, переделав его из математического понятия в механическое. Для его обоснования вернулись туда, откуда ушли: происхождение гироскопического момента инерционное, основанное на кориолисовых силах инерции. Просто таким сложным путем заменили одни силы инерции, то есть центробежные, которые действительно действуют в гироскопе, на другие силы инерции – кориолисовы, которые в нем не могут возникнуть в принципе. В модели Вселенной также пришлось вернуться к «антигравитационным» силам, назвав их темной энергией.

Вернемся к возможному пониманию строения Вселенной Ньютоном. Речь идет именно о возможном понимании, поскольку неизвестно было ли оно таковым, так как сам Ньютон его не высказывал. Как гласит легенда, Ньютон открыл закон всемирного тяготения благодаря упавшему яблоку. Он понял: и яблоко, и Луна одинаково падают на Землю. Однако Луна не достигает поверхности Земли вследствие того, что она вращается вокруг нашей планеты. Далее он пришел к выводу, что и планеты также находятся в свободном падении на Солнце, одновременно вращаясь вокруг него. Вполне вероятно в соответствии с современной терминологией «по умолчанию» можно было считать, что и *звезды падают на некоторый центр, вращаясь вокруг него*. Однако их движение не заметно в связи с большими расстояниями до них. Правда, для такого предположения необходимо было допустить, что Вселенная конечна.

За основу возьмем два предположения А. А. Фридмана [2], которые сформулируем единым предложением: Вселенная выглядит одинаково во всех направлениях, независимо с какого ее места производится наблюдение. Мелкомасштабными локальными различиями пренебрегаем.

Зададимся вопросом: какие ограничения существуют на уровне Вселенной, вследствие которых к ней нельзя применить принципы устойчивого существования звездных систем и галактик? Используем следующую аналогию, переходя от меньших масс вещества к большим. Система Земля-Луна или другие планеты и их спутники, это устойчивые системы. Перейдем от планетарных систем к звездным, в которых планеты вращаются вокруг звезды. Многократное увеличение взаимодействующих масс не привело к неустойчивости такого образования. Увеличим в триллионы раз массы вещества и перейдем к галактикам, где звезды, квазары, черные дыры и другие тела и скопления вещества вращаются, вокруг общего центра масс, представляя собой также устойчивую систему. Нет основания считать, что увеличение взаимодействующих масс нарушает устойчивость системы, организованной таким образом, что все массы в ней находятся в состоянии свободного падения друг на друга. Однако система остается устойчивой вследствие движения каждого тела с линейной скоростью, вектор которой близок к нормали к вектору гравитационной силы.

Конечно, приведенные рассуждения могут служить только косвенными доказательствами вращения Вселенной, то есть практически не являются доказательствами, однако они позволяют перейти к более надежным подтверждениям этого факта.

Снова обратимся к рис. 2, однако заменим в нем звезды, обозначенные номерами $2 - n$ и $1a - na$ на галактики. При гравитационном взаимодействии они также создают некоторый общий центр масс, который может быть и подвижным, то есть мгновенным, поскольку галактики перемещаются каждая относительно своего центра нулевой гравитации, вследствие чего перемещается и сам этот центр, что может привести к перемещениям и общего центра масс. Добавим, что таких центров в принципе может быть множество, и он необязательно обозначается скоплением масс или черной дырой.

За инерциальную систему отсчета примем мгновенный центр масс $1cm$. Анализируя рис. 2, можно сделать следующие выводы.

1. Галактики во Вселенной вращаются вокруг некоторого мгновенного центра масс.

2. Линейная скорость галактик приблизительно одинакова в силу тех же самых причин, что и линейная скорость звезд в галактике. Это объяснено в параграфе 2.

3. Радиусы орбит галактик различны. Из рисунка следует, что по этой причине вследствие их движения по концентрическим орбитам расстояние между ними постоянно увеличивается, в результате чего из любой из этих галактик наблюдается эффект их удаления друг от друга. Аналогия Вселенной с галактиками уместна, так как, например, для Млечного Пути обнаружено красное смещение в спектре далеких звезд.

4. Представленное на рис. 2 движение показывает, что между галактиками, находящимися на разных орбитах, возникает ускорение Кориолиса. Оно действительно наблюдается, правда для близких галактик это ускорение незначительно ввиду малой разности радиусов кривизны их траекторий и находится в пределах погрешности измерений. Для далеких галактик ввиду большой разницы в кривизне орбит его уже удалось измерить.

Воспользуемся известной формулой Кориолиса при расчете ускорения для простейшего случая, представленного на рис. 2, а именно, для галактик 1 и n

$$\vec{j}_c = 2(\vec{\omega}_{пер} \times \vec{v}_{отн}).$$

Некоторый центр масс 1ЦМ, он же центр вращения, находится на одной прямой, соединяющий обе галактики, а орбиты галактик представляют собой окружности. Для этого случая формула упрощается и приобретает вид

$$j_c = 2\omega_{пер}v_{отн}, \quad (5)$$

где $\omega_{пер}$ – угловая скорость вращения галактики 1; $v_{отн}$ – линейная скорость движения галактики n . При этом расстояние R между названными галактиками так велико, что движение галактики n можно считать прямолинейным.

Если расстояние галактики n до точки 1ЦМ равно R_n , то радиус орбиты галактики 1 будет $R_n - R$. Тогда

$$j_c = 2 \frac{v^2}{R_n - R}, \quad (6)$$

где v – линейная скорость галактик.

По аналогии со структурой галактик, линейная скорость v галактик во Вселенной одинакова.

Сравнив выражение (6) с уравнением (3б), можно увидеть, что наблюдаемое ускорение, то есть ускорение Кориолиса, в данном случае вдвое больше, чем центростремительное ускорение (оно же ускорение свободного падения). Именно это обстоятельство подтверждено фактически измерениями движения наиболее далеких галактик: их ускорение превышает величину, рассчитанную с помощью постоянной Хаббла.

Из сказанного следует также, что ускорение (6) не зависит от того, в какой из двух галактик находится наблюдатель. Отсюда следует – неизвестно какая из галактик находится ближе к центру вращения. В уравнении (6) известны, то есть, получены измерениями только ускорение и расстояние между галактиками. Местонахождение центра 1ЦМ, если таковой существует, а также линейную скорость относительно него, вряд ли возможно определить при любом количестве информации с разных направлений. В противном случае эта точка становится привилегированной системой отсчета.

5. Кроме удаления галактик друг от друга, наблюдается их боковое относительное перемещение, что в действительности обнаружено непосредственными измерениями.

6. Некоторые галактики могут сближаться друг с другом (голубое смещение), например, галактика 1а и галактика 2.

7. В отличие от звездных систем и галактик, представляющих собой диски, Вселенная объемна. Следовательно, галактики движутся в разных плоскостях. В этом кроется одна из причин их столкновений. Условие для столкновений – движение галактик по орбитам с одинаковым радиусом, но в разных плоскостях (рис. 3).

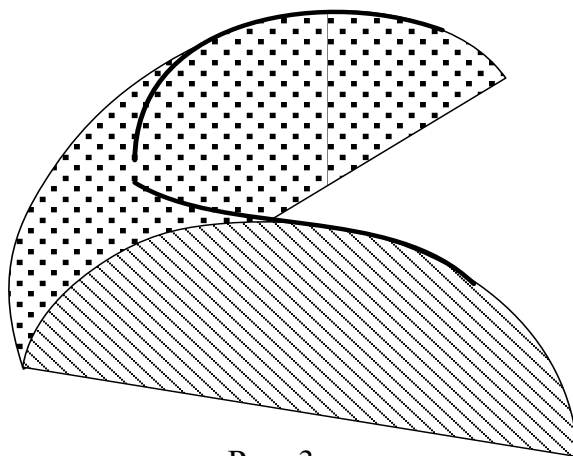


Рис. 3

После столкновения каждая из галактик продолжает движение по некоторой результирующей траектории.

Направления вращения галактик в разных плоскостях может носить случайный характер. В этом случае кинетический момент Вселенной равен нулю. Это является условием стабильности Вселенной – силы гравитации и силы инерции взаимокompенсированы в глобальном масштабе. Если есть закономерности во вращении, то кинетический момент определяется этими закономерностями, распределением масс во Вселенной и ее размерами. Однако это предмет дальнейшего изучения.

Все уравнения, касающиеся галактики, справедливы и для Вселенной в целом. Отсюда можно предположить, что принцип эквивалентности гравитации и инерции носит не локальный, а всеобщий характер.

Гравитационное поле галактик, а по аналогии и Вселенной, имеет «пористую» структуру. Между ближайшими телами и галактиками существуют области нулевой гравитации. В этих областях силы взаимодействия между этими телами или галактиками отсутствуют. Однако в этих областях всегда присутствует общее гравитационное поле галактики и Вселенной.

В настоящее время наблюдаются галактики, расстояние до которых составляет более 13 млрд световых лет. Находится ли там граница Вселенной? В этом случае у нее должен быть и центр. Согласно гипотезе Пуанкаре, доказательство которой завершил Г. Я. Пелерман в начале нашего века Вселенная стягивается в сферу [5]. Движение в этой сфере в любом направлении, это движение по окружности. Следовательно, условия Фридмана действительно выполнимы: Вселенная из любой ее точки наблюдается одинаково, а вопрос границ и центра отпадает.

Литература

1. Тейлер Р. Дж. Галактики. Строение и эволюция. – М.: Мир, 1981. – 223 с.
2. Хокинг С. Краткая история времени от большого взрыва до черных дыр. – СПб.: Амфора, 2014. – 231 с.
3. Черепащук А. М. Гравитационное микролинзирование и проблема скрытой массы. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. <http://www.astronet.ru/db/msg/1171344>.
4. Яворский Б. М., Детлаф А. А.. Справочник по физике. – М.: «Наука», 1985. – 512 с.
5. <http://allatra-science.org/publication/teorema-puankare>.

ВРАЩЕНИЕ ГИРОСКОПА ПО ИНЕРЦИИ

Саранчин А. И., Касич А. А.

Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского

1. Движение гироскопа, называемого симметричным

В предыдущих главах, особенно начиная с гл. 5, рассматривался симметричный гироскоп в ИСО, когда подвес в его обычном понимании отсутствовал. Естественно, что не ставился вопрос об уравниваемости гироскопа, так как свободно вращающееся тело всегда уравновешенно. При чем, как можно заметить, вопросы об угловых скоростях, положениях и фактических движениях осей рассматривались параллельно. Для такого гироскопа даже не возникает необходимости разносить в пространстве векторы его собственного вращения ω и кинетического момента H – они всегда совпадают (их частные проекции не имеютя ввиду). В данной главе поставим задачу распространить этот подход на любой гироскоп.

Вернемся к реальному гироскопу. Под реальным будем понимать доступный к постоянному наблюдению гироскоп, который в теории считается симметричным, и рассмотрим вначале, как теория объясняет столь явное расхождение его движения с действительно симметричными и свободными гироскопами, например небесного происхождения. Ясно, что здесь мы столкнемся с принятым в гироскопии констатирующим описанием свободного вращения гироскопа относительно неподвижной точки. Физические причины такого движения остаются неизвестными, что приводит ко многим противоречиям, о чем указывалось выше.

Примем следующие условия. Если поместить любое тело в инерциальной системе отсчета, так, чтобы оно не имело собственного вращения, то такое тело остается условно неподвижным. Таким образом, оно может служить инерциальными координатами. Во-первых, для него выполняется закон инерции, так как импульс этого тела не меняется: $p = mv = const$ относительно любой ИСО. Во-вторых, несмотря на то, что тело не вращается, для него все равно выполняется и закон сохранения момента импульса, поскольку $\bar{H} = 0 = const$. С приложением к телу вращающего момента в направлении его, момента, вектора согласно теореме об изменении момента импульса появится кинетический момент. То есть за время действия момента силы произойдет изменение кинетического момента от 0 до неко-

торой величины ΔH . Суммарный момент $\bar{H} = 0 + \Delta\bar{H}$. Если тело вращается, то для получения той же величины ΔH надо приложить такой же момент, причем *согласно определению* кинетического момента, данное изменение произойдет, в том же направлении, поскольку дополнительное движение возникнет в направлении силы. Новый момент импульса будет равен сумме

$$\bar{H} = \bar{H}_i + \Delta\bar{H} . \quad (1)$$

Очевидно, что *изменение кинетического момента зависит только от момента внешних сил и времени его действия, но никак не зависит от начальных условий вращения тела*. Это следует из теоремы о кинетическом моменте. На этом пути и нужно разрешать ранее указанные противоречия. Причины всех остальных эволюций в конечном итоге были приписаны гироскопическому моменту. Похожая ситуация существует и при вращении гироскопа по инерции: Почему его движение так сложно? На примере нашей планеты: из огромного количества изменений ее вращения (нутацій) все имеют причины силового происхождения, хотя не все эти причины пока найдены.

Принятые условия соответствуют одному из частных вариантов случая Эйлера – Пуансо. Речь идет о симметричном гироскопе, для которого экваториальные моменты инерции B и A равны друг другу, то есть $B = A$ (в общем случае Эйлера – Пуансо моменты инерции могут быть любыми). Осевой момент инерции C может быть любым [5]. Следовательно, решение Эйлера справедливо как для вытянутого гироскопа (рис. 1), так и для сплюснутого (рис. 2). Кроме того, *считается*, что гироскоп Эйлера – Пуансо подвешен так, что его центр инерции совпадает с точкой подвеса, то есть сила тяжести компенсирована реакцией опор. Таким образом, гироскоп должен быть свободным относительно основания (Земли) и его состояние соответствует состоянию в ИСО, что удовлетворяет выбранным условиям.

В работе [7] на рис. 2.2 дана геометрическая интерпретация движения гироскопа Эйлера. А в параграфе 2.6 показаны начала решения уравнений движения (2.42а, 2.42б, 2.43а, 2.43б) данного гироскопа. Гироскоп указан как свободный и для него выбрана, хотя и земная система координат, но ее ось z уже косвенно связана с вертикалью, а через нее также косвенно, с осью мира [5]. Дальнейшее решение приводить не будем,

так как в указанной работе, так и во многих других оно достаточно подробно изложено.

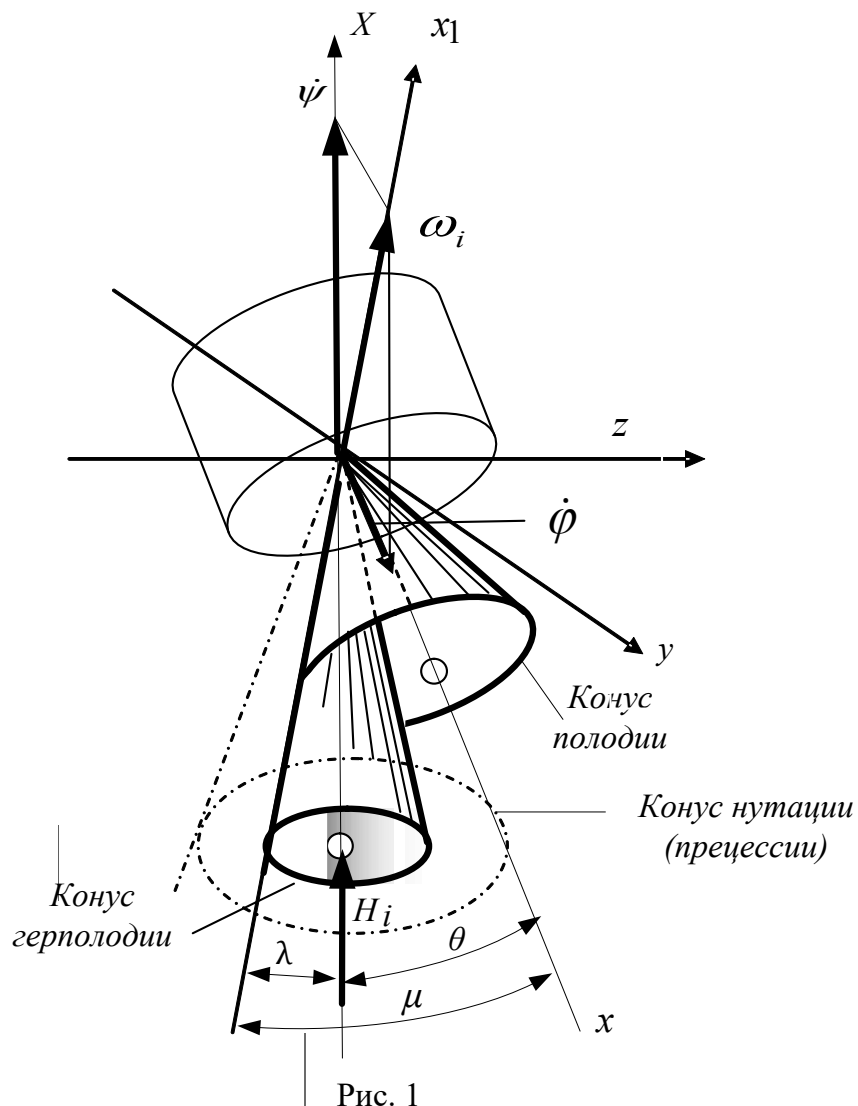


Рис. 1

Для анализа выберем наиболее наглядные случаи [1], на которое будем ссылаться чаще, чем на другие. Итогом этих решений являются рисунки 1, характеризующий вращение сплюснутого гироскопа (перициклоидальное движение) и 2 – для вытянутого гироскопа (эпициклоидальное движение). Рисунки 1 и 2 скопированы из работы [1], но некоторые обозначения изменены в соответствии с принятыми в настоящей работе.

Отметим, что картина вращения по инерции сплюснутого гироскопа (рис. .1) отличается от его движения под действием момента внешних сил, поскольку именно этим моментом определяется герполодия. Кроме того, для того, чтобы обозначить некоторую физическую привязку, на рисунке добавлена фигура гироскопа.

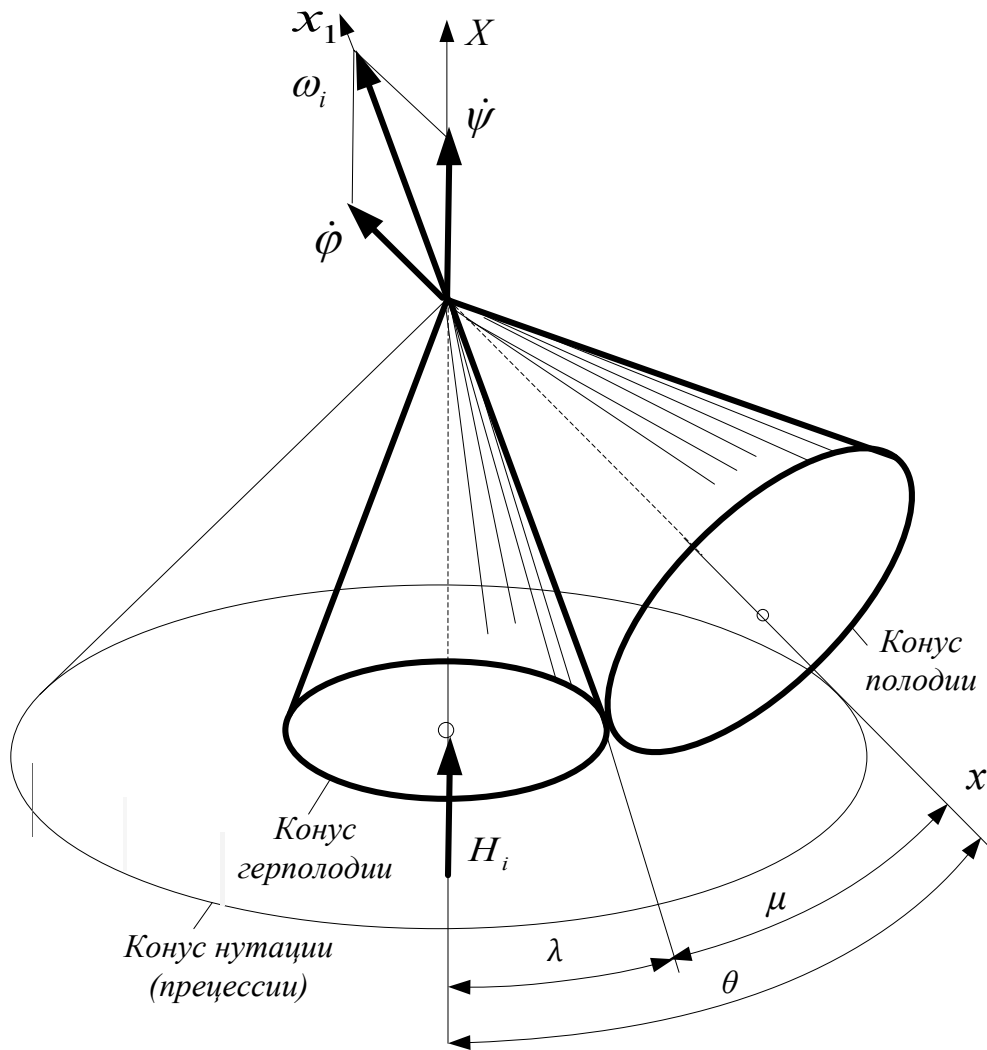


Рис. 2

Движение на рис. 10.1 и 10.2 представлено в эйлеровых координатах, но оси обозначены, как принято в настоящей работе. В отличие от рис. 2.2 на данных картинках полодии и герполодии изображены в виде конусов, что и соответствует их фактическому виду. Это сделано для удобства перехода от геометрической интерпретации к физической. Вместо эллипсоида инерции или энергии показан сам гироскоп, что не меняет сути. Осью X обозначена условно неподвижная в инерциальном пространстве система координат (другие оси не показаны). Положение тела задано углами Эйлера: φ – угол собственного вращения; ψ – угол прецессии; θ – угол нутации. Здесь указаны наиболее часто встречающиеся в литературе обозначения углов. Таким образом получили другое обозначение только оси гироскопа из удобства их привязки к декартовым координатам.

Считается, что эйлерова система координат более всего пригодна для геометрического толкования движения свободного гироскопа. Принятые

в ней названия углов не соответствуют динамическим определениям [1]. Однако в дальнейшем будет видно, что, по крайней мере, прецессия и нутация полностью соответствуют физической интерпретации движения гироскопа с учетом уточненного ранее понятия «свободное вращение».

С позиций геометрической интерпретации движение гироскопа представляет собой качение без скольжения полодии по герполодии 4. При этом предполагается, что ось герполодии является кинетической осью, так как она остается неподвижной в земных координатах (если таковые выбраны), а ось полодии – это ось фигуры. Общая образующая обоих конусов представляет собой мгновенную ось вращения x_1 . Вектор мгновенной угловой скорости ω_i можно разложить на две составляющие $\dot{\psi}$ и $\dot{\phi}$ по направлениям осей обоих конусов. Угол, образуемый данными осями, равен эйлерову углу θ . Для симметричного гироскопа это постоянный угол, так как оба конуса круговые [2].

При движении гироскопа, в то время как подвижный аксоид катится по неподвижному, изображенная на рисунках векторная диаграмма вращается как единое целое вокруг неподвижной оси X , которую в теории называют кинетической, с угловой скоростью $\dot{\psi}$. В процессе этого движения конструктивно обозначенная ось x фигуры гироскопа также описывает прямой круговой конус, часто называемый в иностранных источниках конусом нутации, а в нашей литературе – регулярной прецессией.

Для сплюснутого гироскопа (рис. 1) полодия представляет собой полый конус, который катится по конусу герполодии, касаясь его внутренней поверхностью. При этом регулярная прецессия происходит в сторону, противоположную собственному вращению гироскопа. Конус полодии вытянутого гироскопа катится своей внешней образующей по образующей герполодии в сторону собственного вращения гироскопа. То есть вектор регулярной прецессии вытянутого гироскопа приблизительно совпадает с вектором его собственного вращения. Из рисунков видно, что угол при вершине конуса регулярной прецессии равен 2θ .

Итак, гироскоп, называемый симметричным, совершает регулярную прецессию относительно оси X , названной неподвижной, с угловой скоростью $\dot{\phi}$, что вытекает из системы уравнений Эйлера, которые в дальнейшем дополнительно проанализируем. Третье уравнение системы показывает, что относительно главной оси центробежных моментов инерции нет. Но тогда гироскоп должен вращаться относительно именно этой оси, по-

скольким существующим моментам инерции относительно других осей (первое и второе уравнения) никак не могут влиять на это вращение. Именно в этом случае выполняется закон сохранения импульса, то есть $\vec{H} = const$. Если же гироскоп помещен на Земле, то относительно нее вследствие ее вращения он должен совершать один оборот в сутки, описав конус относительно оси мира с углом при вершине $(90^\circ - \varphi_\otimes) \pm 2\theta$. При этом вектор кинетического момента должен отслеживать направление на одну точку инерциального пространства.

В действительности же движение гироскопа распадается на два вращения – собственное и прецессионное. Тогда вместо закона сохранения момента импульса используется только одна проекция общего кинетического момента – проекция на вертикаль. Поэтому выражение $H = const$ справедливо только не в векторном виде, поскольку это проекция в инерциальном пространстве свое положение изменяет.

На рис. 3 приведен принцип построения вектора кинетического момента (рис. 3а – эпициклоидальное движение; рис. 3б – перициклоидальное движение). В обоих случаях вектор H направлен не по суммарной оси вращения.

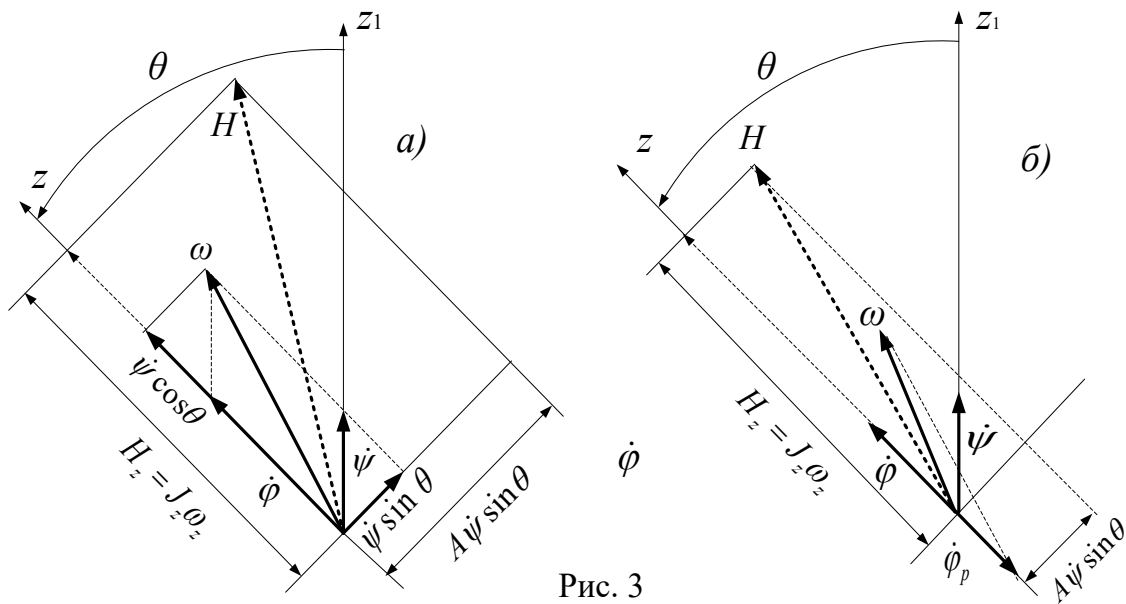


Рис. 3

При нахождении вектора H используется констатирующий подход. Из рисунков видно, что проекции угловой скорости вращения на оси, умноженные на соответствующие им разные значения момента инерции, приводят к построению нового вектора H , который отличается от вектора ω , как по величине, так и по направлению. Однако такого явления проис-

ходить не должно. Согласно системе уравнений (2.42a) относительно оси z нет центробежных моментов инерции, следовательно, вращение должно происходить вокруг нее и кинетический момент должен совпадать с ней.

В теории гироскопа это явление констатируется и почти никогда не объясняется. Например, есть такое объяснение, что вращательный импульс не совпадает с осью фигуры и когда гироскоп предоставлен сам себе, то его ось вращения относительно тела гироскопа положения не меняет [5].

Если взять за основу законы механики, которые в части касающейся достаточно подробно рассмотрены в главах 1 – 4, единственной причиной подобного движения является действие момента внешних сил. Из показанного на рис. 3 отметим важное для нас наблюдение, сделанное теорией гироскопа: ось фигуры, кинетическая ось и ось собственного вращения тела всегда находятся в одной плоскости.

Далее остановимся не на анализе интерпретаций, а на причинах разного движения столь однотипных по виду тел. За основу возьмем вывод: *наличие регулярной прецессии и угла θ как раз и говорит о том, что гироскоп не уравновешен относительно оси фигуры, а ось симметрии не является главной центральной осью.*

2. Влияние подвеса гироскопа

Реальные гироскопы, которые мы можем изучать, всегда находятся под действием каких-либо сил и их моментов. Даже космические тела, наблюдаемые с Земли, испытывают взаимовлияние. Обычно применяемые в практике гироскопы всегда связаны с другими телами посредством подвеса.

Как отмечалось ранее, если центр масс, условно неподвижный в инерциальных координатах, являлся и центром подвеса, то такой подвес идеален. Свободное вращение данного гироскопа происходит относительно любой главной центральной оси, то есть вектор угловой скорости, \mathbf{a} , значит, и вектор кинетического момента совпадают с данной осью. Однако в земных условиях, где подвес обязателен, наблюдаются другие движения. В частности, при вращении возникает регулярная прецессия с образованием полюдий и герполодий. Вращение перестает быть свободным и названо выше вращением по инерции. Естественно предположить, что такие явления происходят именно под влиянием подвеса.

Изменим начальные условия для гироскопа. Теперь он будет помещен в подвес и установлен на некотором основании, условно неподвижном

в ИСО. В этом случае на гироскоп не действуют никакие силы, включая силу тяжести. Но сохранит ли он симметрию в условиях подвеса? Обратимся к вопросу о геометрии масс, для чего, во-первых, проанализируем распределение масс относительно оси вращения, во-вторых, воспользуемся теоремой Штейнера: момент инерции относительно какой-либо оси равен моменту инерции относительно параллельной оси, проходящей через центр масс, плюс произведение массы системы на квадрат расстояния между этими осями [5]. Отсюда следует несколько вариантов гироскопа (рис. 4), хотя все они считаются симметричными (координаты Декартовы).

Вариант *a*). Рис. 4 *a*) – симметричный гироскоп, его оси фигуры x и симметрии x_1 совпадают и проходят через центр масс O , при чем центр масс M и центр подвеса O в таком гироскопе также совпадают. Вращение свободное. Данный гироскоп сохраняет неизменным свое положение в ИСО.

Постоянство угловой скорости вращения относительно выбранной оси x наблюдается в подвижной системе координат. Эта ось является главной центральной осью, то есть осью симметрии, совпадающей с одной из осей эллипсоида инерции, уравнение которого в знаменателе под знаком радикала. В этом случае центробежные моменты инерции относительно данной оси равны нулю и тело является динамически уравновешенным [7]. Последнее означает, что для симметричного гироскопа равны нулю центробежные моменты инерции и относительно других главных осей, что возможно, если в уравнениях равны нулю проекции угловой скорости на остальные оси ($\omega_y = 0, \omega_z = 0$) [4]. Таким образом, симметричный гироскоп в показанном положении может вращаться только относительно оси x , и оставаться неподвижным относительно оси X . Распределение его масс показано на рис. 4 *a*) Данный вывод можно подтвердить и тем, что *динамическая уравновешенность возможна только в инерциальной системе отсчета*, когда подвес не нужен. Уравнение (2.16) не удовлетворяет этому случаю, поскольку ясно указывает на то, что гироскоп несимметричен.

Разница в толковании этого движения в гироскопии возникла, вероятней всего, из-за выбора оси симметрии. В приведенных на рисунках 4 примерах указанная ось не всегда является осью фигуры: «*Ось симметрии* [курсив первоисточника] часто называется также *осью фигуры*. При исследовании движения гироскопов представляет интерес как раз поведение оси фигуры, так как в большинстве случаев именно она непосредственно видна и ее движение легко измерить. Каждая ось симметрии или ось фигуры тела с однородным распределением масс является одновременно и осью инер-

ции, но, напротив, не каждая главная ось инерции является осью симметрии или осью фигуры». [38]. Именно это последнее замечание не учитывается в теории гироскопа.

Ясно, что ось фигуры совпадает с осью симметрии только в идеально изготовленном гироскопе (рис. 4 а). Только в этом случае полоида и герполоида вырождаются в точку, а их конусы – в прямую, и, согласно выше сделанным выводам, главная ось (ось x) гироскопа неподвижна в инерциальных координатах. Очевидно, что любая линия, проведенная через центр подвеса под любым углом к оси симметрии, будет вращаться, сохраняя его постоянным. Для рассматриваемого случая одной из таких линий является ось фигуры (рис. 4 в).

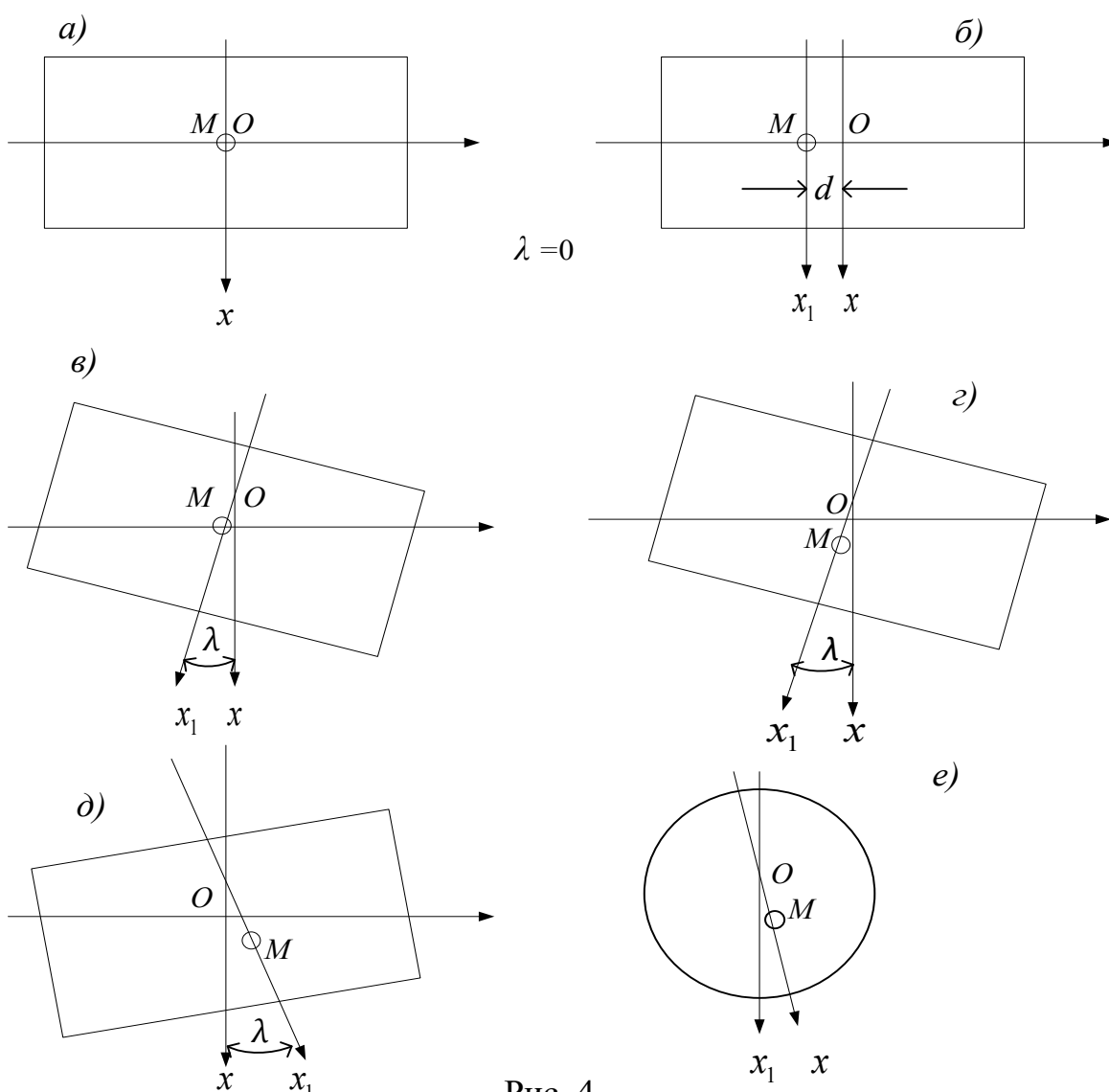


Рис. 4

Видимо, неучет этого обстоятельства приводит к тому, что в гироскопии рядом существуют два толкования свободного движения симметричного гироскопа ($B = C$): 1) гироскоп вращается относительно оси сим-

метрии, при этом векторы угловой скорости и кинетического момента совпадают [4]; 2) гироскоп совершает регулярную прецессию с постоянным углом прецессии, при этом векторы угловой скорости и кинетического момента не коллинеарны [1]. Первый случай хорошо известен из теоретической механики. Однако, гироскопия, столкнувшись с обстоятельством, когда гироскоп, *принимаемый за симметричный*, вращается совершенно не согласно с выводами теоретической механики, вынуждена была толковать его двояко. Очевидно, что гироскоп именно принимается за таковой в результате назначения оси фигуры осью симметрии без достаточных на то оснований.

Указанные рассуждения справедливы и для гироскопа, вращающегося вокруг экваториальной оси. Главное, ось симметрии должна проходить через центр подвеса.

Вариант б) – несимметричный гироскоп. Его центр тяжести смещен относительно центра подвеса в экваториальной плоскости (в данном случае смещение по оси y) на расстояние d . Ось фигуры является главной, но не центральной осью, параллельной оси симметрии. Вращение происходит, как и в варианте а), но относительно оси x_1 . Очевидно, что герполодия вырождается в цилиндр, который будет описывать ось x фигуры, с частотой, равной угловой скорости Ω собственного вращения тела. А полодия вырождается в прямую, Вращение в этом случае устойчивое, поскольку близко к вращению материальной точки M относительно неподвижной оси.

Вариант в) – симметричный гироскоп относительно оси x_1 . Центры его тяжести и подвеса совмещены, однако оси фигуры и симметрии не совпадают, а пересекаются под углом λ . Такое положение складывается тогда, когда из-за несовершенства технологии изготовления экваториальная плоскость не перпендикулярна оси фигуры. Поскольку при изображении осей за основу принимается именно ось фигуры, то в дальнейшем будем придерживаться предложенных выше обозначений.

Вариант г) – оси симметрии и вращения не совпадают, однако проходят через центр подвеса. Центр тяжести смещен произвольно относительно оси y , но может находиться на оси x .

Вариант д), наиболее вероятный – не совпадают ни центры тяжести и подвеса, ни оси симметрии и вращения.

Вариант а) уже рассмотрен в предыдущих главах: независимо от начальных условий главная центральная ось приходит к оси вращения, то есть к направлению вектора кинетического момента. Причем этой осью не

обязательно является ось x . Если угол λ значителен, так что момент экваториальных центробежных сил больше момента осевых центробежных сил, то к оси вращения придет экваториальная ось, и движение будет происходить вокруг нее [4]. Тогда по принятой терминологии ее направление будет $\theta + \pi/2$. В противном случае к оси вращения с определенной точностью всегда приходит ось x [4]. При этом ось вращения совпадает с осью *динамической* симметрии, которая в общем случае с осью фигуры не совпадает. Если последняя в силу неточности изготовления гироскопа отклонена на некоторый угол от оси симметрии (рис. 4 в), то вращение происходит относительно оси x_1 . Ось x в таком случае описывает конус, с частотой вращения, равной Ω .

Такое же вращение наблюдается в случае варианта з). Здесь ось симметрии является главной центральной осью. Особенности, отличающие движение такого гироскопа возникают при воздействии момента внешних сил. Для него возрастет угол нутационных колебаний.

Во всех четырех перечисленных вариантах указанное вращение происходит потому, что оно осуществляется вокруг главных осей инерции, то есть при динамической уравновешенности тела, когда центробежные моменты инерции равны нулю [2]. В этих случаях не наблюдаются регулярная прецессия и нутация, если не считать за таковую колебания оси фигуры, не совпадающей с осью симметрии. Названное положение многократно доказано [6] и общепринято [2], а также наглядно прослеживается на приведенных рисунках. По данной причине не будем больше останавливаться на этом вопросе.

Вариант д), является общим случаем. Его рассмотрим подробнее. Однако предварительно нужно вернуться к существующим толкованиям движения симметричного гироскопа.

Предельный случай, когда $A = C$, т. е. когда эллипсоид инерции превращается в сферу, показан на рис. 10.4е). В этом варианте конус герполодии вырождается в прямую, а конус полодии вращается просто вокруг одной из своих образующих [1].

В работе [7] показано, что гироскопический момент не может происходить от кориолисовых сил, поскольку они возникают, как минимум, между двумя телами, одно из которых обладает переносным движением, другое – относительным. Если к гироскопу приложен момент внешних сил, то тело, прикладывающее этот момент не обладает ни тем, ни другим. В случае же когда гироскоп вращается по инерции, но имеет регулярную

прецессию, то он вообще взаимодействует сам с собой. Силовое же взаимодействие возможно только между телами. Тогда возникает вопрос: с каким телом взаимодействует гироскоп с помощью моментов центробежных сил? Хотя ответ на этот вопрос уже дан в первом абзаце настоящего параграфа, дадим его еще раз в прямой постановке.

Очевидно, что введение подвеса обусловлено необходимостью изолировать гироскоп от влияния основания. Только это условие может обеспечить его работу. Например, на Земле сила тяжести компенсируется реакцией опор подвеса. Однако даже при точном совпадении точки опоры и центра масс подвес не создаст условия для свободного вращения тела, то есть условия, соответствующие ИСО. Здесь в силу вступает размещение масс относительно оси вращения, то есть наличие относительно нее центробежных моментов. В инерциальной системе отсчета благодаря центрирующему действию центробежных сил вращение установится вокруг динамической оси, которая всегда проходит через центр масс. На Земле же или другом основании подвес не «позволит найти» динамическую ось.

Из сказанного следует, что подвес, призванный разобщить гироскоп с основанием, остается и его связью с этим основанием. Таким образом, *центробежные силы и их моменты, это силовое взаимодействие этих двух тел – основания и гироскопа, при его вращении по инерции. Именно по этой причине в настоящей работе моменты центробежных сил инерции рассматриваются как моменты внешних сил [6].* Если же вмешиваются другие тела, создающие момент, то основание продолжает взаимодействие. В этом случае, даже при абсолютно точной вывеске гироскопа, оно участвует в движении хотя бы тем, что удерживает точку опоры в фиксированном положении.

Если основанием является Земля, то положение усложняется тем, что ее сила тяжести может создавать дополнительные моменты. Причем вектор силы тяжести еще и сам имеет вращение в ИСО. Основание могут служить и различные объекты: корабли и суда, летательные аппараты и т. д. И в этом случае планета остается в составе основания, а силовое воздействие на гироскоп будет оказывать и объект, и Земля.

3. Регулярная прецессия сплюснутого гироскопа

Геометрическая интерпретация этого движения (метод Пуансо) показана на рис. 2.2. Ранее отмечалось: если заменить эллипсоид вращения

реальным телом, соответствующей формы, то его качение без проскальзывания по шероховатой поверхности подобно движению, предложенному методом Пуансо [5]. Очевидно, что такое движение реального тела может происходить только потому, что в его точке касания, соответствующей точке p эллипсоида инерции или энергии, существуют некие силы (например, для реального тела – силы трения). Благодаря им обеспечивается названное качение без проскальзывания. Момент этих сил приложен к гироскопу, он и вызывает регулярную прецессию.

Однако при вращении гироскопа по инерции указанных сил трения нет. Следовательно, есть другие силы и их моменты, обеспечивающие аналогичное движение. Анализ движения гироскопа в ИСО, позволяет сделать вывод, что появились они вследствие введения подвеса. Точка подвеса в общем случае не совпадает с центром масс гироскопа и ось вращения не совпадает с принятой осью симметрии. Различные варианты такого положения, показанные на рис. 4 кратко проанализированы. Рассмотрим отложенный ранее общий вариант δ), для чего построим более детальный рисунок 5. Этот рисунок повторяет рис. 1, но дополнительно поясняет причины появления показанной картины движения.

Гироскоп на рис. 5а) закреплен в подвесе на некоторой платформе (не показаны). Платформа имеет координаты $OXYZ$ и неподвижна в инерциальном пространстве. Для упрощения рисунка принят угол $\theta = \pi/2$. Тогда ось x гироскопа совпадает с осью OX и является начальной осью вращения.

Гироскоп, хотя и считается симметричным, но фактически таковым не является. Его ось симметрии остается неизвестной. Маховик его ротора $A - A$ развернут на некоторый угол γ относительно оси вращения, то есть его действительная ось симметрии не совпадает с осью вращения. Таким образом относительно оси вращения существуют центробежные моменты инерции, с кругом распределенных масс, проходящим через точки $A - A$. Кроме того, центр масс M не совпадает с центром подвеса O . Очевидно, что в общем случае смещенный центр масс увеличивает несимметричность и неперпендикулярность плоскости маховика к оси фигуры. Вследствие указанных причин при вращении возникают аксоиды. Из дальнейших рассуждений можно будет понять: герполодия – следствие смещенного центра масс; полоида – следствие неперпендикулярности плоскости ротора оси фигуры.

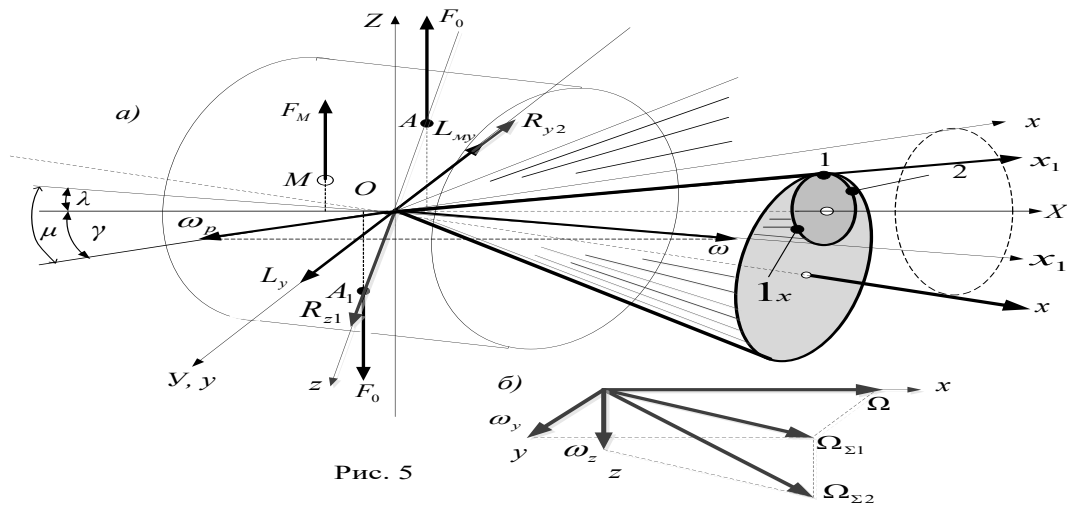


Рис. 5

Выполним детальный анализ механизма распада вращения на эти два вида движения, но для гироскопа, вращающегося по инерции. Для этого обратимся к подвижной системе координат.

В некоторый момент времени при разгоне гироскопа на движении начинают сказываться центробежные моменты инерции. Вследствие смещенного центра масс возникает момент L_M , создающий герполодию. Центр масс под действием центробежной силы стремится занять положение на нормали к оси x вращения. Одновременно из-за неперпендикулярности маховика оси x образуется момент сил L (показаны только осевые силы F_0). Под действием обоих моментов гироскоп поворачивается так, что его динамическая ось смещается в окрестность линии $O - 1$, то есть в позиции динамического равновесия. В этом положении произошла взаимная компенсация названных моментов. Момент L формирует полодию. Таким образом, *полодия и герполодия, это следствие от вращения несбалансированных масс.*

Для сплюснутого гироскопа в общем случае $L > L_M$, поскольку радиус-вектор силы F_0 многократно больше радиус-вектора силы F_M . По этой причине названный выше поворот произошел хотя и под действием результирующего момента $L_y - L_M y$, но основную роль сыграл момент L_y . Моменты уравнились в некоторой точке 1, полодия в этой точке оказалась «прижатой» изнутри к герполодии, а ось x фигуры оказалась в нижнем (по рисунку) положении. Линия $O1$ – мгновенная ось вращения. При этом движении усредненная угловая скорость была равна ω_y . В результате ее сложения с Ω возник суммарный вектор $\Omega_{\Sigma 1}$ (рис. 10.5б) в плоскости xOy и новая ось вращения. Относительно новой оси начали действовать центробежные силы инерции, создающие первичный момент реакции R_{1z} . Данный

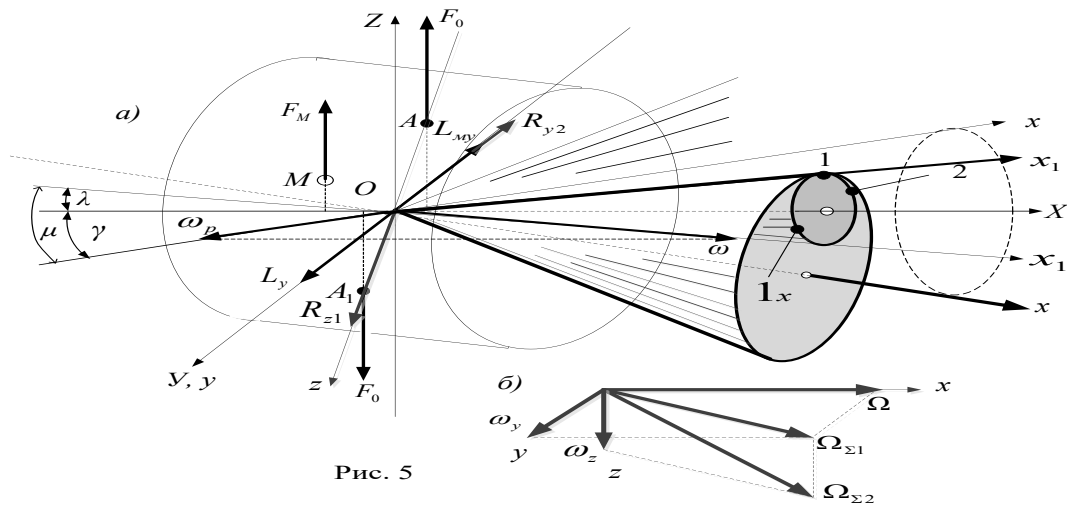


Рис. 5

Выполним детальный анализ механизма распада вращения на эти два вида движения, но для гироскопа, вращающегося по инерции. Для этого обратимся к подвижной системе координат.

В некоторый момент времени при разгоне гироскопа на движения начинают сказываться центробежные моменты инерции. Вследствие смещенного центра масс возникает момент L_M , создающий герполодию. Центр масс под действием центробежной силы стремится занять положение на нормали к оси x вращения. Одновременно из-за неперпендикулярности маховика оси x образуется момент сил L (показаны только осевые силы F_0). Под действием обоих моментов гироскоп поворачивается так, что его динамическая ось смещается в окрестность линии $O - 1$, то есть в позиции динамического равновесия. В этом положении произошла взаимная компенсация названных моментов. Момент L формирует полодию. Таким образом, *полодия и герполодия, это следствие от вращения несбалансированных масс.*

Для сплюснутого гироскопа в общем случае $L > L_M$, поскольку радиус-вектор силы F_0 многократно больше радиус-вектора силы F_M . По этой причине названный выше поворот произошел хотя и под действием результирующего момента $L_y - L_{My}$, но основную роль сыграл момент L_y . Моменты уравнились в некоторой точке 1, полодия в этой точке оказалась «прижатой» изнутри к герполодии, а ось x фигуры оказалась в нижнем (по рисунку) положении. Линия $O1$ – мгновенная ось вращения. При этом движении усредненная угловая скорость была равна ω_y . В результате ее сложения с Ω возник суммарный вектор $\Omega_{\Sigma 1}$ (рис. 10.5б) в плоскости xOy и новая ось вращения. Относительно новой оси начали действовать центробежные силы инерции, создающие первичный момент реакции R_{1z} . Данный

момент разворачивает гироскоп вместе с конусами как единое целое в сторону положительного направления оси y и точка 2 окажется внутри герполодии. Таким образом, действие момента R_{1z} создало угловую скорость ω_z , а вместе с ней в результате сложения $\bar{\omega}_y + \bar{\Omega}_{\Sigma 1} = \bar{\Omega}_{\Sigma 2}$ и новую ось вращения, относительно которой возникает вторичный R_{2y} момент центробежных сил, компенсируя результирующий начальный момент

$$(L_y - L_{My}) - R_{2y} = 0, \quad (2)$$

Цикл регулярной прецессии закончен. Как видим, он ничем не отличается от цикла прецессии гироскопа под действием момента внешних сил, и, вообще говоря, таким и является.

Через некоторое время гироскоп повернулся на угол $\pi/2$. Ось x заняла позицию «от нас» (по рисунку). Мгновенная ось вращения ввиду особенности распределения масс оказалась в положении $O1_x$. Из рисунка видно, что в этом случае момент L_y будет направлен вверх, прижимая полодию к герполодии изнутри в некоторой точке 2. Но в этом положении моменты от центра масс и несимметричности ротора уже складываются $(L_y + L_{My})$, создавая толчок. Через следующие пол-оборота, моменты опять суммируются, и возникает новый толчок. Это приводит к *пульсации гироскопа с двойной частотой собственного вращения*

$$\Omega_n = 2 \Omega \quad (3)$$

Еще более наглядно это явление можно увидеть в следующем параграфе на примере, динамически настраиваемого гироскопа (ДНГ).

Поскольку гироскоп очень близок к симметричному величина его пульсации настолько незначительна, что осталась незамеченной, например, в решении Эйлера, а тем более в гироскопе, считающемся симметричным. В нем она сглажена, за исключением случая, когда условия движения гироскопа в большой степени изменены. Это касается, например того же (ДНГ). Однако, при большой асимметрии гироскопа моменты центробежных сил велики и пульсация заметна.

Итак, на линии $O - 1$, благодаря тому что на нее опираются разные вращающиеся неуравновешенные массы, возникает физическая точка опоры, соответствующая точке p в геометрической интерпретации Пуансо. В этой точке происходит взаимная компенсация моментов (2).

Для упрощения изложения мы рассматривали движение гироскопа дискретно. На самом деле ясно, что вращение непрерывно, и аксоиды вра-

щения остаются «прижатыми» друг другу моментами, чем и обеспечивается движение полоиды по герполоиде без проскальзывания. Точка качения обегает герполоидию с угловой скоростью ω_p навстречу собственному вращению гироскопа. При полном обегании ось x фигуры описывает конус нутации. В отечественной литературе этот конус чаще всего называется конусом прецессии. Отметим, что *данное вращение полностью соответствует вращению такого гироскопа, как Земля.*

Для того чтобы прослеживалась связь с ранее приведенными рисунками, на рис. 5 для углов оставлены обозначения эйлеровой системы координат. Однако из предыдущих глав известно, что задачи, преследующие физический смысл, удобнее решать в декартовых координатах, в которые мы и перейдем. По этой причине текущий угол отклонения оси x в плоскости Oxy обозначим углом α , а в плоскости Oxz – углом β . Уравнения движения с учетом того, что углы малые, в новой системе координат

$$\begin{aligned} J_0(\Omega - \omega_p) &= const \\ J_3 \ddot{\alpha} + 2(J_0 - J_3) \Omega^2 \alpha &= 0 \\ J_3 \ddot{\beta} + 2(J_0 - J_3) \Omega^2 \beta &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

где $2(J_0 - J_3) \Omega^2 \alpha (\beta) = L - L_M = R_{1y} = R_{2z}$.

Если спроецировать моменты L_M и L еще и на ось x и провести соответствующие обратные преобразования, то получим уравнения Эйлера, решение которых известно. То есть гироскоп, принимаемый за симметричный, фактически таковым не является, а все его решения сводятся к решению Эйлера, что и демонстрируют рисунки 1, 2, 3, 5 приведенные в литературе как раз для этого случая. Очевидно, что это физическая интерпретация метода Пуансо. Для того чтобы убедиться в этом, достаточно сравнить указанные рисунки с рис. 5.2 [2], который иллюстрирует именно решение Эйлера. Благодаря тому, что гироскоп близок к симметричному, выделены только моменты L_i , имеющие наибольшее значение, поэтому легче наблюдаемые и вызывающие наибольшую прецессию. Таким образом, мы пренебрегли некоторыми другими дебалансирующими обстоятельствами, благодаря которым может возникнуть семейство полоидий [2]. В нашем случае такое семейство если и образуется, то очень медленно и им можно пренебречь. Хотя известно, например, такое явление, как дрейф гироскопа. Это как раз следствие неучтенных моментов, которые в совокупности и приводит к названному семейству.

Однако одну из основных причин образования семейства полодий можно учесть. Дело в том, что как момент внешних сил $(L \pm L_M)$, так и моменты реакции на его воздействие первичный R_1 и вторичный R_2 моменты центробежных сил являются функцией угла μ . Все три момента вращаются с частотой Ω , но в разных фазах. Момент R_1 отстает по фазе от момента $(L \pm L_M)$ на четверть оборота, а момент R_2 – на пол оборота. В свою очередь $\mu = \lambda + \gamma$ изменяется по другому закону. Плоскость угла γ вращается с той же частотой Ω , а момент R_2 – с частотой прецессии ω_p . Таким образом верное сугубо математически уравнение (2) фактически не выполняется. Ко времени компенсации момент $(L \pm L_M)$ изменится, а момент R_2 останется прежним. В результате появляется не скомпенсированная часть момента, которая и вызывает дрейф гироскопа и образование семейства полодий

$$(\bar{L} - \bar{L}_M) - \bar{R}_2 = \Delta \bar{L}.$$

Данное обстоятельство позволяет с помощью уравнений Эйлера рассчитать положение гироскопа на любой момент времени, но только уже исследованного симметричного гироскопа, то есть гироскопа с известной прецессией. В общем же решение без всяких измерений данное наблюдение ничего не вносит по ранее названной причине. Фактически симметричный гироскоп прецессии иметь не может, а реальный имеет непредсказуемую прецессию, зависящую от непредсказуемых инструментальных погрешностей.

Еще один мысленный эксперимент. Из выше сказанного в настоящей главе следует, что регулярная прецессия является следствием неуравновешенности гироскопа. Это означает, что гироскоп неуравновешен и в ИСО. Как известно силы и их моменты это форма взаимодействия тел, обладающих массой. Фактически прецессия, это результат взаимодействия основания с гироскопом, причем подвес входит в основание. Суть эксперимента в том, что мы *мысленно* *лишим* *основание* *массы*. Тогда гироскоп превратится в свободный, то есть самостоятельно «выберет» ось вращения, относительно которой центробежные моменты инерции равны нулю. Очевидно, что это будет необязательно ось фигуры. В этом случае ось x будет описывать конус в виде герполоиды с частотой вращения гироскопа.

Фактически же здесь исключительно наглядно проявляется третий закон Ньютона. Моменты центробежных сил инерции гироскопа действуют в точке подвеса на основание, которое в равной мере противодействует им, создавая моменты внешних сил.

4. Динамическая настройка гироскопа

Обычно рассмотрение динамически настраиваемого гироскопа ДНГ прямо или косвенно притворяется следующим утверждением: «Понимания главной отличительной особенности ДНГ не удастся достичь на основе простых, физически очевидных рассуждений и объяснений. В данном случае самым экономным является аналитический путь, следуя которым ... удастся получить очень важные в практическом отношении результаты» [7]. Однако рассуждения и выводы из них в предыдущем параграфе делают физический смысл динамической настройки очевидным.

Еще раз акцентируем внимание на том, что регулярная прецессия сплюснутого гироскопа происходит навстречу его собственному вращению, то есть векторы этих угловых скоростей близки к противоположным друг другу направлениям. Этот факт наглядно демонстрирует рисунки 1 и 5, из которых видно: если добиться равенства

$$\omega_p = \omega \approx \Omega, \quad (5)$$

то в инерциальных координатах ось фигуры становится неподвижной, так как эти два вращения компенсируют друг друга ($\omega - \omega_p = 0$). Это следует из первого уравнения системы (4).

Процесс *достижения цели* (5) является *динамической настройкой гироскопа*. Выделено в связи с тем, что в литературе эта цель не сформулирована, или, по крайней мере, эта формулировка столь редка, что автор этих строк ее не встретил. Ясно, что причина этого объяснена приведенной выше цитатой. Теперь ясен путь достижения цели: необходимо, чтобы треугольник $\omega O \omega_p$ стал равнобедренным, для чего достаточно уменьшить угол θ . Путь осуществляется в специальном динамически настраиваемом гироскопе, простейший по устройству из которых показан на рис. 6.

Гироскоп состоит из массивного обода 1, внутри которого находится рамка 2, прикрепленная к ободу с помощью пары торсионов 3, а к валу – торсионами 4. Гироскоп приводится в действие с помощью приводного двигателя 5. Существуют и более сложные конструкции ДНГ, подробно описанные, например, в работе [1]. Очевидно, что общий кинетический момент гироскопа создают все вращающиеся части, но наибольшую составляющую вносит массивная часть 1, которую называют ротором – носителем кинетического момента.

Обычно при установлении условий динамической настройки учитывается именно ротор 1, чем мы и воспользуемся. При необходимости при таких исследованиях влияние остальных частей уточняется отдельно.

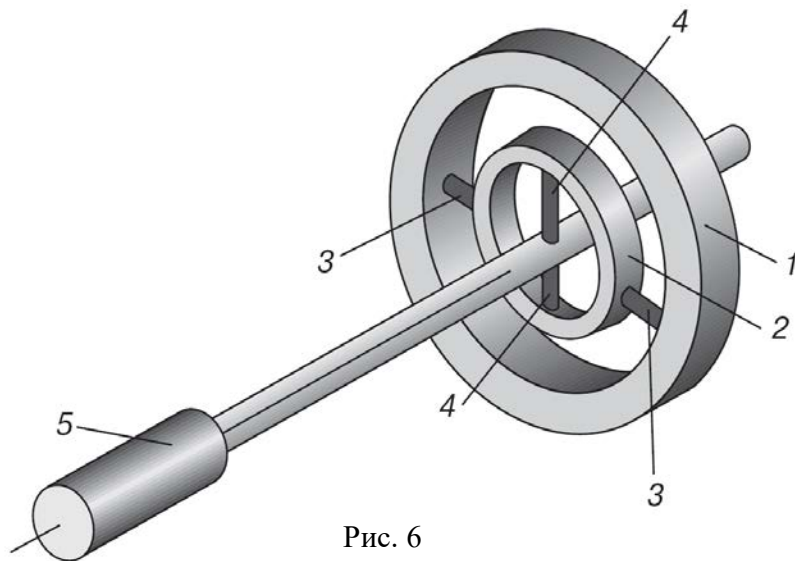


Рис. 6

Значение угловой скорости прецессии вокруг осей z и y , вызываемой моментами L_i , как следует из рис. 10.5, составляет, соответственно

$$\begin{aligned} \dot{\alpha} &= \omega_p \alpha; \\ \dot{\beta} &= \omega_p \beta, \end{aligned} \quad (6)$$

причем $\alpha = \beta$, а длина окружности, которую описывает конец оси фигуры, выраженная в дуговых единицах составляет $2\pi\theta$.

Рассмотрим ДНГ с точки зрения очевидного физического смысла. Заменяем гироскоп на рис. 5 динамически настраиваемым гироскопом. При разгоне ротора моменты центробежных сил L_i увеличиваются, стремясь развернуть ротор вокруг соответствующей оси. Такой поворот удается благодаря закручиванию торсионов. Следовательно, достигается две цели: 1) уменьшение угла θ увеличивает проекцию ω_p ; 2) уменьшение углового радиуса θ также увеличивает ω_p . При этом текущий момент центробежных сил L_y достигнет некоторой величины L_y^T , суммарный момент при данной угловой скорости не изменится, хотя угол θ уменьшится, поскольку

$$L_y = L_y^T + 2C\alpha(\beta), \quad (7)$$

где $2C$ – момент от соответствующей пары торсионов.

С уменьшением угла θ можно считать $\omega = \Omega$. Для получения условий динамической настройки, то есть достижения цели (5) воспользуемся выводами § 5.5, то есть в уравнениях (3) заменим инерционные моменты гироскопическими. При этом учтем, что регулярная прецессия, это результат

собственного вращения гироскопа по инерции, следовательно, $\dot{\alpha} = \Omega\beta$, $\dot{\beta} = \Omega\alpha$ (см. рис. 5). Тогда

$$\begin{aligned} H\Omega\beta + 2(J_0 - J_3)\Omega^2\alpha - 2C\alpha &= \\ = J_0\Omega^2\beta + 2(J_0 - J_3)\Omega^2\alpha - 2C\alpha &= 0 \\ H\Omega\alpha + 2(J_0 - J_3)\Omega^2\beta - 2C\beta &= \\ = J_0\Omega^2\alpha + 2(J_0 - J_3)\Omega^2\beta - 2C\beta &= 0 \end{aligned}$$

Напомним $\alpha = \beta$. После раскрытия скобок, получим *условие динамической настройки гироскопа*, то есть достигнем цели (10.3)

$$(J_0 - 2J_3)\Omega^2 - 2C = 0. \quad (8)$$

Отсюда видно, что для достижения цели (10.5) необходимо увеличивать угловую скорость собственного вращения до тех пор, пока угол θ не достигнет необходимого значения, и ось x окажется неподвижной в ИСО. При этом поддержание этой угловой скорости требует высокой стабильности.

В уравнении (8) для получения полной картины, как и отмечалось, должны быть учтены дополнительные массы вала, рамки и торсионов, а также упругость и неравножесткость составных частей.

Отметим, что условие динамической настройки, то есть уравнение (8), в свое время было получено и в ходе строгого аналитического вывода [1], но достаточно громоздким и сложным путем. Однако одинаковый результат подтверждает правильность физического смысла, который при аналитическом выводе уравнения все-таки присутствует, но в скрытой форме.

В результате динамической настройки полодия вращается с угловой скоростью, равной угловой скорости собственного вращения ротора, но в обратную сторону за счет уменьшения угла θ и достижения равенства

$$\theta = \lambda = \alpha = \beta. \quad (9)$$

Из этого следует, что осуществление динамической настройки требует достаточно высокой скорости вращения.

Равенство углов α и β следует из уравнений (10.6). В инерциальных координатах движения главной оси нет, следовательно

$$\alpha_r = \beta_r = \frac{2C}{(J_0 - 2J_3)\Omega^2}. \quad (10)$$

Последние уравнения выполняются только в случае, когда ось симметрии не совпадает с осью вращения и нет других обстоятельств, нару-

шающих эти равенства. Однако необъясненным остается явление вибрации ДНГ с частотой 2Ω [2]. Гироскоп обладает в отношении таких вибраций детектирующими свойствами. Данное обстоятельство даже можно использовать в качестве индикатора динамической настройки гироскопа [6]. Источники таких вибраций неизвестны. Однако теперь, используя результаты предыдущего параграфа, можно установить причины пульсации гироскопа. На примере ДНГ осветим их более подробно.

Если вспомнить, что сама необходимость динамической настройки гироскопа вызвана его фактической неуравновешенностью и несимметричностью, то надо принять, что утверждение (10.8) только теоретическое.

Для поиска источника вибраций вернемся к пониманию того, что абсолютно симметричный гироскоп создать невозможно, тем более вывесить его с помощью подвеса. В предыдущем параграфе рассмотрено как сказывается на движении реального гироскопа его геометрическая асимметрия. Но кроме этого, вывесить гироскоп так, чтобы центр масс точно совпадал с центром подвеса также невозможно. На рис 5 точкой M показан некоторый случай смещения масс относительно точки подвеса O . Следствием этого смещения является герполодия. В динамической настройке (8) угол герполодии λ не участвует, а полодия уменьшает конусность, вырождаясь почти в прямую. К каким последствиям это приводит, проследим на рис. 7.

На первом рисунке 7а) зафиксировано то же положение гироскопа, что и на рис. 5. Но теперь рассмотрим также в подвижных координатах ситуацию с учетом смещенного центра масс относительно оси вращения на некоторую величину d , а относительно оси z – на величину ρ в плоскости zOy . Напомним, что момент L возник в результате геометрической асимметрии, то есть из-за неперпендикулярности маховика к оси вращения и наличия, вследствие этого, центробежных моментов инерции. Свой вклад в асимметрию и в возникновение данного момента вносит и момент от смещенного центра масс, который согласно теореме Гюйгенса-Штейнера создает момент центробежных сил

$$L_{My} = -md \Omega^2 \rho. \quad (11)$$

Когда вследствие встречных и равных вращений ось фигуры становится неподвижной, то вращение происходит вокруг мгновенной оси. На рис. 7а) выбрано положение в подвижных координатах, когда моменты центробежных сил от несимметричности гироскопа и от смещенного цен-

тра масс совпадают. Следовательно, совпадают и моменты L_{My} и L_y . Это и есть резонансный удар.

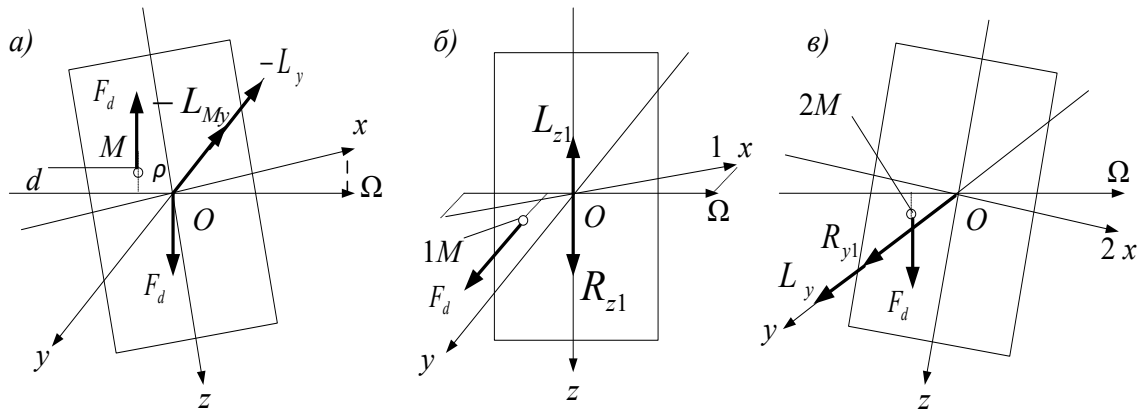


Рис. 7

Через четверть периода (рис. 7б) в подвижных координатах положение изменится. Поскольку угловые скорости собственного вращения и регулярной прецессии равны, то центр масс, вследствие первой причины (собственного вращения) переместится в положение $1M$, и будет находиться в плоскости yOx , а ось фигуры вследствие прецессии – в позицию $1x$. Теперь моменты от этих причин противоположны. Не трудно заметить (рис. 7в), что еще через четверть периода, то есть в сумме – через пол оборота, моменты совпадут в положительном направлении оси y , то есть снова произойдет удар. Таким образом в результате встречного вращения фиксированные точки встречаются через каждые по оборота. Отсюда и следует, что удары происходят с частотой 2Ω .

Указанное обстоятельство может быть учтено в уравнениях (4) и (6) подстановкой уравнения Штейнера. Самый простой прием: если одну из экваториальных осей направить параллельно вектору F_d в его максимальном значении (на рис. 7б), это ось y), то момент (11) будет действовать по другой оси (в нашем примере по оси z). Тогда, например, по оси z моменты R_{z1} и Штейнера всегда вычитаются, а по оси y – складываются. Таким образом $\alpha \neq \beta$, то есть основание герполодии превращается в эллипс, который описывает ось x при регулярной прецессии. Удары происходят, когда она совпадает с большой полуосью эллипса. Решение задачи упрощается тем, что часть момента L компенсируется моментом $2C$, то есть $\Delta R_i - 2C = 0$. Тогда положение равновесия с учетом d может быть найдено из уравнений (10.6) с учетом названной подстановки

$$\begin{aligned} 2(J_0 - J_3) \alpha_r &= -md \rho \\ 2(J_0 - J_3) \beta_r &= md \rho \end{aligned} \quad (12)$$

или

$$\begin{aligned} \alpha_r &= \frac{2(J_0 - J_3)}{md\rho} \\ \beta_r &= -\frac{2(J_0 - J_3)}{md\rho} \end{aligned} \quad (13)$$

Возведем каждое из уравнений в квадрат и почленно сложим их

$$4(J_0 - J_3)^2 \alpha_r^2 + 4(J_0 - J_3)^2 \beta_r^2 = (md \rho)^2,$$

откуда

$$4 \frac{(J_0 - J_3)^2}{(md\rho)^2} \alpha_r^2 + 4 \frac{(J_0 - J_3)^2}{(md\rho)^2} \beta_r^2 = 1. \quad (14)$$

Угол α_r соответствует в нашем примере малой оси эллипса, угол β_r – большой оси. Различие между углами, то есть амплитуда угловой вибрации из уравнений (10.12)

$$2(J_0 - J_3)(\beta_r - \alpha_r) = 2m d \rho,$$

откуда

$$2\gamma = \beta_r - \alpha_r = \frac{2m d \rho}{(J_0 - J_3)}. \quad (15)$$

Ясно, что асимметрия гироскопа относительно оси фигуры, вызванная, в том числе и несовпадением центра тяжести с центром подвеса, явление случайное. Оно зависит от технологии изготовления гироскопа и, в принципе, не исключаемое в условиях его практического использования на объектах из-за обязательного в таких случаях подвеса, какой бы совершенной эта технология ни была. По этой причине уравнения (12) – (15) имеют описательный характер. Они могут быть использованы в случаях, когда имеются прямые измерения на конкретном, причем работающем гироскопе.

Условиям динамической настройки, как следует из рассуждений данного параграфа, отвечает сплюснутый гироскоп ($J_0 > J_3$), близкий к симметричному. В случае, если несимметричности нет, то динамическая настройка не нужна, поскольку действия моментов центробежных сил и любых других моментов нет и при вращении выполняется закон сохранения момента импульса. Это свободный гироскоп.

Если маховик гироскопа точно перпендикулярен оси фигуры, но центры масс и подвеса не совпадают, то под действием момента L_M (рис. 5)

возникает герполодия. Ее появление приводит к неперпендикулярности маховика к оси вращения, следовательно, к возникновению момента L и образованию полодии. Происходит такое же движение, как на рис. 5. Динамическая настройка такого гироскопа возможна.

В случае, когда центр масс смещен точно в экваториальной плоскости, то возникает ситуация, соответствующая 4б). Динамическая настройка такого гироскопа не требуется, поскольку ось фигуры становится образующей цилиндра, так как она будет всегда параллельна оси вращения и не сможет совместиться с последней.

В гироскопе, центры масс и подвеса у которого совмещены с абсолютной точностью, но маховик не перпендикулярен оси вращения, при динамической настройке происходит следующее. Возникает момент L , разворачивающий маховик осью симметрии к оси вращения. Торсионы позволяют это сделать, однако закручиваясь, они создают момент противодействия $2C$. Его наличие не позволит полностью совместиться осям симметрии и вращения, что приводит к образованию герполоды. В данном случае он выполняет ту же роль, что и момент L_M . Динамическая настройка такого гироскопа также возможна, но ее качество будет выше, так как ударов с частотой 2Ω возникать не будет.

Последнее замечание ставит вопрос о знаке момента $2C$. В уравнении (6) показан знак в общепринятом варианте, хотя сложение там алгебраическое. Дело в том, что при аналитическом выводе момент $2C$ просто прибавлялся в силу его наличия в гироскопе. Но поскольку физический смысл настройки оставался неизвестным, неизвестным оставался и знак момента. По этой причине положительный знак так и сохранился. В ходе выше приведенных исследований знак уточнен, поэтому

$$(J_0 - 2J_s) \Omega^2 - 2C = 0. \quad (16)$$

В принципе положение (10.15) признавалось и ранее, поскольку считалось, что в ДНГ при настройке возникает момент «антиупругости» [84]. Сейчас очевидно, что это действительно так, поскольку $2C$ – момент упругости торсионов, то $(J_0 - 2J_s)\Omega^2$ – момент «антиупругости», поскольку именно он разворачивает гироскоп, закручивая торсионы. То есть эти моменты всегда противодействуют друг другу.

5. Регулярная прецессия вытянутого гироскопа

Известно, что регулярная прецессия вытянутого гироскопа, в отличие от сплюснутого, происходит приблизительно в том же направлении, что и его собственное вращение, как показано на рис. 2. Естественно, что варианты подвеса такого гироскопа такие же, как на рис. 4.

Отметим, что в настоящей работе трактовка прецессии, в том числе и регулярной, отличается от принятой обеими теориями гироскопа и основана на законах механики. Ближе всего к такой трактовке подошел К. Магнус. В его работе [2], которая здесь часто цитируется, сделаны основополагающие рассуждения для перехода к предлагаемой в настоящей работе интерпретации движения гироскопа. Речь идет о различии в движении сплюснутого и вытянутого гироскопа. На рис. 8, скопированном из работы [2], показаны гироскопические моменты M_2^K для таких гироскопов (обозначения осей изменены на принятые в настоящей работе).

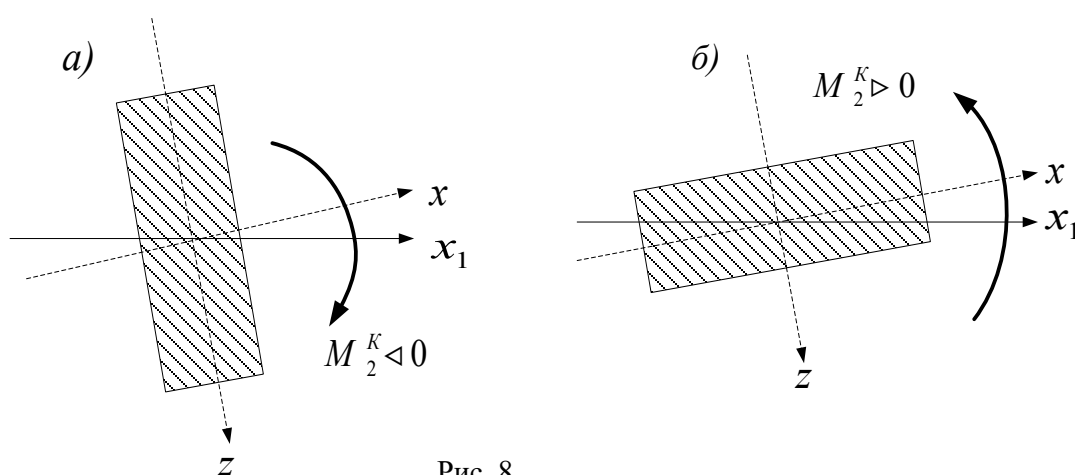


Рис. 8

Автор настоящей работы самостоятельно пришел к выводу о разном движении вытянутого и сплюснутого гироскопов, и к интерпретации, показанной на рис. 8 [6], исходя из действия не гироскопического, а реально существующего момента центробежных сил. Рисунок впоследствии был найден в названной работе [2]. Здесь речь идет не о приоритете, а о том, что мне пришлось проделать дальнейший путь от этой точки, на котором г-н К. Магнус остановился. В оригинале рисунок называется: «Гироскопический момент для сплюснутого (слева) и для вытянутого (справа) симметричного тела, вращающегося вокруг оси [x]» (в оригинале: «вокруг оси z»).

Примем: ось x – ось симметрии, ось x_1 – ось вращения, λ – угол между осями. В цитируемой книге проведены те же преобразования, связанные с центробежным моментом инерции относительно оси вращения, что

и в работе [7], и получено следующее выражение, названное моментом небаланса (оставляю обозначения оригинала)

$$M_2^K = \frac{1}{2}(A' - C')\omega_3^2 \sin 2\theta, \quad (17)$$

где A' и C' – соответственно экваториальный и осевой моменты инерции в неподвижных координатах; ω_3 – угловая скорость вращения относительно оси x .

Очевидно, что (15) – это момент центробежных сил, но теория «запрещает» его существование, поэтому он назван «моментом небаланса» и представлен их действием вследствие момента инерции только из одной точки, вместо двух (см. 9а). Судя по рисунку 8, он и подразумевается как гироскопический, то есть вызывающий прецессию, показанную стрелками. Прочитаем дальнейшие рассуждения (курсив мой): «Знак момента зависит от формы тела. У сплюснутого ротора ($A' < C'$) момент стремится повернуть ось симметрии $[x]$ к оси вращения, у вытянутого ($A' > C'$) – в обратном направлении». Нетрудно заметить, что во всей данной работе, которая, пока, касалась только сплюснутого гироскопа, используется именно данное правило, выделенное курсивом и те же уравнения, что и (17), но для двух пар сил. Однако в дальнейшем К. Магнус данный вывод не использовал, ограничившись понятием гироскопического момента в общепринятом виде. Хотя мы видим и здесь, и в динамически настраиваемом гироскопе теория просто «выпрыгивает» из рамок гироскопического момента.

На рис. 9 показана регулярная прецессия вытянутого гироскопа, который считается симметричным, но фактически массы его распределены так, как показано на рис. 4д). Вращательное движение гироскоп получил вокруг оси фигуры x , в начальном положении совпадающей с осью X инерциальных координат. Начальные условия такие же, как в § 3.

Поскольку в общем случае относительно оси x имеются центробежные моменты инерции, то очевидно, что моменты экваториальных центробежных сил F_3 , имеющие бóльшее плечо и создающиеся бóльшей массой, превосходят моменты от осевых сил F_0 . Следовательно, как в уравнении (15), так и в уравнениях (2) $J_0 < J_3$, то есть момент центробежных сил изменяет свой знак. Это относится и к уравнениям Эйлера.

В некоторый момент времени разгона гироскопа возникают, так же как и в сплюснутом гироскопе, два момента. Момент L_{M_y} от смещенного центра масс точно такой же по происхождению, как это рассмотрено в § 3.

Он создает герполодию. Второй момент L_y возникает также от неперпендикулярности маховика к оси вращения. Из рис. 9а) видно, что экваториальные силы F_3 имеют плечо значительно больше, чем осевые F_0 (показана одна из них). Именно по этой причине возникающий момент в вытянутом гироскопе действует, как показано на рис. 8б), то есть стремится развернуть тело от оси вращения.

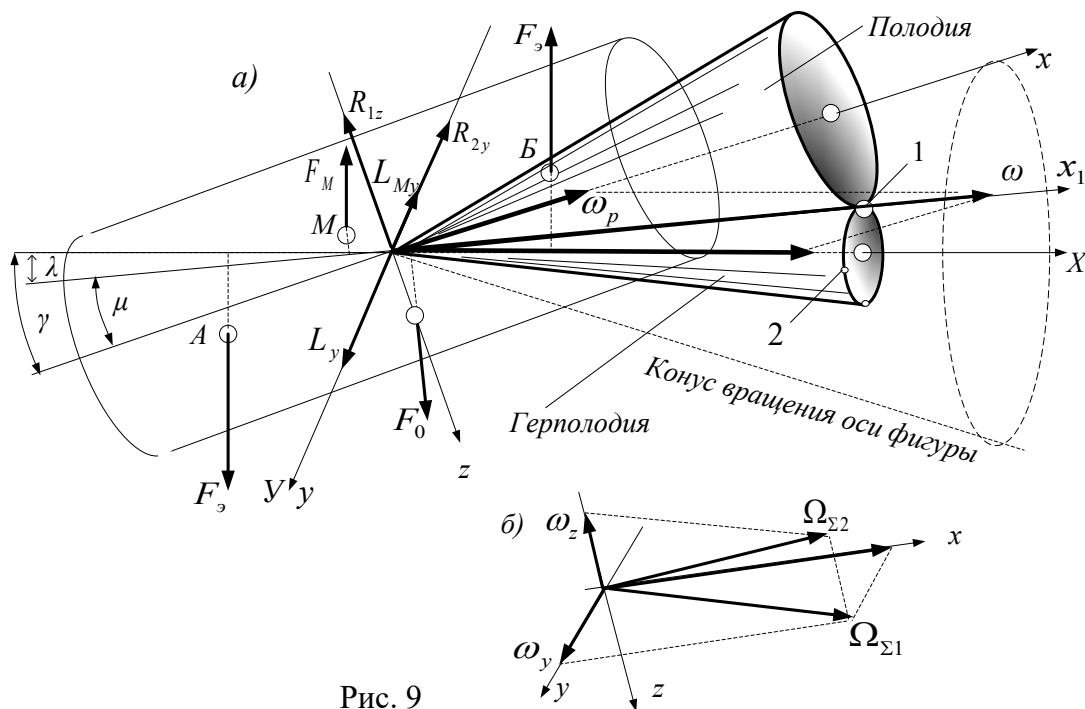


Рис. 9

Итак, в некоторый начальный момент времени появился результирующий момент $\Delta L_y = L_y - L_{My}$, вызывающий вращение вокруг оси y . Данный вектор направлен в положительную сторону оси y , поскольку $L_y > L_{My}$. Вследствие этого в том же направлении появляется вектор ω_y , который суммируясь с вектором собственного вращения, дает новую ось вращения $\Omega_{\Sigma 1}$ (рис. 9б). Относительно этой оси создается такое же положение, как на рис. 9а), но в плоскости xOy . В результате возникает первичный момент R_{1z} центробежных сил, вызывающий движение с некоторой угловой скоростью ω_z , при сложении дающей новую ось вращения $\Omega_{\Sigma 2}$ в плоскости xOz . Относительно этой оси возникает вторичный момент центробежных сил R_{2y} , который компенсирует момент ΔL_y и, следовательно, «прижимает» полодию к герполодии по образующей линии $O - 1$.

Поскольку $\Delta L_y = R_{1z} = R_{2y}$, то в положении равновесия векторная диаграмма на рисунке 10.9а) и все моменты вращаются как единое целое с угловой скоростью ω . Момент R_2 постоянно действует, благодаря чему полодия всегда прижата к герполодии. Условная точка 2 играет роль точки p

(рис. 2.2). Она является точкой опоры, относительно которой вращаются несбалансированные массы. При этом точка перемещается в сторону собственного вращения гироскопа. Так движется полодия по герполодии без проскальзывания. Ось x совершает прецессионное движение с угловой скоростью ω_p в сторону, совпадающую со стороной собственного вращения гироскопа.

Из сказанного следует, что движение такого гироскопа может быть описано уравнениями (3). Разница только в том, что направление вектора угловой скорости прецессии изменит знак, так как изменили знак и моменты R_i , вызывающие регулярную прецессию, поскольку $J_0 < J_3$.

$$\begin{aligned} J_0(\omega + \omega_p) &= J_0 \Omega = const \\ J_3 \ddot{\alpha} + 2(J_0 - J_3) \Omega^2 \alpha &= 0 \\ J_3 \ddot{\beta} + 2(J_0 - J_3) \Omega^2 \beta &= 0 \end{aligned} \quad (18)$$

Если учесть угол θ , то увидим – данные уравнения идентичны системе уравнений (2.42a), решение которых приведено в § 2.6. с дополнениями в § 5.9 для земных условий. Исходя из выводов настоящей главы, добавим, что в названных параграфах речь все-таки шла о гироскопе, который только считается симметричным.

Несколько слов об устойчивости как сплюснутого, так и вытянутого гироскопа. В настоящей работе выдержан физический смысл в объяснении регулярной прецессии. Постоянство равенства $\alpha = \beta$ в данном случае также говорит об устойчивости движения рассматриваемых гироскопов. Вмешательство момента внешних сил вызывает прецессию, циклоиды которой для первого и второго гироскопа обратны друг другу. После прекращения внешнего воздействия центрирующим действием центробежных сил гироскопы приходят в положения, показанные на рисунках 5 и 9, после чего совершают регулярную прецессию. Таким образом, приходим к наблюдаемому на практике движению, продемонстрированному рисунками 1 и 2.

Мы видим, что рассуждения данного параграфа о регулярной прецессии вытянутого гироскопа подобны рассуждениям § 3. Если их продолжить, то и для вытянутого гироскопа получим еще один вывод: *вращение несимметричного гироскопа носит пульсирующий характер, причем частота пульсации вдвое выше частоты собственного вращения гироскопа*. Отсюда следует, что пульсация угловой скорости прецессии происходит при любых моментах инерции, то есть не зависит от формы несимметричного гироскопа.

Отметим, что *динамическая настройка вытянутого гироскопа невозможна, так как векторы угловой скорости собственного вращения и прецессии направлены в одну сторону.*

Как отмечалось выше решение уравнений (4) и (16) соответствует решению Эйлера, однако внесем некоторые добавления, касающиеся угла θ . Уже из рисунков 1 и 2, не говоря уже о рисунках 5 и 9, ясно, что этот угол постоянен, и то достаточно условно, относительно оси герполодии. А в общем, ввиду прецессии

$$\theta = \theta_0 + \mu \sin \omega_p t.$$

Это изменения за счет вращения полодии. Формула достаточно точно учитывала бы изменение угла, в том случае, если основание конуса герполодии представляло бы собой окружность. Однако, колебания оси вращения гироскопа вследствие прецессии приводят к изменению положения центра тяжести M относительно оси вращения, а значит и к изменению момента L_M . В результате основание герполодии то же изменяется в пределах кольца, ограниченного некоторыми окружностями [2].

Выводы по главе. Уравнения движения гироскопа не имеют общего решения, так как в них входит большое количество неизвестных, имеющих случайный характер. Это говорит о том, что стремление Эйлера по характеру движения определить все его составляющие без анализа причин вряд ли осуществимо. Одинаковое движение может вызвать и асимметрия гироскопа, и смещением центра масс, и смещением центра подвеса, и перпендикулярность ротора оси вращения, и совокупность этих причин. Все эти дополнительные параметры не учтены в уравнениях. Учет хотя бы некоторых из них уже дает определенный результат. В частности это дало возможность теоретически выявить и объяснить такое явление, как пульсация угловой скорости прецессии несимметричного гироскопа.

Рассмотренное *движение происходит при постоянстве угла θ_0 в инерциальных координатах, то есть положение оси прецессии в ИСО не меняется*, что практически подтверждается динамически настраиваемым гироскопом.

На основании проведенных в данной главе исследований можно предложить некоторые уточнения терминологии. В теории гироскопа часто приходится использовать понятия «медленное вращение» и «быстрое вращение». Однако такие термины не имеют строгого толкования и носят в некоторой степени эмоциональную окраску. Предлагается под «медлен-

ным вращением» понимать такое движение, когда наблюдается вращение только вокруг одной оси – оси динамической симметрии. Ось фигуры может описывать конус. Когда движение распадается на собственное вращение и прецессию с образованием полоид и герполоид – это «быстрое вращение».

Литература

1. Мартыненко Ю. Г. Тенденции развития современной гироскопии. <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/443/html> 04.04.2003.
2. Магнус К. Гироскоп. Теория и применение. – М.: Мир, 1974, 526 с.
3. Арнольд Р. Н., Мондер М. Гиродинамика. – М.: Машиностроение, 1964. 468 с.
4. Граммель Р. Гироскоп. Его теория и применение. Т 1. – М.: ИЛ, 1952, 386 с.
5. Никитин Н. Н. Курс теоретической механики. – М.: Высш. шк. 2003, – 719 с.
6. Борисов А.Н. <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/443/html>.
7. Саранчин А. И. Кориолисовы силы и гироскопический момент. Сборник серии Судовождение, № 59. – Владивосток, Мор. гос. ун-т. 2012. – С. 42-53.

БУРОВЫЕ ПЛАТФОРМЫ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ

Лесогор О. К.

Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского

Добычей нефти на море человек занимается уже почти 2000 лет. Диоскорид (I век н. э.) в своих сочинениях описывал месторождения нефти и её применение. Самые первые сведения о добычи нефти на Апшеронском полуострове можно найти в древнеалбанских письменных источниках до VII века н. э. А многочисленные достоверные данные о ранней колодезной нефтедобыче на Апшеронском полуострове с VIII по XIII века можно найти у арабских ученых – Баладзори, Масуди, Истахри-Абу, Абу-Дулаф, Мухаммед Бекран. Масуди в своем сочинении "Средняя книга" (первая половина X в.) отмечает, что «В Баку было два главных источника: из одного добывалась желтая и белая нефть, а из другого - черная и синяя. Доходы с каждого источника составляли 1000 дирхемов», т. е. около 250 рублей в год. Наиболее крупные нефтяные колодцы Апшерона размещались

возле селений Балаханы, Сураханы, Биби-Эйбат, Сабунчи, Романы, Шубаны и Бинагады. Известный геолог, профессор Мельхиор Неймайер в своей книге «История Земли» подчеркивал, что «Любопытным спутником бакинской нефти являются газы, выделяющиеся из-под земли; в прежние времена у Сураханов они давали начало священным огням, к которым стекались огромные толпы индийских поклонников». Нефть известна с глубины веков: уже в древней Персии (Иран) языческие жрецы добывали её из колодцев для священного огня. А строительным материалом для постройки Вавилона и Ниневии являлась асфальтовая (горная или минеральная) смола, которая образовывалась в остатке от испарения нефти, добываемой на реке Исе, притоке Евфрата. История изобилует достаточным количеством примеров о применении нефти в военном деле – об этом утверждали: карфагенский полководец Ганнибал (246-183 до н. э.), древнеримский ученый Плиний - старший (23-79 н. э.) и др. Нефть входила в состав так называемого «греческого огня» (смесь селитры, серы и нефти), который успешно применялся при войнах в древние и средние века: «огонь» горел на воде, поджигая вражеские суда.

Первые сообщения о китайских скважинах для добычи воды и соляных рассолов содержатся в работах философа Конфуция, написанных около 600 г. до н. э.. Скважины сооружались методом ударного бурения и достигали глубины 900 м. Это свидетельствует о том, что до этого техника бурения развивалась в течение, по крайней мере, ещё нескольких сот лет. Иногда при бурении китайцы натыкались на нефть и газ. Так в 221...263 гг. н. э. в Сычуане из скважин глубиной около 240 м добывали газ, который использовался для выпаривания соли. Документальных свидетельств о технике бурения в Китае мало. Однако, судя по древней китайской живописи, барельефам, гобеленам, панно и вышивкам на шелке, эта техника находилась на довольно высокой стадии развития.

Бурение первых скважин в России относится к IX веку и связано с добычей растворов поваренной соли в районе г. Старая Русса. Соляной промысел получил большое развитие в XV–XVII вв., о чем свидетельствуют обнаруженные следы буровых скважин в окрестностях г. Соликамска.

Первые упоминания о применении бурения для поисков нефти относятся к 30-м годам XIX века. На Тамани, прежде чем рыть нефтяные колодцы, производили предварительную разведку буравом. Очевидец оставил следующее описание: «Когда предполагают выкопать в новом месте колодец, то сначала пробуют буравом землю, вдавливая оный и подливая

немного воды, дабы он ходше входил и по вынятию оного, есть ли будет держаться нефть, то на сем месте начинают копать четырехугольную яму».

В декабре 1844 г. член Совета Главного Управления Закавказского края В. Н. Семенов направил своему руководству рапорт, где писал о необходимости «углубления посредством бура некоторых колодцев и произведения вновь разведки на нефть также посредством бура между балаханскими, байбатскими и кабристанскими колодцами». Как признавал сам В. Н. Семенов, эту идею подсказал ему управляющий бакинских и ширванских нефтяных и соляных промыслов горный инженер Н. И. Воскобойников. В 1846 г. министерство финансов выделило необходимые средства, и были начаты буровые работы. О результатах бурения говорится в докладной записке наместника Кавказа графа Воронцова от 14 июля 1848 г.: «...на Биби-Эйбате пробурена скважина, в которой найдена нефть». Это была первая нефтяная скважина в мире! Она была пробурена на Апшеронском полуострове в 1847 г. Первый нефтяной фонтан в России был получен в 1866 г. с глубины 37,6 м при бурении скважины на левом берегу реки Кудако (Кубань, Таманский полуостров), а в 1868 г. нефть была получена уже на севере России, на левом берегу р. Ухты из скважины, пробуренной ручным способом.

Первая скважина в США была пробурена для добычи соляного раствора близ г. Чарлстона в Западной Вирджинии в 1806 г. При дальнейших поисках рассолов в 1826 г. близ г. Бернсвилла в шт. Кентукки случайно была найдена нефть.

Первая нефтяная скважина в США была пробурена в 1859 г. Сделал это в районе г. Тайтесвилл, штат Пенсильвания Э. Дрейк, работавший по заданию фирмы «Сенека ойл компани». После двух месяцев непрерывного труда рабочим Э. Дрейка удалось пробурить скважину глубиной всего 22 м, но она дала-таки нефть. Вплоть до недавнего времени эта скважина считалась первой в мире, но найденные документы о работах под руководством В.Н. Семенова восстановили историческую справедливость.

Многие страны связывают рождение своей нефтяной промышленности с бурением первой скважины, давшей промышленную нефть. Так, в Румынии отсчет ведется с 1857 г., в Канаде – с 1858 г., в Венесуэле – с 1863 г. В России долгое время считалось, что нефтяная скважина была пробурена в 1864 г. на Кубани на берегу р. Кудако под руководством полковника А. Н. Новосильцева. Поэтому в 1964 г. у нас в стране торжественно отметили 100-летие отечественной нефтяной промышленности и с тех

пор каждый год отмечают «День работника нефтяной и газовой промышленности».

Число пробуренных скважин на нефтяных промыслах в конце XIX века стремительно росло. Так в Баку в 1873 г. их было 17, в 1885 г. – 165, в 1890 г. – 356, в 1895 г. – 604, в 1901 г. – 1740. Одновременно значительно возросла глубина нефтяных скважин. Если в 1872 г. она составляла 55–65 м, то в 1883 г. – 105–125 м, а к концу XIX в. достигла 425–530 м.

В конце 1880 годов близ г. Новый Орлеан (шт. Луизиана, США) было применено *вращательное бурение* на нефть с промывкой скважин глинистым раствором. В России вращательное бурение с промывкой впервые применили близ г. Грозного в 1902 г. и нашли нефть на глубине 345 м.

Первоначально вращательное бурение осуществлялось вращением долота вместе со всей колонной бурильных труб непосредственно с поверхности. Однако при большой глубине скважин вес этой колонны весьма велик. Поэтому еще в XIX в. появились первые предложения по созданию забойных двигателей, т. е. двигателей, размещаемых в нижней части бурильных труб непосредственно над долотом. Большинство из них осталось нереализованными.

В 1899 г. в России был запатентован электробур, представляющий собой электродвигатель, соединенный с долотом и подвешенный на канате. Современная конструкция электробура была разработана в 1938 г. советскими инженерами А. П. Островским и Н. В. Александровым, а уже в 1940 г. электробуром была пробурена первая скважина.

В 1897 г. в Тихом океане в районе о. Сомерленд (шт. Калифорния, США) впервые было осуществлено бурение на море. В нашей стране первая морская скважина была пробурена в 1925 г. в бухте Ильича (близ г. Баку) на искусственно созданном островке. В 1934 г. Н. С. Тимофеевым на о. Артема в Каспийском море было осуществлено кустовое бурение, при котором несколько скважин (порой более 20) бурятся с общей площадки. Впоследствии этот метод стал широко применяться при бурении в условиях ограниченного пространства (среди болот, с морских буровых платформ и т. д.). С начала 1960-х годов с целью изучения глубинного строения Земли в мире стали применять сверхглубокое бурение.

Бурение - это процесс сооружения скважины путем разрушения горных пород. Скважиной называют горную выработку круглого сечения, сооружаемую без доступа в неё людей, длина которой во много раз больше диаметра (рис. 1).

Верхняя часть скважины называется устьем, дно – забоем, боковая поверхность – стенкой, а пространство, ограниченное стенкой – стволом

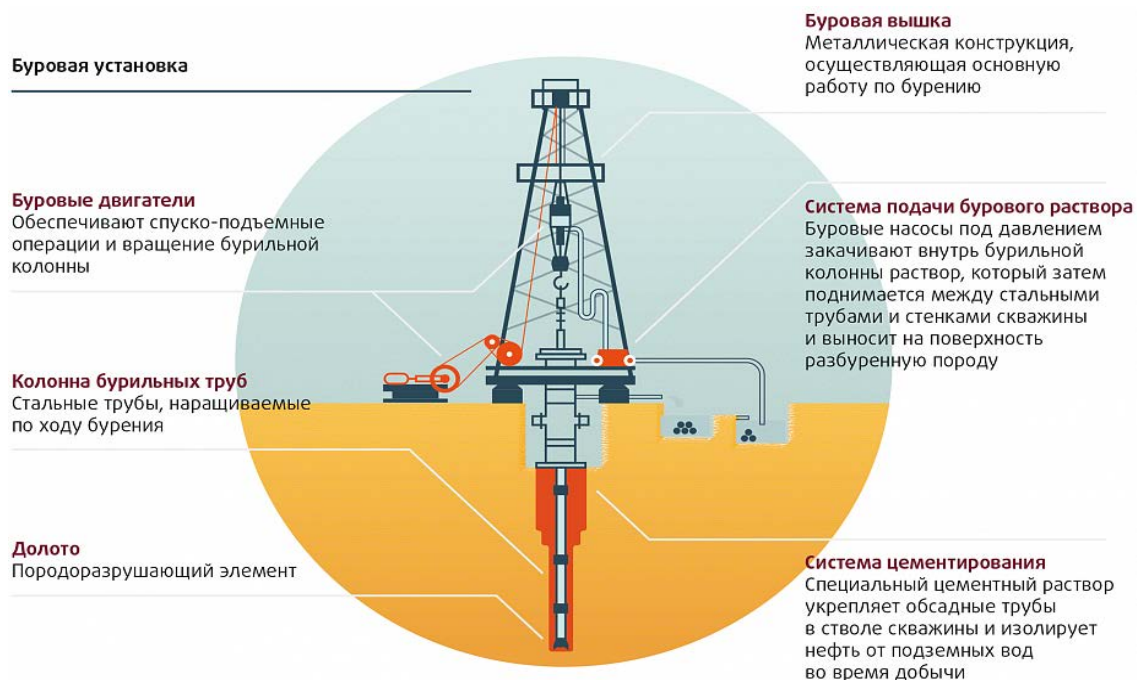


Рис. 1. Строение скважины

скважины. Длина скважины – это расстояние от устья до забоя по оси ствола, а глубина – проекция длины на вертикальную ось. Длина и глубина скважины численно равны только для вертикальных скважин. Однако они не совпадают у наклонных и искривленных скважин.

На сахалинском шельфе первой была установлена буровая и добывающая платформа «Лунская-А» (Лун-А) – в июне 2006 г. на Лунском газовом месторождении в Охотском море в 14 км от побережья на глубине 48 м. Платформа Лун-А оснащена минимальным технологическим оборудованием. Она предназначена для круглогодичной добычи и добывает большую часть газа для завода по производству СПГ (сжиженный природный газ). Первичная обработка газа производится на объединённом береговом технологическом комплексе (ОБТК), после чего газ транспортируется на завод по производству СПГ. Платформа стоит на железобетонном основании гравитационного типа с четырьмя опорами, на которых распо-

лагаются верхние строения платформы с технологическим оборудованием и сооружениями. Юго-восточная опора используется как площадка скважины, северо-восточная опора предназначена для стояков морского трубопровода/труб с закруглением большого радиуса, а остальные две опоры служат для установки насосов и резервуаров для перекачки нефти. Верхние строения платформы были построены в Южной Корее. На верхних строениях платформы размещено буровое оборудование и оборудование для сепарации жидких углеводородов, хранилище для химических реагентов и жилой модуль. В целях безопасности все технологическое и буровое оборудование расположено на противоположном от жилого модуля конце платформы. Основные рабочие зоны закрыты, в них предусмотрен контроль температуры и вентиляции. Оборудование, расположенное на открытом воздухе, оснащено средствами защиты от обледенения и низких температур. Лун-А используется для бурения с расширенным радиусом охвата отклонённых скважин с максимальным горизонтальным отклонением до 6 км и максимальной истинной вертикальной глубиной.



Рис. 2. Платформа «Лунская-А»

В 2016 г. пробурены и введены в эксплуатацию две новые газодобывающие скважины, оборудованные гравийными фильтрами в открытом стволе с целью предотвращения выноса песка. Перед освоением новых скважин на платформе было введено в эксплуатацию специальное оборудование, позволяющее устранить риск загрязнения производственного оборудования платформы жидкостями, механическими примесями или эмульсиями, которые могут поступать из скважин при освоении. Платформа Лун-А – первая в России морская газодобывающая платформа. На платформе Лун-А (рис. 2) добываются основные объёмы газа проекта Сахалин. Разделение нефти/конденсата и газа, в том числе обработка газа для транспортировки на завод по производству СПГ, производится на объединённом береговом технологическом комплексе.

Платформа «Моликпак» (ПА-А) – первая в России морская нефтедобывающая платформа. Промышленная добыча шельфовой нефти на платформе «Моликпак» началась в 1999 г. Платформа представляет собой переоборудованную буровую установку, которая ранее использовалась в арктических водах у побережья Канады. В 1998 г. платформа была отбуксирована из моря Бофорта в канадской Арктике через Тихий океан в Южную Корею. Затем она была отбуксирована из Кореи в Россию и установлена на стальное основание, изготовленное на Амурском судостроительном заводе – для того, чтобы платформу можно было использовать в более глубоких водах на шельфе о. Сахалин. Платформа «Моликпак» расположена в 16 км от побережья северо-восточной части о. Сахалин. Ширина платформы «Моликпак» (рис. 3) составляет 120 м, вес – более 37 500 т.



Рис. 3. Платформа « Моликпак»

Основание было заполнено песком (278 000 м³), который обеспечил прочную фиксацию сооружения на морском дне. С 1999 по 2008 гг. платформа была центральным объектом производственно-добывающего комплекса «Витязь», в состав которого входили также двухкорпусное плавучее нефтехранилище (ПНХ) для хранения и отгрузки нефти — танкер «Оха», одноякорный причал (ОЯП) и подводный трубопровод. На комплексе выполнялись бурение, добыча и отгрузка нефти, а также связанные с этим вспомогательные и разведочные работы. Добыча нефти велась около шести месяцев в году в безледовый период. С декабря 2008 г. платформа работает в круглогодичном режиме. С платформы «Моликпак» нефть через транссахалинскую трубопроводную систему поступает на терминал отгрузки нефти комплекса «Пригородное». Производственная мощность: нефть – 90 тыс. бар./сут (11 538 т/сут); попутный газ – 1,7 млн м³/сут.

Платформа «Пильтун-Астохская-Б», Платформа ПА-Б – самая крупная платформа, С конца 2008 г. на платформе ведется добыча нефти и попутного газа на Пильтунской площади Пильтун-Астохского нефтяного месторождения. Углеводороды поступают через транссахалинскую трубо-

проводную систему на завод по производству СПГ и терминал отгрузки нефти комплекса «Пригородное».

Платформа ПА-Б (рис. 4) спроектирована для круглогодичной эксплуатации в условиях суровых климатических, волновых, ледовых и сейсмических нагрузок. У примерно в 12 км от северо-восточного побережья о. Сахалин в открытом море на глубине 32 м. Бетонное основание гравитационного типа с четырьмя опорами спроектировано и построено в порту Восточном на Дальнем Востоке России компаниями Aker Kvaerner Technology AS и Quattrogemini OY. Установлено в августе 2005 г. Полностью интегрированная палуба платформы построена компанией «Самсунг Хэви Индастриз» на судовой верфи в Южной Корее. Верхние строения были установлены в июле 2007 г. методом надвига на заранее установленное бетонное основание. Высота платформы ПА-Б составляет 121 м от морского дна до верхней точки палубы, т. е. эквивалентна высоте 30-этажного дома. Платформа оснащена оборудованием для бурения, распределения углеводородов, жидкостей/воды, хранения химических материалов. Жилые помещения рассчитаны на размещение 100 постоянных и 40 временных рабочих. Производственная мощность: нефть – примерно 8 974 т/сут (70 000 бар/сут); попутный газ – 2,8 млн м³/сут.



Рис. 4. Платформа «Пильтун-Астохская-Б»

ППБУ «Полярная звезда» – полупогружная плавучая буровая установка шестого поколения, оснащенная современным оборудованием ведущих производителей. Установка способна проводить разведочное и эксплуатационное бурение нефтяных и газовых скважин глубиной до 7500 метров при глубинах моря от 70 до 500 м в эксплуатационном диапазоне температур окружающего воздуха от – 30° С до + 45° С. Габаритные размеры верхнего строения: длина – 85 м; ширина – 73 м; высота до верха вышки – 128 м; высота до верхней палубы – 45,15 м. Габаритные размеры понтона: длина – 119 м; ширина – 17 м; высота – 10 м. Диапазон осадки в режиме

эксплуатации – 21,5–23,5 м; водоизмещение в режиме эксплуатации – 59 300 т.

Установка создавалась вместе с однотипной плавучей буровой установкой ППБУ "Северное сияние" (рис. 5) в рамках проекта по увеличению доставки природного газа в Европу. По проекту предполагалось, что газ, добываемый платформой на Штокмановском месторождении, будет транспортироваться в США танкерами и в Европу по газопроводу. В связи с изменением



Рис. 5. ППБУ «Полярная Звезда» и «Северное Сияние»

конъюнктуры рынка проект по доставке газа в Америку не был реализован. Между Россией и Германией был построен газопровод Северный поток, для заполнения которого использовался газ с других месторождений. Нижнее основание установки было построено на Выборгском судостроительном заводе летом 2010 г., большая же часть работ – строительство буровой установки – была выполнена в Южной Корее, на заводе Samsung Heavy Industries. Так как планы по освоению Штокмановского месторождения были перенесены, местом работы платформы стал Сахалинский шельф, где платформу установили и запустили в 2013 г. Сахалинский шельф является одним из основных источников поставок газа потребителям Дальнего Востока России. Киринское газоконденсатное месторождение расположено на шельфе о. Сахалин (Охотское море) в 28 км от берега (глубина моря – 90 м). Месторождение открыто в 1992 г. В 2011 г. на месторождении были завершены геологоразведочные работы, все запасы составляют 162,5 млрд. куб. м газа и 19,1 млн. т газового конденсата. В 2013 г. месторождение будет введено в эксплуатацию.

Платформа «Орлан» – первоначально носила название «Glomar Beaufort Sea I» (Гломар Бофорт Си I) и была построена в Японии (рис. 6). В 1984 г. платформа была отбуксирована и установлена в море Бофорта (США, штат Аляска). Платформа эксплуатировалась в море Бофорта в качестве установки разведочного бурения. В результате её эксплуатации было практически доказано, что конструкция платформы приспособлена для круглогодичной эксплуатации в суровых арктических условиях. Платформа обладает



Рис. 6. Платформа «Орлан»

большим опытом работы в условиях льдов и соответствует самым высоким стандартам безопасности и охраны окружающей среды. В период с 1984 по 1997 г платформой пробурено 6 разведочных скважин. Платформа относится к буровым установкам типа CIDS (CIDS – сталебетонная буровая установка на искусственном основании), которая к тому же является мобильной оффшорной буровой установкой (MODU – mobile drilling offshore). Платформа предназначена для оффшорного бурения в суровых арктических условиях на глубинах 10.7 – 16.8 м. Компания «Эксон Нефтегаз Лимитед» (ЭНЛ) приобрела у компании «Global Marine Drilling» буровую платформу «Glomar Beaufort Sea I» и назвала её «Орлан» для того чтобы использовать её в проекте «Сахалин-1». Для участия платформы в проекте «Сахалин-1» платформа была переоборудована на ОАО «Амурском судостроительном Заводе» из разведочной в добывающую. В результате объёмной работы, проведенной ОАО «АСЗ» в г. Комсомольске-на-Амуре, на платформе «Орлан» были установлены следующие компоненты: вентиляционная стрела, технологический модуль, модуль инженерного оборудования, модуль устьевого оборудования, вертолетная площадка, аварийно-спасательные средства. На платформе модификации подверглись жилой модуль, система подачи забортной воды, грузовой кран и палубные баржи. Комплексное проведение буровых работ на платформе можно одновременно обеспечивать с помощью 8 нефтедобывающих скважин, 5 газонагнетательных скважин, 1 скважины для удаления отходов бурения и 6 скважин для использования на последу-

ющих стадиях проекта. Платформа была успешно транспортирована и установлена на постоянное место эксплуатации на месторождении Чайво.

Буровая платформа «Беркут» – длина платформы 105 м, ширина – 60 м, высота с основанием – 144 м. Она практически равна 50-этажному зданию. Самая мощная из существующих в мире буровых установок позволяет обеспечить, согласно модели разработки, бурение скважин с отходом от вертикали не менее 7 км. Таким образом, платформа является гигантской кустовой площадкой, позволяющей максимально эффективно обеспечить разработку морских месторождений. С одной этой платформы будет пробурено 45 скважин с пиком суточной добычи в 12 тыс. т, что даст 4,5 млн. т нефти в год. Предусматривается бурение 28 нефтескважин и 16 водонагнетательных скважин и 1 скважины для закачки шлама. Платформа расположена на расстоянии 25 км от берега, на участке, где глубина моря достигает 35 метров (рис. 7).

На «Беркуте», установлен самый мощный в мире верхний привод бурового механизма (с крутящим моментом верхнего привода 142 килоньютонов на метр с подъемной мощностью станка 1150 т), что позволяет бурить скважины с максимальным отклонением от вертикали до 7 км – это особенно важно для эффективности и безопасности морского бурения. Здесь впервые установлена интегрированная система интеграции бурового процесса, то есть процесс бурения осуществляется практически без применения ручного труда.

На «Беркуте» впервые в мире применена система сейсмозащиты, позволяющая выдержать удар землетрясения силой в 9 баллов, без нарушения работоспособности. «Беркут» не боится низких температур и рассчитан на работу в условиях минус 44 градуса, выдержит волну высотой более 18 м (это практически цунами) и давление льда толщиной два метра. Вся жизнедеятельность платформы обеспечивается



Рис. 7. Буровая платформа «Беркут»

автономной энергосистемой, состоящей из 4 газотурбинных агрегатов на 60 Мвт, работающих на сепарированном на платформе попутном газе, с возможной когенерацией на дизельном топливе в случае необходимости. Предусмотрена запасная схема из трех дизель-генераторов общей мощностью 5,4 Мвт, обеспечивающих автономный режим работы платформы с нулевыми выбросами в окружающую среду.

В 2009 г. в порту Находки началось строительство гравитационного основания платформы. На строительной площадке работало более 2000 человек. К строительству основания были привлечены свыше 2000 специалистов. Проект «Роснефти» обеспечил существенные инвестиции в экономику региона, только в зоне строительства было возведено 2 бетонных завода, использовавших гравий из местных разрезов. Для дополнительной защиты от льдин на основание был «надет» так называемый ледовый пояс. Это уникальное конструкторское решение, разработанное при участии ведущих специалистов «Роснефти». «Сахалин-1» – первый масштабный шельфовый проект, осуществляемый в Российской Федерации на условиях СРП (заключено в 1996 г.). Всего в рамках проекта «Сахалин-1» было добыто 64 млн. т. К 2018 г добыча нефти вырастет на 33% по отношению к текущим показателям проекта. За счет вывода на полку месторождения Аркутун-Даги добыча по проекту «Сахалин-1» к 2018 году превысит 10 млн. т нефти в год.

Разработка и изготовление современной нефтяной платформы – процесс, который по сложности вполне сопоставим с космическими проектами. Во времена СССР практически 100% комплектующих для буровых установок делалось на отечественных предприятиях. С развалом Союза некоторые из них оказались за рубежом, а часть и вовсе прекратила существование. Нужно многое восстанавливать. Необходимый потенциал у российских заводов есть, но реализовать его получится только при поддержке государства.

Если правительство реально рассчитывает создать в стране полный цикл производства, а не продолжит считать таковым домашнюю сборку иностранных комплектующих, потребуются серьезные комплексные решения и финансовые вливания. До тех пор, пока этого не случится, корпорации будут продолжать пользоваться в основном импортной техникой, а Россия сохранять мало престижное звание сырьевого придатка Запада.

Литература

1. Пленкина Ю.А. Суда и судоходство будущего. Пер. с нем. / Шенкнехт Р., Люш Ю., Шельцель М. и др. – Л.: Судостроение, 1981. – 208с., ил.
2. Сайт <http://www.gazprom.ru/about/>
3. Судовые документы ПШБУ «Полярная Звезда» и «Северное Сияние».
4. Управление судном и его техническая эксплуатация: Учебник для учащихся судоводит. спец. высш. инж. мор.училищ / Е. И. Жуков, М. Н. Либензон, М. Н. Письменный и др.; Под ред. А. И. Щетиной. — 3-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1983. – 655 с.
5. Газета «Деловые новости», 2016. - № 34.
6. Сайт Компании Сахалин Энерджи <http://www.sakhalinenergy.ru>
7. Буровые установки и оборудование для буровой площадки : Новые установки / Р.Лорд // Нефтегазовые технологии. – 2007. – № 4. – С. 42-61.

ГИДРОГРАФ ДАВЫДОВ Б. В., СТРАНИЦЫ БИОГРАФИИ И ЖИЗНЕННЫЙ ПУТЬ В ПЕРВЫЕ ГОДЫ СОВЕТСКОЙ ВЛАСТИ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ

Колесник Р. В.

Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского

Борис Владимирович Давыдов (09.07.1883 – 30.09.1925, Ленинград) – полковник Корпуса Гидрографов Императорского флота, родился в Ораниенбауме в семье контр-адмирала. Дед был вице-адмиралом, директором Морского кадетского корпуса в 1835 – 1857 гг.

За успехи в науках за период учёбы был награждён премией им. адм. П. С. Нахимова. В среде ровесников-сокурсников одним из первых окончил Морской кадетский корпус в 1901 году, и на минном заградителе «Амур» в должности вахтенного офицера перешёл из Пирея (Греция) на Тихий океан, где корабль вошёл в состав 1-й Тихоокеанской эскадры. В дальнейшем Борис Владимирович продолжил службу на этом корабле в качестве штурмана. Был участником русско-японской войны, награжден двумя боевыми наградами.

1 мая 1904 г. минным заградителем «Амур» под командованием капитана 2 ранга М.В. Иванова, в последствии первого советского адмирала и управляющего Морским Управлением, с 1936 г. кавалера звания Герой Труда СССР, было выставлено минное заграждение, на котором было подорвано два броненосца Японии, которые в последствии затонули, это была очень значимая победа русского флота.

При сдаче крепости Порт-Артур Давыдов Б. В. «пошёл в плен в Японию, дабы разделить участь нижних чинов». По возвращении из плена назначен на должность старшего штурмана на учебное судно «Рында». В 1906 году Давыдов Б. В. поступил на гидрографическое отделение Морской академии. Закончив его с отличием в 1908 г., был прикомандирован к Пулковской обсерватории для специализации по астрономии и геодезии. В 1909 г. занимался развитием триангуляции на Балтийском море. С 1910 г. в составе экспедиции Б. А. Вилькицкого в ранге командира гидрографического судна «Таймыр»¹, трижды отправлялся в арктические моря. В ходе экспедиционных работ определил координаты ряда геодезических пунктов от мыса Дежнева до реки Колымы, обработал материалы полевых работ для лоции этого района, которая была издана в 1912 г. В этот же год Давыдову Б. В. был присвоен чин капитана 2 ранга. В 1913 г. Борис Владимирович возглавил Гидрографическую экспедицию Тихого океана. В 1915 г. за отличие по службе был произведён в чин полковника Корпуса Гидрографов. До 1918 г. производил морскую съёмку побережий Охотского моря и начал опись побережий Берингова моря. Во время гражданской войны, находясь во Владивостоке, пишет научные труды по морской съёмке.

С установлением на Дальнем Востоке Советской власти в декабре 1922 г. отвёз в Ленинград в Главное Гидрографическое Управление все наработанные Гидрографической экспедицией Тихого океана за пятилетие гражданской войны материалы полевых работ. В 1923 г. на основании этих обработанных материалов в СССР были изданы: «Лоция побережий РСФСР Охотского моря и Восточного берега полуострова Камчатки с островом Карагинским включительно»; был начат выпуск шести морских карт и пяти планов бухт по восточному берегу Камчатки, 22 планов бухт и якорных стоянок Охотского моря.

По возвращению в январе 1923 г. Давыдов Б. В. был назначен начальником Управления по обеспечению безопасности кораблевождения на Дальнем Востоке (далее УБЕКО ДВ).

20 марта 1923 г. в УБЕКО ДВ было выпущено первое Извещение мореплавателям по Дальневосточным морям России, ознаменовавшее начало регулярного оперативного контроля по сбору навигационной информации.

Завершение лоцмейстерских работ в заливе Петра Великого позволило с 1 июня 1923 г. в порту Владивосток осуществлять взимание маячного сбора. Анализ поступления денежных средств от маячного сбора в течение 1923 г. дал возможность планировать среднемесячное поступление маячного сбора в сумме до 3000 рублей золотом или до 35 – 36 тыс. руб. в год. В 1923 году было начато восстановление инфраструктуры Владивостокского порта, не смотря на значительное снижение ввозного грузооборота, увеличился в полтора раза по сравнению с 1913 г. вывоз грузов. Решающую роль в те годы играл транзит сои из Манчжурии на Японию, выполняемый иностранными судами.

К концу 1923 г. путем невероятных усилий по воссозданию и сохранению навигационно-гидрографической инфраструктуры на побережье дальневосточных морей страны в ведении УБЕКО ДВ находилось 12 маяков, в том числе семь с sireнами: Гамова, Скрыплева, Аскольд, Поворотный, Низменный, Николаевский, Клостер-Кампский, и пять без sireн – Брюсса, Речной (Суйфунский), Токаревский, Белкина и Петропавловский. Три навигационных (Назимова, Чихачева и Милютинский) и два малых огня – входные Ольгинские. Пять пар створных огней (Поспеловские, Адмиральские, Ольгинские, Де-Кастринские и Петропавловские) обеспечивали вход и выход в основные порты Дальнего Востока. Два отдельных колокола были размещены на мысах Басаргина и Голдобина. В заливах Петра Великого и Ольги было выставлено 60 вех и 1 освещаемый бакен. Маяк Жонкиер находился в этот период под управлением японских оккупационных войск, контролировавших Северный Сахалин и устье реки Амур².

В навигацию 1924 г. для взятия под контроль устья реки Амур было спланировано выставление в Амурском лимане средств навигационного ограждения раньше японцев. Для выполнения этой задачи была спланирована военная экспедиция в составе парохода «Инженер» и канонерской лодки «Красный Октябрь»³. На суда было загружено 88 единиц заранее подготовленного различного навигационного оборудования. Руководство работой экспедиции было возложено на начальника УБЕКО ДВ Давыдова Б. В. За двенадцать дней июня 1924 г., не смотря на противодействие японской стороны, было полностью выставлено навигационное оборудование в

Амурском лимане. С выставлением плавучего навигационного ограждения в Амурском лимане был восстановлен контроль государства за навигационной безопасностью в устье реки и в Амурском лимане, и было начато полноценное функционирование нового гидрографического подразделения - Амурской лоцдистанции.

В связи с притязаниями Канады и США на остров Врангеля 20 июля 1924 г. для восстановления суверенитета России на остров была снаряжена и отправлена специальная военно-научная экспедиция на канонерской лодке «Красный Октябрь». Помимо политической задачи перед экспедицией ставились специальные задачи по выполнению гидрографических и гидрологических работ на переходе к острову и вблизи него. Это была первая советская научная экспедиция в Восточную Арктику. В Чукотском море экспедицией были проведены гидрологические наблюдения и получены ценные научные результаты. 20 августа на мысе Пролетарском о. Врангеля был поднят Государственный флаг РСФСР и установлена памятная металлическая доска. Там же были определены астрономический и магнитный пункты. 29 октября после тяжелого ледового перехода экспедиция вернулась во Владивосток, где им была устроена торжественная встреча, а иностранные браконьеры были депортированы с острова через Владивосток и Китай на родину.

По возвращении из экспедиции Б. В. Давыдов был вызван в Ленинград на съезд начальников УБЕКО всех морей, где тяжело заболел, и 30 сентября 1925 г. умер в возрасте 42 лет.

За те годы, в течение которых Борис Владимирович возглавлял Гидрографическую экспедицию Восточного океана и Управление по обеспечению безопасности кораблевождения на Дальнем Востоке, им было написано ряд статей и отчетов, содержащих не только фактические материалы исследований, но и указания на методы и приемы работ, имеющие большое научное значение. Заслуги Б.В. Давыдова в изучении дальневосточных и полярных морей в 1924 году были отмечены золотой медалью имени Литке Русского Географического общества.

Именем Бориса Владимировича Давыдова названа бухта на острове Врангеля, бухта на острове Добрыня Никитич и мыс на острове Большевик.

Главные работы Б. В. Давыдова:

—«Определение долгот по азимутам Луны универсальным инструментом», «Записки по гидрографии», СПб, 1912;

–«Материалы для изучения Северного Ледовитого океана от мыса Дежнева до р. Колымы», СПб, 1912;

–«Некоторые практические указания при работах по съёмке берегов», «Записки по гидрографии», П., 1916;

–«Лоция побережий РСФСР Охотского моря и Восточного берега полуострова Камчатки с островом Карагинским включительно», Владивосток, 1923;

–«В тисках льда», Л., 1925. Лит.: Ахматов В., Б. В. Давыдов, «Записки по гидрографии», т. III, Л., 1926. А. Соколов.⁴

В период с 1925 г. по 1957 г. во Владивостокском порту было судно с именем легендарного гидрографа - ледокол «Капитан Давыдов». Жаль, что традиция имени на корабельном борту не продолжилась в последующие годы.

Примечания и сноски

1. «Таймыр» и «Вайгач» - ледоколы, имели водоизмещение 1200 т., 60X11,9X4.6 м., мощность паровых машин 1200 л.с. позволяла эконом. ходом в 7 узл. пройти 11 000 миль. Суда строились с максимальным учетом опыта арктического судостроения всех предыдущих лет: корпуса судов имели яйцеобразную форму, двойное дно, две продольные и восемь поперечных водонепроницаемых переборок, утолщенный ледовый пояс обшивки, скошенный форштевень в подводной части. Транспорты обладали хорошими мореходными качествами и могли ломать лед толщиной до 0.6 м. Также суда имели парусное вооружение, были оборудованы радиостанциями с дальностью действия 150 миль. Экипажи судов были военными.

2. РГА ВМФ. Ф. Р-2193. ОП. 1. Д. 8, л. 7.

3. Канонерская лодка «Красный Октябрь» - 54,9X12,9X3,9 м, 1525 т, 2920 л.с., 13,5/9 уз., бывший ледокол «Надёжный» до 15.5.1924г., построен в 1896г. в Дании, в 1897г. вошёл в состав Сибирской флотилии в 1897г. 27.02.1924г. принят в состав МСДВ. За поход на о. Врангеля канонерская лодка была награждена Красным Знаменем. С 1925г. - «Капитан Давыдов».

4. История Гидрографической службы Российского флота в 4 т. / отв. ред. А.А. Комарицын. СПб.: ГУНиО МО. 1997. – Т. 1. Гидрографическая служба Российского флота (1696 – 1917гг.) // гл. ред. В.Г. Романов. СПб. : ГУНиО МО. 1997. – Т. 4 Библиографический справочник известных штурманов и гидрографов Российского флота / гл. ред. В.Г. Романов. СПб. : ГУНиО МО. 1997. С. 99-100.

МОЙ ПЕРВЫЙ И ЛЮБИМЫЙ МОРСКОЙ УЧИТЕЛЬ

Воронин Г. А.

Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского

Это началось в далёком 1955 г. Из семьи ушёл отец, а на руках у мамы была ещё и семилетняя сестрёнка. Когда тебе всего 17 лет, трудно сразу принять правильное решение, тем более такого жизненного масштаба, что делать, кем стать? Причём быстро, чтобы начать зарабатывать деньги на семью, ведь мама болела и не работала. Образования у меня к тому времени было всего семь классов, поэтому я поступаю во Владивостокскую мореходную школу учиться на матроса 1-го класса. В то время мореходная школа располагалась в каменном 3-х этажном здании на 1-ой Речке, где сейчас стоит корпус краевой детской больницы. Когда-то в этом доме была китайская пуговичная фабрика и мы, только что поступившие на учёбу курсанты, чистили подвал, откуда выносили мешками на мусорку заготовки пуговиц сделанных из перламутровых ракушек, но ещё без дырочек.



Рис. 1. Владивостокская мореходная школа, 12 группа матросов 1-го класса. 1956 г.

Ребятам, живущей неподалёку, это был подарок, особенно для девочек. Через дорогу от школы находилось трамвайное депо, здание которого сохранилось до сих пор, и поэтому наша учёба постоянно сопровождалась треньканьем трамвайных звонков и скрипом колёс на трамвайных разворотах.

Руководил нашей группой матросов №12 инструктор, бывший матрос-сигнальщик Тихоокеанского флота. К большому моему сожалению я не помню его фамилию. Он так научил нас владеть флажным семафором и световой морзянкой, что я до сих пор неплохо это помню,

а на выпускных экзаменах мы просто изумили опытных капитанов экзаменационной комиссии. Ещё он был прекрасным парусником и с ним мы ходили на ЯЛ-6 в очень свежую погоду, Учил нас не бояться опрокидывания, заставлял, в хорошую погоду, делать это умышленно, а затем переворачивать ЯЛ на ровный киль, вычерпывать из него воду, забираться в него и, снова подняв парус, продолжать плавание. У школы тогда была своя хорошая шлюпочная база на берегу Амурского залива, куда позднее переехала в заново построенные корпуса и вся школа. Однажды, когда мы шли в районе о. Коврижка (Скребцова) рядом со шлюпочкой всплыл огромный кит и пустил струю-фонтан, для нас это был, конечно, восторг и разговоров об этой встрече всем хватило на неделю, тем более, что об этом даже написала газета того времени «Красное знамя».

Ну, а основное морским наукам, таким, как «Основы судовождения», «Морская практика» и другим нас обучали опытные моряки среди которых был и капитан дальнего плавания Лазаренко Владимир Александрович. Неугомонный, энергичный, юморист и придумщик, он с первой встречи просто очаровал нас своими рассказами о плаваниях в экзотические страны, о встречах с интереснейшими людьми. Преподаваемый материал он знал досконально, ведь он был большим практиком. Занятия вёл интересно, с юмором в нужном месте, и рассказывал о предмете так доходчиво, что учиться у него было одно удовольствие. Он всегда придумывал какие-то новшества для лучшего понимания нами материала. Наш класс распола-



Рис. 2. Лазаренко В. А.
– первый морской учитель

гался на верхнем этаже, практически, на чердаке и даже потолок в нём был скошен. Под непосредственным руководством и личном участии Владимира Александровича мы построили там подобие ходового мостика со штурвалом и аксиометром, нактоузом и компасом ГУ-127. Причём нактоуз стоял на вращающейся платформе и при вращении штурвала курс на компасе, естественно, менялся, создавалась имитация поворота судна. Все деревянные детали мы отциклевали и покрыли лаком, а шароосветительный прибор нактоуза отчистили от краски до медного блеска и дежурный по классу каждый день надраивал его асидолом. Также была построена мачта с реем, сигнальными огнями и флажными фалами. Для изготовления сигнальных огней были использованы медицинские банки и 12-вольтовые лампочки включающиеся через трансформатор. Сигнальные фигуры мы вырезали из фанеры и покрасили в нужные цвета. Безусловно, все эти наши самоделки придавали занятиям больший интерес и доходчивость, а главное, давали нам уже некоторый практический опыт. Под руководством Лазаренко мы чертили различные плакаты и схемы и учиться нам было очень интересно. Мореходную школу я окончил на отлично. Моим первым судном в Дальневосточном пароходстве стал пароход типа «Либерти» – «Миклухо-Маклай», на нём я уже побывал в Японии и Канаде, был вполне счастлив и, когда в 1957 году в отделе кадров ДВМП мне сказали, что надо идти учиться дальше, я, конечно, заартачился, заявив, что всю жизнь буду матросом и ничего другого мне не надо, как же, ведь считал себя уже «крутым морячиной», вся «задница в ракушках». Но, мудрые дядьки в кадрах сказали что матросов у них хватает, мореходная школа готовит их по 60 человек в год, а вот штурманов и капитанов недостаток. И посоветовали мне поговорить с кем-нибудь из взрослых и опытных моряков, а уж затем принимать решение учиться дальше или нет. Конечно, я пошёл к Владимиру Александровичу, который обстоятельно и очень убедительно объяснил мне необходимость учиться дальше. С тех пор прошли десятки лет и я, пройдя все положенные штурманские ступени к капитанскому мостику, всегда помню и благодарен всем своим морским наставникам, капитанам, особенно Михаилу Васильевичу Соболевскому, и, конечно, Владимиру Александровичу Лазаренко, первому и любимому морскому преподавателю, сумевшему показать нам мальчишкам красоту и неповторимость морской профессии, в чём я убеждался в течение всей своей морской жизни!

В. И. БОРИСОВ, УЧИТЕЛЬ И КОЛЛЕГА

Верёвкин В. Ф.

Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского

Мне всю жизнь везло с учителями и в школах и в вузе. Школьные учителя сумели привить интерес ко многим предметам: истории, химии, литературе, географии. Русовед фронтовик Е.Н. Почекутов привил мне какое-то сверх чутье к грамматике, и я до сих пор почти не делаю ошибок ни синтаксических, ни грамматических. В старших классах я так увлекся химией, что стал председателем школьного химического общества, и все думали, что я буду поступать в какой-нибудь химический вуз. Я с благодарностью вспоминаю всех школьных учителей, которые встречались на моем пути.

Вузовских преподавателей я тоже вспоминаю добрыми словами, большинство из них были отличными или хорошими специалистами в своей области, и что мы хотели от них получить по выбранной специальности, то мы и получили. Большинство вузовских преподавателей уходило из нашей памяти по мере «сдачи» зачетов и экзаменов и окончания вуза, с некоторыми судьба сводила в послевузовской жизни.



Валерий Ильич Борисов.
Фото из нашей выпускной
фотографии. 1961 г.

Так, например, преподаватель из ДВПИ по автоматике Валентин Александрович Стражмейстер со временем стал моим начальником и старшим коллегой: в ДВВИМУ имени адмирала Г. И. Невельского, куда я поступил на работу после работы на море, он заведовал кафедрой электрооборудования судов. У него я принял со временем эту кафедру и работаю на ней более пятидесяти лет.

Особо я хочу отметить значительную роль, которую в моей преподавательской судьбе сыграл Валерий Ильич Борисов. Элегантный, подтянутый, всегда в безупречно отглаженном костюме, с отличной дикцией, доброжелательный он у нас читал курс «Гребные электрические установки».

А еще у нас вызывало большое уважение, что в годы войны Валерий Ильич служил в авиации стрелком-радистом.

Я еще во время плавательной практики впервые вживую столкнулся с гребной электрической установкой на дизель-электроходе «Забайкалье».

Тогда мне на практикегодились знания, полученные от Валерия Ильича. После окончания вуза я пошел, как говорится, «в моря», и моя работа порой была связана с электродвижением различных судов. Когда я по ряду причин семейного характера «завязал» с морем и поступил на работу в Дальневосточное высшее инженерное морское училище имени адмирала Г. И. Невельского, то мне достался предмет «Гребные электрические установки». Мне нужно было подготовить лекционный курс по этому предмету и обеспечить курсовое проектирование. В основу лекционного курса я взял свой конспект из политехнического института, который вел на лекциях у Валерия Ильича. Выяснилось, что лекции я писал не очень подробные, и я обратился за помощью к Валерию Ильичу.

Подробного курса лекций, как сейчас принято говорить «на бумажном носителе», у него не было, он весь нужный материал держал в голове, но мне он дал свой машинописный конспект по краткой истории развития электродвижения судов как в нашей стране, так и в мире. Этим конспектом я заинтересовался, вспомнив известное высказывание Владимира Ильича о том, что «теория предмета есть его история». Впоследствии я написал ряд статей по истории электродвижения судов, написал монографию «Электроходы на Дальнем Востоке» и защитил докторскую диссертацию «Развитие электродвижения судов на Дальнем Востоке России». Эта докторская диссертация по истории науки и техники была в нашей стране второй и первой за Уралом.

В тексте моей докторской диссертации на странице 56 было написано... «в Дальневосточном политехническом институте на электротехническом факультете в то время (1957 г) уже преподавался В. И. Борисовым (участником второй всесоюзной конференции по электродвижению судов) лекционный курс «Электродвижение судов». О Валерии Ильиче я упоминал и в других своих книгах «Электроходы на Дальнем Востоке» и «Дальневосточный морской электромеханический факультет».

Когда в нашем вузе начали выпускать инженеров-электромехаников, то мы на протяжении многих лет, начиная с первого выпуска, приглашали Валерия Ильича в состав Государственных экзаменационных (аттестационных) комиссий. Он в те годы был проректором ДВПИ. Вопросы, кото-

рые задавал Валерий Ильич курсантам-дипломникам, всегда были конкретными, по сути их дипломных проектов и близкими к практической стороне дела. Например, он, посмотрев на вывешенные чертежи дипломников, спрашивал: «А за какую ручку или рычаг нужно браться, чтобы запустить вашу установку?», и подобные вопросы, порой, ставили дипломников в тупик. И мы, руководители дипломного проектирования, еще на стадии написания дипломных проектов, рекомендовали дипломникам не забывать, что их специальность называется «Эксплуатация судового электрооборудования» и, проектируя ту или иную установку, нужно конкретно представлять, как этой установкой управлять на практике.



Рис. 1. Первый «юбилейный» - десятый выпуск электромехаников в 1975 году. Нижний ряд слева направо: В.Ф. Веревкин. О.П. Хайдуков, председатель ГЭК-10 профессор ЛВИМУ им. адм. С.О. Макарова Э.П. Штумпф, представитель Морского Регистра СССР А.Н. Обухов, начальник электроотдела службы судового хозяйства ДВМП А.В. Сафронов. Стоят: секретарь ГЭК П. Н. Арпишкин, проректор ДВПИ В. И. Борисов, главный конструктор ДВ ЦПКБ ММФ Я. П. Приходько, начальник кафедры «Электрооборудование судов» В. А. Стражмейстер, Б. В. Осокин и В. В. Косицын.

Мне в жизни и в профессиональном плане очень повезло в том, что на моем пути встретился такой интересный во всех отношениях человек, как Валерий Ильич Борисов. Такие Учителя не забываются никогда.

ЧЕЛОВЕК ТРЁХ ЭПОХ

Кононов В. В.

Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского

Профессор Меграбов Грайр Артемьевич ещё при жизни стал легендой в коллективе морского государственного вуза и за его пределами. Человек удивительной судьбы, удивительных человеческих качеств он оставил о себе добрую память, десятки талантливых учеников, книги и построенные под его руководством многие здания и объекты Дальневосточного высшего инженерного морского училища, ныне МГУ имени адм. Г. И. Невельского. Коллеги и его ученики неоднократно писали о нём статьи, воспоминания, указывая на его неординарность. Писать что-то ещё, значит, неизбежно придётся повторить уже сказанное. А делать это надо, потому что в морской вуз приходят ежегодно новые поколения курсантов и студентов, которым следует знать не только историю вуза, но и о жизни людей, которые её создавали. На долю Г. А. Меграбова выпало пережить революцию, гражданскую войну, две мировые войны, строительство социализма и его крушение в конце жизни.

Родился Грайр Артемьевич 8 марта 1909 года одиннадцатым ребёнком в семье учителя армянской школы в городе Кизляре. В детском, но уже сознательном возрасте он видел жизнь простых людей в царское время, о чём написал в книге «Какими мне запомнились годы советской власти»: «Поскольку мой возраст позволил мне быть свидетелем не только исторических событий, происшедших в годы советской власти, но также видеть жизнь людей при царизме, то постараюсь о них рассказать объективно. Для описания событий исходил не только из личного наблюдения, но знакомился с мемуарами выдающихся советских полководцев, конструкторов и государственных деятелей. Кроме того, все события размышлением подвергал логическому анализу». В своих рассказах Грайр Артемьевич не сгущал краски. В спокойном повествовательном тоне рассказывал о том, что видел, что знал, о чём много думал: «Царизм мне запомнился нищетой народных масс. На перекрёстках улиц, на папертях церквей постоянно находились нищие. Они ходили по дворам и просили кусок хлеба. Обуты они были в лапти. Стены и крыши их маленьких домишек были глинобитные, а пол земляной. Вся мебель в этих жилищах состояла из одной тахты

(нары), на которой красовались лохмотья лоскутных одеял. У многих трудяг рубашки и штаны были из мешковины и очень часто латка на латке».

Грайр Артемьевич рано остался без родителей. Его дочь Татьяна Грайровна писала о своём отце: «Революция и гражданская война катком прошла по семье Меграбова. В 1918 году арестован и сгинул отец, а в 1919 году от тифа умерли мать и семнадцатилетний брат. Грайр в 9 лет остался сиротой, в 1922 году пережил голод, когда питаться приходилось тутом, жмыхом, травой. На воспитание его взяла 22-летняя сестра Лиза, учительница математики. Она и подготовила брата к поступлению в русскую школу-девятилетку». В родительской семье он учился в армянской школе с пяти лет, но только три года. В русской школе в г. Ессентуки у армянского школьника поначалу были языковые проблемы, но благодаря трудолюбию и помощи русскоговорящих учителей он стал неплохо говорить по-русски.

После гражданской войны в стране неграмотными были 79% населения, они, как замечал Г. А. Меграбов «вместо подписи ставили крестики». В тяжелейших экономических условиях советская власть взяла курс на ликвидацию безграмотности. «При школах были организованы вечерние курсы «ликбеза». Грайр Артемьевич вспоминал: «Помню за ученическими партами скорчившись, сидели бородатые казаки со своими старухами и симпатичные казачки, которые, высунув язык, старательно выводили буквы и слова: «Мы не рабы. Рабы не мы». Тяга к учёбе взрослого населения была громадная». К концу двадцатых годов ликвидация неграмотности в основном была завершена. В ликвидации безграмотности среди казаков принимал участие и ученик средней школы Г. Меграбов.

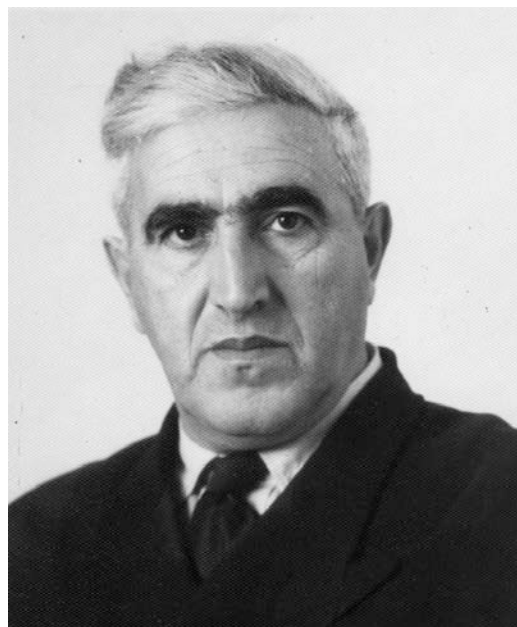


Рис.1. Грайр Артемьевич

В 1928 году окончил школу 2-й ступени и Грайр Артемьевич. Чем мог заняться совершеннолетний юноша со средним образованием после гражданской войны? В стране разруха и безработица. Это своими глазами видел и на себе испытал молодой человек впоследствии написавший: «После гражданской войны страна лежала в развалинах. По бокам железнодорож-

ной насыпи валялись опрокинутые вагоны и паровозы... Ко всему этому из-за небывалой засухи в 1921 году зимой и весной 1922 года голод достиг своего высшего предела, доводя до смерти много людей. Осиротевшие дети, потерявшие своих родителей во время гражданской войны и от голода, стали «беспризорниками». Тысячи их в ящиках под вагонами перемещались с одного города в другой, ночуя в развалинах, добывая пищу либо мелкой кражей, либо песнями на базарах».

В поисках работы юноша Меграбов уехал с Кавказа в Ленинград. Но и там работы не было. С большим трудом устроился грузчиком в торговом порту, о чём с горечью вспоминает: «... что это была за работа теперешним людям трудно представить. Бывало, придёшь во двор «Севзаппогруза», где накурено, наплёвано и ждёшь наряда на работу. Хорошо, если работу сразу получишь, а то чаще всего приходилось, не отходя, стоять до второй смены или до ночи. Никакой охраны труда не было. Могли на тебя накатить бревно. Нагружали на спину груз, порой в два раза больше собственного веса, и его приходилось по мосткам тащить на судно».

Чтобы вывести страну из разрухи, в начале 20-х годов по инициативе В. И. Ленина была введена «новая экономическая политика» (НЭП). В подростковом и юношеском возрасте Меграбов наблюдал и на себе ощущал быстрый рост экономики и все пороки новой буржуазии. Он оценил: «Для своего времени НЭП сыграл определённую положительную роль в восстановлении разрушенного народного хозяйства. Однако уже в 1928 году НЭП для дальнейшего экономического развития страны стал тормозом». Для обеспечения городского населения хлебом кулаки, они же сельские нэпманы, неохотно способствовали хлебозаготовкам. Другими словами, всячески противодействовали. При НЭПе в 1928 году была введена карточная система на промышленные и продовольственные товары. Продолжение НЭПа было уже бессмысленно, поскольку при ней возникли затруднения с хлебозаготовками.

После смерти В. И. Ленина в стране широко развернулись дискуссии о дальнейших путях развития. Идеолог мировой революции Троцкий и его сторонники считали, что построение социализма в одной стране без победы мировой революции невозможно. И. В. Сталин, следуя заветам В. И. Ленина, доказывал, что на основе индустриализации и коллективизации в советской стране можно улучшить жизнь народа, укрепить обороноспособность и построить социализм. Большинство членов партии поддержало

Сталина. Следует иметь в виду, что Россия в начале 20-го века была аграрно-крестьянской страной. В городах проживало меньше 20% населения.

Без коллективизации сельского хозяйства, индустриализации страны не могло быть речи о развитии тяжёлой и лёгкой промышленности, транспорта и надёжной обороны государства. Началась форсированная коллективизация сельского хозяйства и на её основе индустриализация страны.

С началом индустриализации уже в 1930 году безработица была ликвидирована. Это позволило молодому армянскому парню из портовых грузчиков перейти на завод «Красный Путиловец», получить профессию токаря и до призыва в армию изготавливать детали для тракторов «Фордзон-Путиловец». Среди трудящихся тогда был огромный подъём энтузиазма. Развернулось стахановское движение.

С 1931 по 1934 гг. Меграбов Г. А. служил в рядах Красной Армии командиром огневого взвода 4-го Туркестанского Краснознамённого артиллерийского полка. Во время службы он подготовился и летом 1933 года успешно сдал вступительные экзамены в Ленинградский Индустриальный институт. Но из-за обстановки на финской границе демобилизовали его только в январе 1934 года, поэтому экзамены пришлось ему сдавать за два семестра одновременно. Упорный кавказец справился, экзамены сдал успешно. Кроме того, обучаясь в вузе, он содержал себя сам: красил крышу своего института, работал грузчиком в порту, подрабатывал на Волковом кладбище.

В 1938 году Грайр Артемьевич окончил институт и по распределению был направлен во Владивосток для работы на судоремонтном заводе № 2. Хотя в Ленинграде он окончил энергомашиностроительный факультет, во Владивостоке пришлось заниматься судоремонтом. Молодой специалист, не имея жилья во Владивостоке, жил в холодных каютах ремонтирующихся судов. Тем не менее, через полтора года Меграбов становится начальником конструкторского бюро. Вскоре началась Великая Отечественная война.

О работе в годы войны Грайр Артемьевич вспоминал: «...все без исключения предприятия..., в том числе и Владивостокский судоремонтный завод, были переключены на изготовление оборонной продукции. Помню, через две недели после начала войны, на заводе появились военпреды. Они обязали переключить завод на изготовление мин калибром 120 мм и весом 16 кг. Нашей задачей (моей и ещё двух ведущих конструкторов) было как можно скорее перевести завод на массовое изготовление мин путём кон-

струирования специальной технологической оснастки, чтобы женщины-домохозяйки и подростки, не видевшие ранее заводского оборудования, могли изготавливать точную военную продукцию. Работали мы по 16 часов в день с 8 утра до 12 часов ночи. Когда налаживали сконструированную оснастку, не выходили вообще с завода. Из-за переутомления многие из нас «кивали» носами над чертежами. Никто не роптал, все понимали, что только самоотверженная работа может помочь фронту одержать победу».

Советский народ одержал победу над фашистской Германией. На основе изучения исторических документов, личных наблюдений и «логического анализа» Грайр Артемьевич в своих воспоминаниях перечислил причины победы: «Советский Союз победил:

- «потому что социалистический строй показал своё преимущество и свою гибкость перед капиталистическим строем. Общественная собственность на средства производства позволила в самое трудное время использовать все возможности для выпуска оборонной продукции;

- потому что в тридцатые годы своевременно была создана вторая угольно-металлургическая база на Урале, позволившая в период фашистской оккупации западных областей, бесперебойно снабжать армию боеприпасами и вооружением;

- потому что своевременно была произведена коллективизация сельского хозяйства, позволившая... обеспечить армию продовольствием и хлебом;

- потому что в годы первых пятилеток проведённая индустриализация страны позволила создать большое число машиностроительных и оборонных заводов;

- потому что в Советском Союзе была крепкая дружба между национальностями;

- потому что в тридцатые годы вузы и военные академии подготовили талантливых конструкторов и полководцев;

- потому что инженеры, рабочие, колхозники, не щадя себя работали по 12-16 часов, обеспечивая фронт всем необходимым;

- потому что под руководством коммунистической партии было развёрнуто мощное партизанское движение в тылу врага. Этому способствовало патриотическое воспитание молодёжи в тридцатые годы;

- потому что Красная армия и флот пользовались всенародной любовью;

- потому что коммунистическая партия имела непревзойдённый авторитет. Более половины коммунистов были на фронте. Единственной их привилегией было первыми идти навстречу смерти. Не случайно беспартийные бойцы, уходя на опасные задания, писали: если убьют, прошу считать меня коммунистом;

- потому что во главе государства стоял человек, которому люди безгранично верили и шли в атаку со словами: За Родину! За Сталина!

В итоге войны наша страна стала величайшей державой мира, с которой вынуждены были считаться все капиталистические государства».

Самоотверженный труд Г. А. Меграбова был отмечен орденом Ленина, девятью медалями, многими Почётными грамотами.

После войны Грайр Артемьевич работал директором Центрального проектно-конструкторского бюро № 7 Министерства морского флота. По совместительству с 1947 года он стал регулярно читать различные курсы в ВВИМУ. А с 1954 года полностью перешёл работать в ВВИМУ на должность заместителя по учебной и научной работе. Следует отметить, что с 1954 года по 1961-й он был единственным заместителем начальника училища.



Рис. 2. Г. А. Меграбов с аспирантами

В вузе Г. А. Меграбов кроме педагогической и научной работы активно занимался общественной деятельностью. Он дважды избирался депутатом горсовета, был членом общества «Знание», много читал лекций на предприятиях города. Многие годы был бессменным членом Научно-технического общества судостроительной промышленности и многих специализированных Советов.

Татьяна Грайровна, вспоминая об отце накануне его столетнего юбилея, дала очень точную характеристику его человеческих качеств: «если бы надо было подобрать одно слово, наиболее полно отражающее сущность моего отца, я бы сказала – благородство. Бескорыстный, он никогда не ставил лично ему выгодных целей, а всегда помнил об интересах дела и подчинённых. Он не был мелочным, завистливым, и в семье мы ни разу не слышали, чтобы отец о ком-нибудь плохо отзывался, хотя, конечно, поступки людей не всегда одобрял. Противник закулисных действий и интриг, он был открытым, искренним и в чём-то наивным, что делало его понятным людям, но иногда ударяло по нему же. Никогда не помнил личных обид, больше любил дарить, чем получать. Человек чести, дав слово, держал его. Начатое дело всегда доводил до конца (один из его любимых



Рис. 3. На водной станции ДВВИМУ (Г. А. Меграбов – третий справа)

принципов: «Назад хода нет»). Патриот своей страны, Владивостока, своего училища (не раз отвечал отказом на приглашения работать в Москве, Ленинграде). Фантастическая работоспособность, энергия, любовь к людям, огромная сила воли, цельность, жизнестойкость и оптимизм были присущи Грайру Артемьевичу на протяжении всей жизни».

Все, кто знал Г.А. Меграбова, охотно могут подписаться под этой точной характеристикой. Инженер, технарь, учёный. С широким политическим



Рис. 4. Имя на борту

кругозором, с активной жизненной позицией, он пользовался в коллективе огромным уважением и за бескомпромиссную убеждённость в правильности принятых им решений. Но это никогда не было у него слепым упрямством. Такая же бескомпромиссная вера осталась у него и не была поколеблена в начале 90-х годов в советскую

власть, когда под массированным потоком лживых журналистских и псевдонаучных статей о «порочности» советской власти многие стали сомневаться в правильности коммунистических идей. Он утверждал: «Нет ничего священнее, ценнее и гуманнее коммунистических идеалов!» Этими словами он начал писать в начале девяностых годов автобиографическую книгу: «Какими мне запомнились годы советской власти». Тогда ему было уже за восемьдесят.

В начале 90-х годов волна национализма и шовинизма захлестнула бывшие советские республики. Во многих местах произошли кровавые события. Грайр Артемьевич хорошо понимал ядовитую опасность розни по национальному признаку. Болью в душе армянина отзывались кровавые события в Нагорном Карабахе. Он сдержанно отмечал: «Приходится очень сожалеть, что теперь нет той дружбы между кавказскими и другими национальностями. Шовинизм — это для человечества страшное течение... Только дружба всех национальностей в Советском Союзе могла обеспечить экономическое и оборонное могущество нашей страны».

Эти слова теперь мы можем воспринимать как духовное завещание Грайра Артёмьевича Меграбова.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Панасенко А. Н.</i> Астрономия наших далёких предков	3
<i>Саранчин А. И. Чесноков А. Г.</i> Гироскоп С. В. Ковалевской.....	12
<i>Саранчин А. И.</i> Кинетический момент Вселенной	26
<i>Саранчин А. И. Касич А. А.</i> Вращение гороскопа по инерции	42
<i>Лесогор О. К.</i> Буровые платформы на Дальнем Востоке	71
<i>Колесник Р. В.</i> Гидрограф Давыдов Б. В., страницы биографии и жизненный путь в первые годы советской власти на Дальнем Востоке России.....	83
<i>Воронин Г. А.</i> Мой первый и любимый морской учитель.....	88
<i>Веревкин В. Ф.</i> В. И. Борисов: Учитель и коллега	91
<i>Кононов В. В.</i> Человек трёх эпох	94

Научное издание

Вестник Морского государственного университета

Серия: История морской науки, техники и образования
Вып. № 82/2018

Усл.-печ. л. 4.8. Уч.-изд. л. 6,3. Формат 60 × 80/16
Тираж экз. Заказ № 019

Отпечатано в типографии ИПК МГУ им. адм. Г. И. Невельского
690059, Владивосток, ул. Верхнепортовая 50а