

вызывающий и оскорбительный характер. Это отразилось на состоянии здоровья Мопертюи. В 1756 г. он переехал из Берлина во Францию, и состояние его здоровья стало улучшаться. В сентябре 1758 г. он решил навестить Базель, но дорога оказалась слишком тяжелой, болезнь обострилась, «... и он там скончался¹ в окружении семейства Бернулли, которое до конца продемонстрировало ему свою самую нежную привязанность и благодарную преданность» [260, с. 309].

5.3. Пьер Буге и теория управления кораблем

Как и Мопертюи, Пьер Буге (10.02.1698–15.08.1758) родился в Бретани. Его отец Жан Буге — королевский профессор гидрографии в портовом городке Кроассик — считался одним из известнейших гидрографов того времени, был прекрасным математиком, автором «Полного трактата по навигации» («*Traité complet de navigation*»), позднее переработанного и дополненного его сыном.

Первыми словами, произнесенными юным Пьером, были математические термины, его первыми игрушками были астрономические и гидрографические приборы отца, его талант формировался в атмосфере научных изысканий. «Он был хорошим математиком еще до того, как расстался с детством» [260, с. 62]. Это быстро обнаружилось в иезуитском коллеже города Ванне, где он получал образование. Когда Пьер учился в пятом классе, один из его учителей, обнаружив обширность математических познаний ученика, брал у него уроки математики. А через два года тринадцатилетний Пьер осмелился не согласиться с одним из выводов его профессора математики, который воспринял это как оскорбление его профессионального достоинства. Буге принял вызов и публично доказал свою правоту. Это обстоятельство вынудило профессора покинуть коллеж.

Отец умер в 1713 г. еще до того, как Пьер окончил коллеж, оставив своим двум сыновьям очень скромное состояние. Это обстоятельство побудило Буге добиваться разрешения занять место его отца. По поручению министра пятнадцатилетний претендент был экзаменован королевским профессором гидрографии Обертом, который удостоил экзаменуемого наивысших похвал. Так, несмотря на то, что большинство учеников были старше Буге, он получил должность профессора в Кроассик и начал свои научные разработки.

¹Это произошло 27 июля 1759 г. в возрасте 61 года.

Случайная встреча с Шарлем-Рене Рейно¹ круто изменила дальнейшую судьбу молодого профессора. Рейно, сам к тому времени уже известный ученый, показал Мэрану работу Буге, посвященную управлению мачтами парусного корабля. Рукопись Буге произвела на Мэрана сильное впечатление, и он предложил Парижской академии наук объявить в 1727 г. конкурс на приз по этой тематике. Конкурс был объявлен, и Буге получил первое крупное признание — приз Академии. В 1729 г. Буге вновь получает приз Академии за мемуар «О наилучшем способе определения на море высоты звезд». Через два года он в третий раз получает премию за работу «О наиболее удобном способе наблюдения отклонения магнитной стрелки на море». В сентябре того же года он получает место ассоциированного геометра Парижской академии наук, освободившееся в связи с избранием Мопертюи пансионером. Вскоре его включают в состав экспедиции в Перу для определения длины одного градуса меридиана, и он становится пансионером-астрономом Академии наук. С 1752 по 1755 гг. Буге был одним из редакторов «Journal des Sçavants». После тяжелой болезни Буге скончался в Париже в возрасте шестидесяти лет. Его научное наследие включает большое количество работ по математике, механике, морской навигации, астрономии, геодезии и оптике.

В 1732 г. Буге опубликовал мемуар «О новых кривых, которые могут быть названы кривыми преследования» [144]. Задача состояла в определении кривой, по которой должно двигаться судно, преследующее другое судно, совершающее прямолинейное движение, если отношение скоростей судов постоянно. Такую кривую Буге назвал «кривой преследования»¹ или «кривой погони».

Получив из геометрических (кинематических) соображений дифференциальное уравнение

$$2a dx = y dy - \frac{dy}{y},$$

¹Близкий друг Мальбранша, профессор философии в Тулоне, затем в Пезена, профессор математики в Анжере, с 1716 г. — член Академии наук. Автор книг «Определенный анализ или способ решения задач математики» [275] и «Наука вычисления общих величин» [276]. Первая книга была известна тем, что в ней автор свел все наиболее важные открытия Декарта, Лейбница и Ньютона. Она считалась во Франции классической до той поры, пока Даламбер (в 1741) не указал на допущенные Рейно ошибки.

¹В работах XIX в. эта кривая именовалась «погонной линией» или «собачьей кривой».

Буге записывает его решение, определяющее кривую преследования, в виде

$$x = \frac{n}{2n+2m} a^{\frac{m}{n}} y^{\frac{n+m}{n}} - \frac{n}{2n-2m} a^{\frac{m}{n}} y^{\frac{n-m}{n}} + \frac{mn}{n^2-m^2} a.$$

Дальнейший анализ кривой сводится к перебору соотношений между n и m .

В том же томе «Мемуаров» за 1732 г. помещена короткая заметка Мопертюи¹ «О кривых преследования», продолжающая поднятую Буге тему. Автор отмечает, что для кривой преследования ее дуга пропорциональна «резекте», то есть части абсциссы, взятой от начального до конечного положения касательной. Из этого условия Мопертюи получает уравнение Буге. Далее он формулирует более общую задачу: найти кривую преследования для произвольной (не прямолинейной) траектории преследуемого корабля. О ее решении он пишет: «Задача сводится к следующему: пусть дана кривая CE ; нужно найти кривую BM , касательные ME к которой отсекают на CE и BM пропорциональные дуги». Из этого условия Мопертюи получает дифференциальное уравнение второго порядка, решение или какой-либо анализ которого в работе отсутствует. Как и Буге, Мопертюи не ссылается на мемуар Боми, опубликованный Академией двадцатью годами раньше. Хотя «трактриса» Боми по сути совпадает с «кривой преследования» Буге.

Значительное место в научном наследии Буге занимают работы по теории корабля, в частности, по кинематике и динамике его движения, написанные после перуанской экспедиции. В подтверждение этого можно привести список его публикаций по этой тематике в «Мемуарах»:

1. Разъяснение к проблеме рангоута² судов [145].
2. О новой конструкции лаг, с примечаниями об использовании других инструментов, которые могут использоваться для измерения скорости хода судов [146].
3. Мемуар об операциях, названных лоцманами корректировка; с разнообразными примечаниями, которые могут быть полезными в практических разделах математики [147].
4. Решение важнейших проблем маневров судов [148].

¹Мопертюи пишет, что вскоре после выступления Буге в Академии с сообщением о кривой преследования, он нашел другое, более простое решение его задачи о преследовании. Этому решению и посвящена заметка.

²Рангоут — совокупность надпалубных частей судового оборудования (мачты, реи, гафели, гики, ...).

Этот список следует пополнить книгами:

1. Новый трактат по навигации и управлению, содержащий теорию и практику управления¹ [149].
2. Трактат о судне, его конструкции и его движениях [150].
3. Трактат о маневрах кораблей или трактат по механике и динамике [151].

Очевидно, что все перечисленные работы не являются сугубо теоретико-механическими. Но как и некогда задачи о равновесии рычага, о движении падающих тел, планет, теории удара и колебании тел, задачи о движении и маневрах судов были одновременно и объектом для практического приложения известных механических теорий, и средством для проверки, уточнения их истинности, и источником возникновения новых механических понятий и математических методов. Таким образом, являясь по своей сути прикладными, работы Буге имели значение и для развития теоретической механики, как в плане ее адаптации к новому кругу задач, так и в плане расширения ее теоретической базы.

Остановимся на первом из названных мемуаров [145], завершеном Буге в 1748 г., после смерти И. Бернулли. По-видимому, именно в этом году Буге доложил Академии основное содержание этой публикации, начинающейся с высокой оценки вклада И. Бернулли в развитие математики и, особенно, анализа. Как уже упоминалось, в 1714 г. И. Бернулли издал большой трактат «Новая теория управления кораблем» [139]. Актуальность и новизна целой гаммы проблем, связанных с движением и устройством корабля, привлекла многих механиков, математиков и инженеров. В частности, Рено, Вариньона, Мэрана, Лани², Савериана, Пезена³, Камю. Речь шла о создании научно обоснованной теории конструирования корабля и об использовании механики в исследовании его динамики. Следует особо подчеркнуть, что это были первые работы по механике управляемого движения тел. «Разъяснения к проблеме рангоута судов» — это попытка Буге осмыслить трактат

¹Именно эта книга и содержала поправки и развитие идей отца Буге, изложенных в его уже упоминавшейся книге «Полный трактат по навигации». Трактат Буге еще дважды переиздавался. Его третье издание, с замечаниями и дополнениями Лаланда, вышло в Париже в 1792 г.

²Лани, а еще ранее Вариньон и Мэран, были членами комиссии Академии наук по навигации.

³Профессор гидрографии в Марселе, член нескольких академий, автор многих публикаций.

И. Бернулли, с которым он вел переписку, и дать собственный взгляд на проблему управления движением парусных судов.

Рассматривая равномерное движение судна, Буге, как и И. Бернулли, утверждает, что все действующие на корабль силы (приложенная к парусам сила ветра, сила тяжести, приложенные к корпусу корабля силы сопротивления воды и выталкивающие («архимедовы») силы) должны в итоге уравниваться. Это условие далее используется для построения уравнения движения судна. Еще в работах древних механиков использовалось понятие «гипоноклион» — это точка, относительно которой рассматривается равновесие тела, оплот равновесия покоящегося тела. В случае рычага гипоноклионом является точка опоры, которая покоится, даже если рычагу придали какое-то перемещение. Что следует считать гипоноклионом для равномерно движущегося корабля? Буге считает, что это центр тяжести¹. Бернулли ассоциирует эту точку с центром вращения — своеобразным аналогом центра колебаний или центра удара тел. Однако Буге утверждает, что эти расхождения не являются принципиальными. «Идеальное равновесие предполагает полное взаимное уничтожение всех сил. Таким образом, для меня не так важно, в каком месте мы выберем эту точку, так как рассматриваемое мной равновесие, как абсолютное, идеальное, должно быть таковым относительно любой возможной точки» [145]. Говоря о свойствах гипоноклиона, Буге подчеркивает, что в отличие от древних представлений, когда считалось, что эта точка может выдержать бесконечную нагрузку, или ее нагрузка вообще не рассматривалась, современная ему механика имеет удобные способы «... для определения во всех случаях нагрузки гипоноклиона...». С современной точки зрения эта задача аналогична задаче определения реакции связи.

Как опытный практик, Буге утверждает, что для жизнеспособности корабля наиболее опасны резкие порывы ветра (импульсы прикладываемой к парусам силы ветра) и периоды разгона судна (от начала движения до выхода на постоянную скорость). И в том, и в другом случае возможно опрокидывание судна или, пользуясь современной терминологией, возможно возникновение его неустойчивости. Действие сил ветра и сопротивления воды ассоциируется с ударными силами. Буге определяет время разгона или развития неустойчивости из следующих

¹Основанием для выбора центра тяжести в качестве гипоноклиона Буге считает следующее: сила, действующая на тело, заставляет его вращаться только в том случае, когда линия действия силы не проходит через центр тяжести тела.

соображений. Если a — скорость ветра, v — скорость судна, то $a - v$ — относительная скорость ветра. Пусть A — скорость ветра, необходимая для создания силы, действующей на паруса, равной силе тяжести корабля, B — скорость корабля, при которой движущая сила корабля уравновешивается силой сопротивления воды о днище. Величины a , A , B известны. Считая, что импульс каждой силы аналогичен¹ силе тяжести и пропорционален квадрату соответствующей скорости, Буге записывает выражение для общей ускоряющей силы корабля в виде $\frac{(a-v)^2}{A^2} - \frac{v^2}{B^2}$, где $\frac{(a-v)^2}{A^2}$ — сила ветра, $\frac{v^2}{B^2}$ — сила сопротивления воды. Для равномерного движения корабля эта сила должна быть равна нулю, откуда следует, что $v = \frac{aB}{A+B}$. Считая, что $dv \approx F dt = \left[\frac{(a-v)^2}{A^2} - \frac{v^2}{B^2} \right] dt$, после разделения переменных и интегрирования, он получает $t = \log \frac{aB + Av - Bv}{aB - Av - Bv}$. Путь, пройденный судном за время t , определяется интегралом $s = \int v dt$.

В случае неожиданного сильного порыва ветра отплывающее судно, особенно, если отплытие происходит по криволинейной траектории, приобретает сильный крен. При этом, как показывает опыт, сила ветра в меньшей мере влияет на увеличение скорости корабля и в большей мере на увеличение его крена. Объясняя этот феномен, Буге пишет: «Это в точности тот случай, когда тело толкается силой, приложенной не в центре тяжести тела, . . . тело поворачивается около точки, известной механикам под названием *центра конверсии (обращения)*»² [145]. Этот центр обращения (конверсии) или вращения должен находиться ниже центра тяжести корабля. Исходя из практики, Буге считает, что в случае возникновения крена³ корабля от порыва ветра нужно регулировать паруса так, чтобы бóльшая часть силы ветра шла на увеличение скорости корабля, а не его крена. При этом он восторгает-

¹В том смысле, что импульс силы ветра, как и сила тяжести, создают ускоренное движение корабля со скоростью $v \sim t$.

²Centre de conversion. Далее автор называет эту точку центром вращения.

³Буге подчеркивает, что возникновение крена от взаимодействия сил ветра и сопротивления воды не следует путать с причиной возникновения бортовых колебаний, частота которых зависит от взаимного расположения грузов на корабле. Форма корабля, расположение на нем грузов, определяющие положение центра тяжести корабля, считаются неизменными.

ся тем, насколько убедительно И. Бернулли доказывает преимущество (для сохранения равновесия судна) ускоренного движения перед равномерным, сторонником которого был сам Буге. В конце работы он сравнивает задачу движения судна с задачей, решение которой уже известно, — о движении тела под действием пружины, и дает конкретные рекомендации по управлению парусником в экстремальных условиях.

Исследования по теории корабля И. Бернулли, Буге, Камю получили дальнейшее теоретическое и экспериментальное развитие в работах Даламбера, Кондорсе, Боссю [100]. Их прикладной аспект, в связи с прогрессом судостроения и прочих разделов техники, ныне утратил свою актуальность. Но их теоретическое значение как сферы применения понятий и законов механики, как источника формирования понятий устойчивости и неустойчивости равновесия и движения тел, ставших позднее основой теории устойчивости движения, по-прежнему велико.

Легко заметить определенную схожесть судеб и научных интересов Мопертюи и Буге. Оба родились в Бретани, в один год, получили прекрасное математическое образование, проявили интерес к астрономии, геодезии, ньютоновской теории притяжения тел, оптике, теории фигур небесных тел, чисто математическим проблемам геометрии и теории дифференциальных уравнений, участвовали в географических экспедициях, были видными учеными, академиками-пансионерами Парижской академии наук и умерли с интервалом в один год. Эта общность интересов и жизненных событий, естественно, не была абсолютной, у каждого из них был свой жизненный путь. Но схожесть судеб, по-видимому, была не случайной. Они оба объективно выражали интересы своего времени, отражали особенности французского научного менталитета начала XVIII в.

5.4. Обзор некоторых публикаций

Замечательной особенностью Парижской академии наук был коллективный характер деятельности ее ученых. Каждый член Академии имел полную свободу в выборе своей научной тематики (и часто она была очень разнообразной), но обязательные публичные выступления, публикации работ вызывали естественный обмен мнений, критические замечания, соответствующие оценки практической полезности и теоретической перспективности работ. Таким образом, персон-