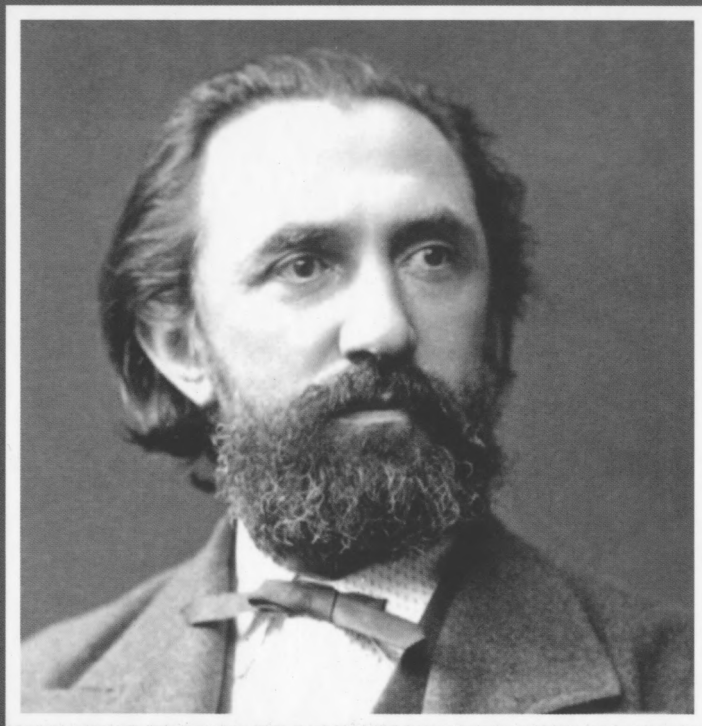


НАУЧНО-БИОГРАФИЧЕСКАЯ
ЛИТЕРАТУРА



А.Н. Боголюбов
В.Н. Чиненова

**Франц
РЕЛО**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК



СЕРИЯ «НАУЧНО-БИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА»

Основана в 1959 году

**РЕДКОЛЛЕГИЯ СЕРИИ
И ИСТОРИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ
ИНСТИТУТА ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ
им. С.И. ВАВИЛОВА РАН
ПО РАЗРАБОТКЕ
НАУЧНЫХ БИОГРАФИЙ ДЕЯТЕЛЕЙ
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ:**

академик РАН *Н.П. Лавёров* (председатель редколлегии),
академик РАН *Б.Ф. Мясоедов* (зам. председателя редколлегии),
докт. экон. наук *В.М. Орёл*
(председатель Комиссии и зам. председателя редколлегии),
докт. ист. наук *З.К. Соколовская* (ученый секретарь редколлегии),
канд. ист. наук *А.А. Жидкова* (ученый секретарь комиссии),
докт. техн. наук *В.П. Борисов*, докт. физ.-мат. наук *В.П. Визгин*,
канд. техн. наук *В.Л. Гвоздецкий*, докт. физ.-мат. наук *С.С. Демидов*,
академик РАН *А.А. Дынкин*, академик РАН *Ю.А. Золотов*,
академик РАН *Ю.А. Израэль*, докт. ист. наук *С.С. Илизаров*,
докт. филос. наук *Э.И. Колчинский*, канд. воен.-мор. наук *В.Н. Краснов*,
академик РАН *М.Я. Маров*, докт. биол. наук *Э.Н. Мирзоян*,
докт. техн. наук *А.В. Постников*, академик РАН *Ю.В. Прохоров*,
член-корреспондент РАН *Л.П. Рысин*,
докт. геол.-минерал. наук *Ю.Я. Соловьёв*

А.Н. Боголюбов
В.Н. Чиненова

**Франц
РЕЛО**
1829 – 1905

Ответственный редактор
доктор технических наук
А.П. БЕССОНОВ



МОСКВА
НАУКА
2014

УДК 531/534
ББК 34.41
Б74

Рецензенты:
доктор технических наук
А.А. Головин,
доктор исторических наук
кандидат физико-математических наук
М.М. Рожанская

Боголюбов А.Н., Чиненова В.Н.

Франц Рело. 1829–1905 / А.Н. Боголюбов, В.Н. Чиненова ; отв. ред. А.П. Бессонов. – М. : Наука, 2014. – 268 с. : ил. – (Научно-биографическая литература). – ISBN 978-5-02-038148-3.

Книга посвящена исследованию жизненного пути, инженерной и научной деятельности выдающегося немецкого машиностроителя и теоретика машиностроения Франца Рело (1829–1905), имя которого вошло во все энциклопедии мира. Педагог, организатор науки Ф. Рело много усилий приложил для изменения статуса Берлинского ремесленного института (среднего учебного заведения), реорганизации его в Высшую техническую школу. Он был не только ученым, но и практиком, любил искусство, перевел на немецкий язык «Песнь о Гайавате» Лонгфелло, много рисовал и гравировал по дереву, писал о «художественном стиле в машиностроении».

Для всех интересующихся историей науки, техники и образования.

ISBN 978-5-02-038148-3

- © Российская академия наук и издательство «Наука», серия «Научно-биографическая литература» (разработка, оформление), 1959 (год основания), 2014
- © Боголюбов А.Н., Чиненова В.Н., 2014
- © Редакционно-издательское оформление. Издательство «Наука», 2014

К читателю

Автор многочисленных работ по истории теории механизмов и машин, Алексей Николаевич Боголюбов (1911–2005) задумал написать научную биографию Ф. Рело давно и заявку в редакцию серии «Научно-биографическая литература» подал еще в 1988 г. Эту идею поддержал академик РАН Константин Васильевич Фролов (1932–2007), согласившись стать ответственным редактором рукописи.

Позже, в 2000 г., А.Н. Боголюбов, которого я считаю одним из своих учителей, привлек к работе над книгой меня, В.Н. Чиненову, и предложил мне стать его соавтором «жизнеописания» инженерной и научной деятельности выдающегося немецкого машиностроителя и теоретика машиностроения Франца Рело (1829–1905).

Немногочисленные факты личной жизни Рело наполнены масштабными результатами его научного творчества. Он был замечательным педагогом, организатором науки, много усилий приложил для изменения статуса Берлинского ремесленного института (среднего учебного заведения), реорганизации его в Высшую техническую школу. Рело был не только ученым, но и практиком. Он был активным участником и членом жюри многих международных выставок, много работал и в области истории техники. В написанной им «Теоретической кинематике» (первый том был издан в 1875 г., 622 стр., а второй – в 1900 г., 789 стр.) истории машин посвящена отдельная глава. Введение, примечания к отдельным параграфам трактата также насыщены историческими сведениями.

Рело любил искусство. Он перевел на немецкий язык «Песнь о Гайавате» Г. Лонгфелло, много рисовал и гравировал по дереву, писал о «художественном стиле в машиностроении». Рело пользовался большим авторитетом среди ученых в области прикладной механики.

Если не считать ряда статей и упоминаний в монографиях общего характера о жизни и творчестве Ф. Рело, большая часть которых написана А.Н. Боголюбовым, то настоящая монография является первой фундаментальной работой на русском языке, в которой достаточно подробно исследуется жизнь и научная деятельность Ф. Рело. Естественно, что в данной книге неоднократно цитируются работы Алексея Николаевича, в частности, его «Теория механизмов и машин в историческом развитии ее идей».

При подготовке книги нами были просмотрены и частично использованы доступные материалы на немецком и английском языках по этой теме, что отмечено по тексту.

Книга проиллюстрирована фотографиями Ф. Рело, лиц и мест, связанных с его жизнью, а также его собственными чертежами.

В конце книги помещено «Приложение» – письмо (с переводом на русский язык) правнука Ф. Рело, Кристиана Рело, которому мы благодарны за информацию о ряде малоизвестных фактов из личной жизни его знаменитого прадеда.

Авторы признательны ответственному редактору книги доктору технических наук Аркадию Петровичу Бессонову и рецензентам: профессору МВТУ им. Н.Э. Баумана Александру Александровичу Головину и доктору исторических наук, кандидату физико-математических наук, ведущему научному сотруднику ИИЕиТ РАН Мариам Михайловне Рожанской за их замечания, способствовавшие улучшению книги.

Введение

Немецкая культура второй половины XIX века. Машиностроение в Германии. Учение о машинах

Промышленный переворот (индустриальная революция) в Германии проходил в первой половине XIX века. За годы промышленного переворота возник новый способ производства – машинное производство. Изобретение технологических машин, которым характеризовалось начало этой революции и затем изобретение универсального двигателя – паровой машины стимулировали развитие производства машин при помощи машин. Так возникло машиностроение.

Английские изобретатели показали своим европейским коллегам путь к машинному производству.

Промышленный переворот в странах средней Европы, в Германии, Австро-Венгрии и Италии начался позже, чем в Англии и Франции, и имел характерные особенности, зависевшие от социально-экономических и политических особенностей развития этих стран. Самая большая из этих стран – Австрийская империя – находилась на пике своего могущества. Но это могущество было иллюзорным. Австрия терпела в войнах с Французской республикой, а затем с Наполеоном, поражение за поражением. Тяжелое экономическое положение крестьянства и возникающего рабочего класса определили предреволюционную ситуацию, окрашенную в национальные цвета, ибо империя являлась конгломератом различных народов, имевших разную историю и различные национальные идеалы и находившихся на различном уровне промышленного развития.

Еще более сложной была ситуация в Италии и в Германии. В этих странах, разбитых на исторически возникшие более или менее мелкие княжества и королевства, основным общественным стремлением было объединение в одно государство. Первый взнос в объединение Германии сделал Наполеон, который из двух сотен княжеств, вольных городов, герцогств и епископств создал несколько королевств.

Австрийская империя в первой четверти XIX века представляла собой единую монархию, в которую кроме немецкой обла-

сти, собственно Австрии, входили еще Венгрия (в состав которой входил ряд славянских и румынских областей), Чехия, Силезия и королевство Галиции и Лодомерии (часть Польши, населенная в основном украинцами, аннексированная Австрией незадолго до начала столетия). В одних частях страны личная зависимость крестьян от помещика была отменена, хотя и не полностью, в конце XVIII века, в других – с середины XIX века.

В начале XIX века в Австрии резко возросла потребность в текстильных товарах, оружии, изделиях из железа, создалась благоприятная конъюнктура для промышленного развития. Но крестьянство не везде было лично свободным, и это затрудняло создание резервной армии труда. В промышленность проникают машины, увеличивается количество паровых машин, и постепенно мануфактуры преобразуются в фабрики и заводы. Проникновение машин в горное дело и в расширяющееся дорожно-строительное дело ставит перед промышленностью новые задачи. Но развивалась промышленность неравномерно и в основном она концентрировалась в наиболее развитых районах страны – в Чехии и в Вене. Рынками сбыта для них была Венгрия, включавшая и румынские земли, Тироль и Галицию. В этих районах хозяйничали феодалы, и промышленность развивалась слабо.

Противоречия между промышленным развитием одной части страны и искусственно сдерживаемым развитием других ее частей, углубленные национальным угнетением, явились причиной революционной ситуации в Австрии. Кроме того, некоторые области, высокоразвитые в промышленном отношении, как, например, Северная Италия, не только не пользовались преимуществом своего развития, но наоборот, служили рынками сбыта для промышленности центральных районов страны.

Самые старые культурные и промышленные традиции имела Чехия. Здесь в XVIII веке развилась крупная мануфактурная промышленность. Еще в 1348 г. в Праге был основан один из старейших европейских университетов – Карлов университет. Здесь же началась организация технического образования – в 1718 г. в Праге была основана Инженерная школа. В 1787 г. эта школа была преобразована в Школу гражданских инженеров. На базе этой Школы в 1806 г. в Праге был открыт Политехнический институт с преподаванием на немецком языке. Организатором и первым директором политехнического института был выдающийся чешский ученый-механик Ф.И. Герстнер.

Франтишек Иосиф Герстнер (1756–1832) родился в семье бедного ремесленника в Хомутове. В 1779 г. окончил Карлов универ-

ситет, где изучал математику и астрономию. Работал в Венской астрономической обсерватории, с 1784 г. преподавал в Карловом университете, с 1787 г. – профессор. Основатель Пражского политехнического института и с 1806 г. (года его основания) по 1832 г. – директор и профессор Института. Основные работы – в области теоретической и прикладной механики, занимался расчетом плотин и дамб, а также прикладной гидравликой. Герстнер работал также в области методики технического образования, и по образцу Пражского политехнического института были организованы Политехнические институты в Вене (1815) и в Берлине (1824). Таким образом, в деле создания технических школ в Европе значение деятельности Герстнера было велико. В 1868 г. Пражский политехнический институт разделился на две технические школы – чешскую и немецкую.

Герстнер много работал над развитием прикладной механики, в частности над ее приложением к горному делу и к строительному производству.

С Венским политехническим институтом была связана деятельность Баумгартнера.

Андреас фон Баумгартнер (1793–1855) родился в Чехии, в Фридберге, окончил Венский политехнический институт. С 1823 г. – профессор математики и механики в Венском университете, с 1848 г. – министр общественных работ, затем – министр торговли и промышленности Австрии. С 1851 г. – президент Венской академии наук. Исследования относятся в основном к прикладной механике. Один из основателей немецкого направления в науке о машинах, к которому принадлежали также Ю. Вейсбах и Я.Ф. Редтенбахер. Это направление сосредоточило свои усилия в изучении самой машины. В частности, эта школа заложила основы изучения деталей машин. «Руководство по практической механике» Баумгартнера (1823) было написано на основе лекций, которые он читал в Ольмюцком лицее для техников и ремесленников. Три первых раздела книги, занимающие больше половины ее текста, посвящены динамике – изучению движущих сил и сил сопротивления в машинах (трению, сопротивлению канатов, сопротивлению среды). Четвертый раздел автор посвятил рассмотрению собственно машины. Он определяет машину как «приспособление, с помощью которого сила действует на точку, находящуюся вне ее направления, иначе, чем, если бы сила действовала на нее непосредственно»¹. Определение, крайне общее и

¹ A. Baumgartner. Die Mechanik in ihrer Anwendung auf Kunste und Gewerbe. Wien. 1823, S. 154.

уже не соответствовавшее периоду промышленного переворота, когда построение машин набирало силу. Баумгартнер классифицирует машины на два вида в зависимости от типа соединения механизмов: параллельного или последовательного. Исследуя движение в машинах, он пользуется механикой Эйлера, оценивает движение по превышению момента его сил над моментом сил сопротивления. Значительное место Баумгартнер в своей механике отводит зубчатым колесам и их изготовлению. Он указывает, что материал для изготовления колес должен быть прочным и износоустойчивым. Этим требованиям отвечает латунь, которую применяют для изготовления малых, например часовых, колес, а также крепкие сорта дерева – берест, терн, яблоня, которыми пользуются для изготовления больших колес. Он указывает, что очень важен вопрос формы зубьев колес. Оптимальную форму можно получить при помощи математического расчета, применяя затем при изготовлении колес шаблон. Впрочем, как говорит автор, обычно удовлетворяются приближенной формой, ибо трение доделывает все остальное².

Завершается книга некоторыми сведениями по сопротивлению материалов, конструированию и изготовлению машин. Автор рекомендует для изготовления машин применять, в основном, дерево и не увлекаться металлом, так как в этом случае значительно повышается стоимость машины. При построении машин следует сравнивать три основных показателя – прочность, вес и стоимость.

В течение первой половины XIX века происходила борьба между Австрией и Пруссией за гегемонию в Германском союзе. Германия первого десятилетия XIX века всеми своими корнями еще оставалась в условиях феодализма. Свыше 300 княжеств, не считая вольных городов и полусамостоятельных рейнских баронов, делили страну на отдельные части, связь между которыми была слабой, а иногда вообще отсутствовала. Основной формой производства было цеховое ремесло, но к концу XVIII века начали появляться и мануфактуры. Внутренний рынок был ограниченным, крестьянство находилось в крепостной зависимости от баронов, и его покупательная способность была ничтожной, а оно составляло подавляющее большинство населения. Таможенные границы и плохие дороги препятствовали развитию торговли между отдельными государствами страны. Достаточно сказать,

² Vgl. d. §§ 267–287. S. 205–206.

что при переводе товаров из Дредена в Магдебург приходилось 16 раз оплачивать таможенную пошлину.

В ходе войны с революционной Францией, а затем с армиями Наполеона, господствующие классы вынуждены были освободить крестьянство от крепостной зависимости. Число германских государств резко сократилось, однако в половине второго десятилетия в германский союз входили 38 независимых государств, из которых самым крупным была Пруссия. Это стимулировало развитие местной промышленности, появились первые фабрично-заводские предприятия, начался промышленный переворот.

Исторически наиболее древней отраслью промышленности в Германии было горное дело. Поэтому первые немецкие технические школы были связаны именно с горным делом. Горные школы были в Брауншвейге, Фрайберге и Клаустале. В частности, Брауншвейгская горная школа была основана в 1745 г., а двумя годами ранее, в 1743 г., была организована Саксонская инженерная академия, послужившая образцом для Мезьерской инженерной школы во Франции.

В 1833 г. восемнадцать государств Германии объединились в Таможенный союз, в результате чего образовался внутренний рынок для германской промышленности, что ускорило прохождение промышленного переворота. Увеличивается количество машин, работающих на разных производствах, и начинается становление машиностроения. Для развивающейся промышленности требовались обученные кадры, это стимулировало развитие технического образования. Характерно, что сначала технические школы открывались как средние учебные заведения, они готовили ремесленников, мастеров, техников, но очень быстро приобретали статус высшего учебного заведения и начали готовить инженеров, одновременно работая над развитием технических наук. В 1825 г. была основана Политехническая школа в Карлсруэ, в 1827 г. – высшие технические школы в Мюнхене и в Нюрнберге, в 1828 г. – Техническое учебное заведение в Дрездене, в 1831 г. – Высшее ремесленное училище в Ганновере, в 1840 г. – Политехническая школа в Штутгарте. Еще в 1799 г. в Берлине была основана Королевская строительная академия, в 1827 г. при ней был открыт Политехнический институт. К середине века в Германии было уже много высших технических школ. Кроме того, во многих университетах были основаны кафедры технологии, а профессора физики, механики и математики читали также прикладную механику.

В теории машиностроения немецкие специалисты значительно отставали от уровня французской и английской науки³.

Изобретение паровой машины и почти одновременно производство ковкого железа в промышленном масштабе принесли с собой новые задачи. Ушли в прошлое ограниченные физические возможности рабочей силы, более совершенный и дешевый материал вытеснил из машиностроения дерево и помог сделать сами машины больше, мощнее и производительнее. Но управление ими требовало изучения механических процессов в машине, действующих в них сил, происходящих внутри нее движений, сопротивлений, с которыми приходилось сталкиваться деталям при приложении к ним силы. Здесь опыт ремесленника уже не мог помочь, требовалось научное, выходящее за рамки основных знаний, исследование, т.е. учение о машине, которое могло бы передаваться талантливым юным техникам.

Заслуга немецких исследователей и преподавателей заключается в том, что они создали такое учение, ясно осознав, что наука о технике не есть приложение к математике и естественной науке, как полагала французская школа, а самостоятельная наука, призванная решать самостоятельные задачи⁴. Фердинанд Редтенбахер из Карлсруэ был одним из первых, кто вступил на этот путь, за ним последовали Юлиус Вейсбах из Фрайберга, Франц Грасхоф из Карлсруэ и Густав Цейнер из Цюриха⁵. В когорте этих ученых был и Франц Рело, пожалуй, самый великий из них, создавший свою теорию кинематики, учение о приводных механизмах машины, внесший принципиально новый взгляд на машиностроение как науку, который, как мы лишь теперь начали понимать, оказался чрезвычайно плодотворным.

Значительное влияние на развитие науки о машинах оказал выдающийся механик и машиностроитель Фердинанд Редтенбахер.

Редтенбахер был учителем Ф. Рело, поэтому мы остановимся на его биографии ниже, в главе 1.

Редтенбахер сумел гармоничным образом объединить свои способности, исследовательскую деятельность, практику, научное производство и понимание ведущих тенденций развития техники, что оказало огромное влияние на становление инженерного мышления, и, как сказано в сообщении Общества немецких

³ Langsdorf C.Ch. Ausführliche System der Maschinenkunde. Bd. I. Heidelberg. 1826.

⁴ Боголюбов А.Н. Теория механизмов и машин в историческом развитии ее идей. М., 1976. С. 400.

⁵ Там же.

инженеров от 18 апреля 1938 г. по поводу 75-летия со дня его смерти, «как никому другому мы должны быть благодарны ему за создание научных основ нашей профессии». Удивительным образом предвидя будущее, Редтенбахер уже в 1852 г. сам определил время возникновения наук, которые сейчас связаны с глобальными проблемами. В первую очередь это касается основ атомной физики.

Ученые немецкой школы попробовали изучать машину со всех точек зрения, учитывая и то, что было сделано зарубежными учеными. В результате этого, единая наука о машинах распадается на ряд специальных наук, и Рело считал большой заслугой Редтенбахера четкое определение задач, стоящих перед каждой из них.

Если мы перелистаем труд Х. Ланца и А. Бетанкура, с которого началось изучение машин и составляющих их механизмов, то обнаружим, что здесь было описано 134 механизма. Книга вышла в Париже в 1808 г. В 1819 г. во втором издании этого труда было описано 152 механизма и к середине XIX века их количество превысило несколько сотен. К этому времени английский механик Р. Виллис исследовал понятие механизма и при исследовании механизмов начал пользоваться математическими методами. Тогда же французские механики Г. Кориолис (1792–1843) и Ж.-В. Понселе (1788–1867) глубоко изучили машину и ее динамику, причем труд Понселе «Прикладная механика» многократно переиздавался и переводился в разных странах Европы и служил высшей школе до 20-х гг. XX века. К середине XIX века была разработана наука о сопротивлении материалов, и трудами великих французских механиков и математиков Лагранжа, Пуассона, Пуансо, Коши и ученика Коши М.В. Остроградского был развит курс аналитической механики. В частности, Остроградским были развиты те вопросы механики, которые нашли себе применение в теории машин – распространение способа возможных перемещений на системы с освобождающими связями, изложение теорем динамики с помощью вариаций координат, происходящих от изменения произвольных постоянных. Остроградским же был сделан шаг вперед в развитии теории ускорений высших порядков. В 1834 г. А.-М. Ампер заявил о необходимости изучения кинематики, для которой он же придумал и название.

В середине XIX века она получает существенное развитие и становится теоретической основой теории механизмов. В 1849 г. инженер-механик, выпускник Политехнической школы Шарль Пьер Лабулэ (1813–1886) опубликовал книгу «Трактат кинемати-

ки или теории механизмов»⁶. В качестве основного классификационного принципа Лабулэ принимает систематику Монжа и пробует доказать априорность принципа Монжа. Так как основным принципом, определяющим все многообразие машин, является преобразование движений, то этот принцип и следует принять в качестве базы для классификации машин.

Начинает свою классификацию Лабулэ с соприкосновения двух элементов механизма, т.е. в сущности, с понятия кинематической пары.

Лабулэ попытался собрать воедино все то, что до него было сделано в технической кинематике. Используя принципы Монжа и Виллиса, он решил объединить их с теорией простых машин, что было совершенно бесперспективно, и, как позже отметил Рело, Лабулэ лишь потому не наделал ошибок, что не применял своих принципов, перейдя к приложениям своих теорий.

В приложении к своему курсу (9-я заметка) Лабулэ ознакомил читателей с исследованиями П.Л. Чебышева по теории шарнирных механизмов.

П.Л. Чебышев в 1853 г. опубликовал в Петербурге на французском языке мемуар «Теория механизмов, известных под названием параллелограммов». Взяв в качестве исходного положения теорию параллелограмма Уатта, примененного последним в паровой машине для преобразования поступательного движения во вращательное, Чебышев обобщил его и создал на этой основе новую математическую теорию – теорию приближения функций полиномами. При этом была разработана и новая теория, обобщающая теорию механизмов и вводящая ее в русло точной науки. Мемуар был опубликован Чебышевым в Петербурге, и Лабулэ решил ознакомить своих читателей с этой новой для теории механизмов теорией.

Как пишет Лабулэ, «исследования господина Чебышева по шарнирным системам, предпринятые с целью изучения параллелограмма Уатта, исключительно интересны не только по своим результатам, но и как общий метод практического применения. В действительности, его исследования привели к такому результату, что можно провести через некоторую точку P с определенным максимальным приближением не только отрезок прямой, но и отрезок любой кривой»⁷. Лабулэ приводит пример параллелограмма, с помощью которого можно провести приближенно циклоиду,

⁶ *Laboulaye Ch. Traité de cinématique ou théorie des mécanismes. Paris. 1849. 3-e ed. Paris, 1878. P. 954–961.*

⁷ Там же.

все элементы которого были вычислены Чебышевым. Он излагает далее метод Чебышева. При этом он приводит знаменитую формулу Чебышева

$$3m - 2(n + N) = 1,$$

где m – число звеньев, образующих механизм, n – число шарниров, связывающих по два звена, N – число шарниров, связывающих одно звено с закрепленным звеном (с неподвижной плоскостью), и рассматривает ее применение для различных случаев.

В 1851 г. академик Артур Морен издал «Элементы кинематики», учебник, который он составил для своих слушателей в Консерватории искусств и ремесел. Морен исходит из принципов Монжа, но группирует механизмы по подобию методов их исследования. В 60-х гг. XIX века развитием кинематики занимались во Франции Шарль Жиро (1818–1879), Жан-Батист Беланже (1790–1874), Гатон де ла Гупийер (1833–1927) и Ж.Э. Бур (1832–1866).

Профессор Московского университета Ф.Е. Орлов (1843–1892) так характеризует кинематику Беланже: «Одна из лучших французских кинематик последнего времени есть кинематика Беланже. Она различает уже движения не по одному направлению, но и по скорости, с которой движение происходит, поэтому он приходит к новому разделению машин на классы, причем, главным образом, различает постоянное и переменное отношение скоростей преобразуемых движений.

Та же самая мысль и почти в то же самое время была принята английским кинематиком Р. Виллисом в «Принципах механики». Нет сомнения, что эта новая система была шагом вперед в изложении кинематики, только относительно внешней стороны изложения. В том виде, в котором ее создали французские писатели, кинематика оставалась описательной наукой, она не имела своей самостоятельной теории, она давала только перечень существующих механизмов в более или менее стройном порядке. Кинематика не имела того существенного характера дедуктивной науки, которым отличается и геометрия, и механика, который состоит в обобщении отдельных явлений или истин, в приведении их в связь и зависимость между собой, в отыскании закона этой зависимости, знание которого даст возможность выводить новые заключения и следствия. Этим характером жизненности, способностью рождать новые истины, конечно, не обладала старая кинематика, почему нельзя было назвать ее наукой, как нельзя назвать наукой перечень фактов, имеющих между собой одну внешнюю зависимость. Правда, во введении в кинематику обыкновенно излагаются основные понятия о движении, независимо от силы, ко-

торая производит движение, некоторые геометрические методы исследования движений и особенно известная геометрическая теория движения Пуансо, но эта часть кинематики стоит совершенно отдельно и без связи с последующим существенным содержанием кинематики – теорией механизмов. Геометрический метод исследования движений, действительно свойственный науке о движении, отвлекающийся от причин этого движения, употребляется только в теории зацеплений, да иногда в теории шатуна и кривошипа. Беланже дает этой общей части науки большее развитие в своем сочинении, отличающемся несомненными достоинствами, и теории механизмов отводит несколько последних страниц, отсылая читателей к синоптическим таблицам, где эти механизмы занесены в таком порядке, что лучшего нельзя желать даже для генеалогической таблицы. Подобные таблицы только тогда имели бы смысл, если бы они были действительно генеалогическими, то есть показывали бы внутреннюю связь между механизмами разного рода и их происхождение одного от другого. Но именно этого недостает французским кинематикам»⁸.

Почти одновременно с Беланже издал свой «Курс механизмов» Гатон де ля Гупийер.

Жюль-Наполеон Гатон де ля Гупийер (1833–1927) был профессором Горной школы, с 1861 г. читал в Сорбонне прикладную механику, член Парижской академии наук (1898). Эта книга интересна как первый университетский учебник по прикладной механике. В 1861 г. курс теории механизмов был включен в программу университетского образования во Франции. Гатон де ля Гупийер называет механизмами передачи от двигателя к рабочему органу и им посвящает свой курс. В дополнение к последнему, он издал «Теоретический и практический трактат о зацеплениях», в котором и рассмотрел механизмы всех видов зацеплений.

Следует отметить, что понятие модуля в зубчатом зацеплении появилось лишь в начале второй половины XIX века, причем первоначально оно применялось для обозначения числа зубьев колес. По этому поводу Гатон писал: «Таким образом, колеса снабжают несколькими зубьями и совершенно естественно, что они должны быть полностью идентичны. Число зубьев имеет для колеса исключительную важность, какой бы ни была природа их очертания. Мы назовем это число модулем соответствующего колеса.

⁸ Орлов Ф.Е. Дневник заграничной командировки. М., 1869–1872. С. 189.

Модуль обязательно получается в целых числах и ниже некоторого предела, который не может быть особенно большим»⁹.

К середине XIX века относится и развитие теоретической кинематики. Она развивалась «рядом» с теорией механизмов и иногда происходил между обеими науками обмен исследуемыми вопросами. В связи с усложнением задач техники из теории механизмов выделилась та ее часть, которая пользовалась геометрическими методами: она послужила основой для разработки графических и графоаналитических методов расчета – кинематическая геометрия и часть, изучавшая приложение анализа к исследованию движений – теоретическая кинематика. Правда, термин «теоретическая кинематика» применялся и в другом смысле (см. далее).

Одной из первых работ, в которых движение было подвергнуто теоретическому изучению, был трактат чистой кинематики Резаля.

Анри Амэ Резаль (1828–1890) – горный инженер, с 1870 г. профессор Политехнической школы, член Парижской академии наук (1873), был редактором математического журнала «Journal de Mathématique». Издал в 1873–1881 гг. «Трактат общей механики» в 6-ти томах. Как позже написал Аппель, с появлением труда Резаля, кинематика окончательно утвердилась в качестве самостоятельного курса.

Таким образом, к середине XIX века французские механики глубоко изучили кинематику как общее учение о движении. Они построили систему аналитической кинематики и заложили основы кинематической геометрии, развили теорию зацепления и занимались построением общей теории пространственного зацепления (Оливье). Вместе с тем развить далее техническую кинематику им не удалось. Несмотря на отдельные достижения, французская теория механизмов не пошла далее варьирования принципов Монжа и Виллиса. И сама техническая кинематика в интерпретации профессоров французской высшей школы оказалась теоретической дисциплиной, слабо связанной с потребностями техники. Для того чтобы поднять науку на более высокий уровень, нужны были новые идеи. Но новые идеи могли возникнуть лишь там, где было глубокое соединение теории с практикой. Этой связи с практикой и не хватало французской механике.

Становление теории механизмов и технической кинематики в последней четверти XIX века тесно связано с именем замечатель-

⁹ Haton de la Goupillière J.N. Traité théorique et pratique des engrenages. Paris, 1861. P. 12.

ного немецкого ученого, механика и машиностроителя Франца Рело.

Экономика Германии в последней четверти века значительно выросла. Таможенный союз 1834 г., объединивший в одну систему большинство немецких государств, и революции европейских государств 1848 г. создали предпосылки для капиталистического развития страны. В течение 50–60-х гг. в Германии утроилась сеть железных дорог, что стимулировало рост черной металлургии, а также внутренней торговли. Запоздавший промышленный переворот также оказался благоприятным для промышленности Германии: это обстоятельство дало ей возможность использовать опыт экономики Франции и Англии. Таким образом, Германия довольно быстро вошла в число основных капиталистических государств мира. Этому способствовали также прекрасная система начального и среднего образования и развитие системы высшего образования, которая, как мы видели выше, быстро начала ориентироваться на техническое образование, прежде всего на математику и математическое естествознание, теоретическую физику и механику. Геттингентский университет и семинар Д. Гильберта быстро стали центром притяжения для математиков всего мира. Здесь же с 1886 г. преподавал Феликс Клейн. Победа в войне с Австрией в 1866 г. и с Францией в 1870–1871 гг. ускорила процесс индустриализации страны и активизировала внимание к развитию образования и науки. После победы над Францией Бисмарк сказал, что войну выиграл школьный учитель. Этим выражением он хотел подчеркнуть то обстоятельство, что школа сыграла исключительную роль в деле создания образованного и дисциплинированного поколения.

Глава первая

Семья Рело. Учеба

История семьи ученого, о котором пойдет речь в книге, началась во Франции в первой половине XVI века. Можно считать, что реформационное движение, социальное по своей сущности, началось 31 октября 1517 г., когда доктор Мартин Лютер прибил к дверям замковой церкви в Виттенберге свои знаменитые 95 тезисов. Они были направлены против разложения, охватившего Римско-католическую Церковь. Через Швейцарию это движение проникло во Францию и нашло здесь благоприятную почву, главным образом, среди средних слоев населения, торговцев, ремесленников, врачей, многих университетских профессоров. Однако оно проникло и в высшее дворянство, особенно в среду тех, которые кормились от военного и флотского дела. Реформатором был и король Наварры Генрих.

Правительства династии Валуа, правившей во Франции, начали ожесточенную борьбу с французскими протестантами, получившими название гугенотов. Апогея эта борьба достигла в Варфоломеевскую ночь – на 24 августа 1572 г., когда в одном Париже было убито более трех тысяч гугенотов, в том числе и их вождь адмирал Гаспар де Шатийон Колиньи. Генрих Наваррский избежал смерти. Вскоре он получил французскую корону, хотя для этого ему пришлось переменить вероисповедание («Париж стоит обедни»). Борьба с гугенотами вновь разгорелась, когда первый Бурбон на троне Франции Генрих IV был убит фанатиком. Установилось неустойчивое равновесие до тех пор, пока при короле Людовике XIV вновь не начались преследования гугенотов, в результате которых (после 1685 г.) многим гугенотам пришлось спасаться бегством в Англию, Голландию, Швейцарию и многочисленные германские княжества и графства. В результате Франция лишилась многих своих искусных ремесленников, а в зарубежных странах появились люди с французскими фамилиями. Впрочем, их потомки от французских гугенотов сохранили лишь фамильные имена и унаследовали ремесленную закалку. Такой была и семья Ф. Рело.

По словам Рело, его род происходил из Эно, франко-бельгийской местности, расположенной между верхним течением Шельды и Самброй. Земля здесь была плодородной, но население кроме сельского хозяйства издавна занималось также ремеслом, добычей и переработкой железа. Родовая фамилия семьи – Ролев, Релеев, Релейв, что означает на местном диалекте водяное колесо. Можно предполагать поэтому, что основной профессией членов этой семьи было сооружение водяных колес, а следовательно, и мельниц.

На рубеже XVII и XVIII столетий водяное колесо было важнейшим промышленным двигателем, а функции мельницы не сводились только к помолу зерна. Мельничная установка была в то время элементарной «фабрикой»: от водяного колеса через зубчатую передачу приводился в действие механизм «рабочей машины». Мельницы были пильные, имевшие механизм для распиловки бревен на доски, пороховые, сукновальные, железодельные, маслобойные и многие другие. Подобная установка сооружалась на месте: машиностроение возникло более чем через сто лет после описываемых событий. Специалист, который умел строить технологические мельницы и ремонтировать их, не мог жаловаться на недостаток работы. Обычно он обслуживал целый район, переходил вместе со своим инструментом из одного поселка в другой и после выполнения заказанной ему работы двигался дальше.

На беду местных ремесленников – гугенотов в конце XVII века король Людовик XIV захватил часть бельгийских земель, и гугенотам пришлось бежать. Сначала они бежали на восток, в область Льежа, не выходя из пределов Бельгии. Здесь родился дед нашего машиностроителя. К этому времени фамилия опять изменилась и приняла форму «Рело». На рубеже веков семейство Рело перекочевало в Германию.

Семья Рело прибыла из Льежа в Эшвейлер по приглашению местного горного управления, которое в 1715–1745 гг. приглашало местных и иностранных специалистов, инженеров и мастеров, чтобы привести в порядок угольные шахты района и откачать воду из 17 затопленных угольных шахт. Тогда в Эшвейлер и прибыл Анри Рело (само слово «Рело» означает «подъем воды»), который и выполнил требуемую работу. Его наследник и племянник Жозеф Рело переехал к нему из Льежа и в 1774 г. построил водяные колеса и привел в порядок водяное хозяйство шахт. В годы Великой Французской революции местность была занята французами, которые ввели здесь французское концессионное право. Тогда же

шахты перешли в собственность некоему Иоганну Петеру Вюльтгенсу. С 1793 г. Ахен был главным городом одного из департаментов республики. Вместе с падением Наполеона закончилась власть французов, и в 1815 г. местность была включена в состав Пруссии.

Наследница Вюльтгенса в 30-х гг. XIX века организовала Эшвейлерскую горную компанию и передала техническое руководство Иоганну Генриху Грэзеру. Таким образом, Жозеф Рело потерял свое место, но он обучил своей профессии трех своих сыновей, которые и остались работать механиками. Один из них, Франц Якоб женился в своем «горном кругу», а его сын Иоганн Иозеф Рело женился на Каролине Элоизе Грэзер (Graeser), дочери технического руководителя шахт семьи Вюльтгенс. Эта пара и была родителями Франца Рело.

Франц Рело родился 30 сентября 1829 г. в Эшвейлере¹⁰ близ Ахена (Aachen): он уже числился немцем, также, по всей видимости, как и его отец Иоганн Жозеф Рело.

Иоганн Иозеф Рело основал один из первых машиностроительных заводов в Германии, он умер в 1833 г., когда Францу было всего четыре года. Завод унаследовал один из братьев отца, и его вдове пришлось оставить этот город.

Местоположение Ахена было очень удачным: недалеко проходила граница Нидерландов. Город был основан римлянами под названием Аквисгранум (лат. *Aquae Granni*) и был первоначально одной из северных римских крепостей и местопребыванием легиона. Затем он стал резиденцией королей франков: Карл Великий сделал Ахен своей столицей. После него императоры Священной Римской империи германской нации короновались в Ахене в императорской капелле Мюнстера. Но в XVI веке, в связи с религиозными войнами и переносом коронации во Франкфурт, Ахен потерял свое значение. В 1636 г. готический Ахен был почти целиком уничтожен пожаром. До 1794г. Ахен имел права свободного имперского города, а в этом году был оккупирован французами. В 1798 г. он был включен в состав Франции в качестве главного города Рурской области. В 1815г. Ахен вновь вошел в состав Пруссии и в 30-х гг. XIX столетия он становится одним из центров индустриального развития Германии.

С древних времен Ахен был центром промышленности, чему способствовали громадные залежи каменного угля, целебные минеральные воды. Здесь были суконовальяльные мельницы, ману-

¹⁰ Эшвейлер (Eschweiler) – город в Рейнской провинции в Западной Германии.

фактуры для производства иголок и прядильные мануфактуры. В первой половине XIX века в Ахене начала развиваться текстильная промышленность, и изделия машиностроительного завода Рело имели рынок сбыта буквально на месте.

После смерти мужа вдова Рело переехала в Кобленц к своим родственникам. Кобленц был основан римлянами как укрепленный лагерь у слияния рек Мозель и Рейн в IX веке до н.э. Город значительно вырос в средние века, когда принадлежал архиепископу Трирскому, имевшему права курфюрста. В годы Великой французской революции он стал центром французской монархической эмиграции. Здесь была создана эмигрантская армия, так называемая «армия принцев» (во главе с принцем Конде), которая в 1792 г. участвовала в австро-прусском вооруженном вторжении во Францию. В 1794 г. французские республиканские войска заняли Кобленц, положив тем самым конец Кобленцской эмиграции, а в 1818 г. Кобленц перешел под власть Пруссии и стал главным городом Рейнской провинции.

Начальную школу Франц Рело посещал в Штольберге вблизи Ахена, а после переезда в Кобленц поступил в Евангелическое высшее училище, в котором ему предстояло проучиться пять лет. Семья, переехавшая в Кобленц, была большой: кроме Франца, у его матери было еще трое детей. В Кобленце она вторично вышла замуж за инженера К. Шолля. Полный курс школы Франц Рело не прошел, он оставил ее и под руководством своего отчима начал изучать машиностроение.

После того, как Франц познакомился с основами машинного черчения, математики и механики, он поступил в конце 1844 г. в качестве ученика в сталелитейную и механическую мастерскую братьев Цилькен; здесь он проработал полтора года. Так начались «университеты» Рело, и он пришел к своим глубоким познаниям в машиностроении, буквально пройдя едва ли не все рабочие места на заводе. Его отчим К.Шолл, главный инженер железодельного завода в Лаухаммере, помог ему получить место ученика на заводе и сообщил ему также некоторые основные сведения из теории машиностроения.

Следующим этапом биографии Рело было его возвращение в 1846 г. в Эшвейлер, где он поступил в качестве ученика на завод, основанный его отцом, в конструкторское бюро. В бюро он проработал два года, а затем перешел в качестве техника в сборочный цех и в течение двух лет занимался сборкой машин. Основным производством Эшвейлерского завода были паровые машины, и можно предполагать, что эта специализация существенно по-

влияла на дальнейшую деятельность Рело. Одновременно он усиленно занимался самообразованием, математикой и механикой, изучал работы Редтенбахера, а в 1850 г. переехал в Карлсруэ и поступил в местный Политехнический институт. На выбор института повлияло, очевидно, то обстоятельство, что именно в Карлсруэ читал лекции сам Ф.Я. Редтенбахер. Несмотря на то, что семья находилась в трудных финансовых обстоятельствах, мать все же нашла возможность собрать необходимые средства, чтобы обеспечить сыну учебу в этом престижном институте.

Заинтересованность Рело производством машин не была случайной. Не говоря уже о том, что построение машин было, в полном смысле этого слова, семейным делом, следует учесть и то, что, начиная примерно с конца 30-х гг. XIX века, в Германии начался промышленный переворот. Правда, в те годы говорить о Германии как о государстве было еще рановато. Вся страна состояла из очень большого числа королевств, герцогств, графств и свободных городов, отгороженных друг от друга таможенными границами. Не было объединяющего центра. Номинальный глава Германии, император в Вене, правил лишь в своей австро-венгерской монархии, а среди германских государств на первое место по величине и влиянию, начиная с XVIII века, выходила Пруссия. Но Пруссия также не представляла собой единого целого: подчиненные ей земли были разбросаны по карте Германии отдельными кусками, с Востока на Запад. Правда, Наполеон в годы оккупации немецких земель основательно перекроил их географическую карту, слив мелкие земли воедино и таким образом уменьшив число самоуправляющихся владений. Однако все же их число оставалось значительным.

Эти остатки феодализма немало мешали течению промышленного переворота. В основном германские земли первой половины века были аграрными, причем с отсталой техникой обработки земли. Мы упоминали уже о заводе Рело как об одном из первых машиностроительных заводов в стране. Паровые машины насчитывались единицами. В ремесле царила цеховая система, основательно препятствовавшая развитию промышленности, причем в великом герцогстве Бадене, столицей которого был город Карлсруэ, цеховая система была отменена лишь в 1867 г.

Крепостное право в Пруссии было ликвидировано в 1807 г. Крестьяне получили личную свободу, но земля осталась в собственности владельцев, и это обстоятельство способствовало образованию ремесленной армии труда. В других немецких госу-

дарствах крепостное право было отменено позже, а в Бадене это было сделано лишь в 1820 г.

Как уже отмечалось во введении, раздробленность германских земель была сильным тормозом их экономического развития; при перевозе товара из Дрездена в Магдебург приходилось многократно оплачивать таможенную пошлину. Всего в Германии в начале века было около 300 государств! Их сокращение в результате преобразований Наполеона значительно уменьшило число таможенных границ, а в 30—40-х гг. был образован Таможенный союз, объединивший 18 государств северной Германии.

Создание Таможенного союза способствовало ускорению промышленного переворота, сначала за счет импортируемой английской техники, а затем путем создания отечественного машиностроения. Важную роль в этом отношении сыграло развитие железнодорожной сети: первая железная дорога в Германии была построена между Нюрнбергом и Фюртом в 1835 г. и имела протяженность 12 км. Но уже в 1848 г. на германских землях было 2500 км железнодорожных путей, для которых на немецких заводах было сооружено около 240 локомотивов. Еще 200 локомотивов были приобретены за рубежом: машиностроение было еще очень слабым.

Впрочем, появлялись и собственные стационарные паровые машины, в результате чего их число от 419 в 1837 г. достигло 1444 к 1849 г. Начали развиваться текстильное производство, станкостроение, точная механика, полиграфическое и некоторые специальные виды машиностроения.

Но экономические неурядицы в промышленности, все еще связанной во многих случаях цеховыми запретами, тяжелое положение крестьянства, лично освобожденного, но лишенного земли, и постоянная безработица городского населения, вызвали ряд волнений, которые весной 1847 г. прокатились по ряду немецких городов. Почти одновременно во Франции и в Пруссии началась кампания, организуемая буржуазной оппозицией, целью которой было введение конституционных ограничений королевской власти. Подобные события происходили и в других немецких землях. Так, в Баденском герцогстве в сентябре 1847 г. в городе Оффенбурге собрался съезд представителей оппозиции. Среди требований были: созыв общегерманского парламента, введение политических свобод и отмена привилегий дворянства, реформа налоговой системы.

Революционный подъем в Европе начался с 1848 г. во Франции. 24 февраля король Луи-Филипп бежал из Парижа, и к власти

пришла буржуазная оппозиция, неоднородная по своему составу, и она сразу же вошла в конфликт с парижскими рабочими. Одним из последствий революции во Франции стало зарождение революционного движения в Германии, а именно в Бадене, граничившем с Францией. 27 февраля 1848 г. в городах Бадена состоялись массовые народные собрания. И на них опять выдвигались требования политических свобод, отмены феодальных повинностей, создания гражданской гвардии, созыва общегерманского парламента. Движение быстро распространилось по немецким землям. В марте в Берлине начали возникать демократические клубы, создавались рабочие организации и братства. В апреле республиканцы в Бадене подняли вооруженное восстание, которое было разбито правительственными войсками.

Однако уже в мае реакция перешла в контрнаступление.

Как известно, в марте в Париже был создан Центральный комитет союза коммунистов под председательством К. Маркса, и к концу месяца была опубликована составленная К. Марксом и Ф. Энгельсом листовка «Требования коммунистической партии в Германии». Среди этих требований было превращение Германии в республику, всеобщее избирательное право, всеобщее вооружение народа. Маркс и Энгельс стремились при этом к объединению всех демократических сил Германии. В апреле–мае того же года местопребыванием Союза коммунистов стал Кельн, где с июня Маркс начал выпускать «Новую кельнскую газету».

Революционная ситуация продолжалась в Германии еще больше года, но движение уже угасало, так как окрепшая власть вновь взяла инициативу в свои руки. Попытки объединения немецких земель, создание так называемого Франкфуртского парламента также ничего не дали. Реакция победила: буржуазия показала, что она еще не способна прийти к власти.

Таким было положение в Бадене к тому моменту, когда туда переехал Франц Рело. Карлсруэ к тому времени стал одним из важнейших центров немецкой науки и культуры. Город был основан в 1715–1717 гг., строился по плану, который был доработан в 1800 г. Схема плана была радиальная: улицы исходили из центра, как из своего начала; на некотором расстоянии от центра их пересекало кольцо. Первоначальный план после 1800 г. был развит Ф. Вейнбрэннером, который украсил город рядом монументальных зданий. Центром города был монастырь XI столетия, в XVI столетии преобразованный в замок, перестроенный в 1750 г. в качестве дворца – резиденции великих герцогов Баденских.

Славой города был Политехникум, созданный в 1825 г. в результате слияния Строительного училища Вейнбрэннера и Ремесленной школы. Для немецких машиностроителей Политехникум был притягательным центром: здесь преподавал Ф. Редтенбахер — один из влиятельнейших теоретиков машиностроения первой половины века.

Фердинанд Якоб Редтенбахер (1809—1863) родился в городе Штейер (Верхняя Австрия), важнейшем центре австрийской металлической промышленности. Его отец, достаточно состоятельный купец Алоис Редтенбахер, относился с подозрением к гуманитарному образованию и считал, что молодой человек должен сам найти себе подходящую профессию. Поэтому в возрасте 11 лет он отдал своего сына к зеленщику в качестве ученика, где Якоб проработал до 1824 г. Однако эти годы торгового ученичества не пропали даром: он не только привык к самостоятельности в труде, но и к самостоятельности в самообразовании. В 1825 г. он решил стать инженером после того, как около года отработал чертежником, а затем мастером в Имперском строительном управлении в Линце. Затем он поступил в Венский политехнический институт, где изучал механику и машиностроение, и одновременно посещал лекции по математике в Венском университете (с 1827 г.). Получив диплом инженера в 1829 г., он был принят ассистентом на кафедру механики и теории машин Политехнического института, которой руководил его учитель Иоганн Арцбергер. В 1834 г. он получил место преподавателя, а затем и профессора прикладной математики в Цюрихской высшей технической школе. Это учебное заведение к тому времени уже приобрело европейскую известность. Одновременно он изучал практическое машиностроение на заводе «Эшер и Висс». В июле 1840 г. Редтенбахера как одного из наиболее авторитетных европейских машиностроителей пригласили на кафедру машиностроения Политехнического института в Карлсруэ, и здесь, в стенах Политехникума он проработал вплоть до своей смерти в 1863 г. Редтенбахер принялся за дело с большой энергией и вскоре создал вокруг себя группу молодых последователей. Редтенбахер читал курсы рациональной механики, общей теории и конструирования машин; с 1857 по 1863 гг. был директором Института. Редтенбахер преобразовывал Политехникум в высшее учебное заведение, где учащиеся тянулись к самостоятельной работе, а исследование и обучение все больше вступали в неразделимые взаимообогащающие отношения. По его предложению в систему обучения была введена новая дисциплина «машиностроение» и увеличился ак-

цент на механические мастерские, хорошо оснащенные моделями и приборами. В его учебных планах Высшей ремесленной школы (одной из пяти школ Политехникума) в первую очередь стояли машиностроение и химия.

Здесь он стал важнейшим воспитателем немецких инженеров: его книги и учебники получили широкое распространение, и многие приезжали в Карсруэ специально для того, чтобы прослушать его лекции, в том числе и некоторые наши соотечественники, как, например, А.И. Сидоров, И.А. Вышнеградский. Его лекции отличались тем, что он давал теоретические сведения в такой форме, которая вполне была пригодна для практического использования. Он решил представить все машиностроение в виде точных, но легко запоминаемых правил.

Редтенбахер был теоретиком, но на его лекциях чувствовалось влияние идей Парижской политехнической школы. Однако еще в бытность свою в Цюрихе, он почувствовал, что идеи классиков, которыми было так богато преподавание в Политехнической школе, следует сочетать с методами английских инженеров-практиков. Эти идеи он применил на практике при организации Берлинской ремесленной академии – Берлинской высшей технической школы в Шарлоттенбурге (в которой затем пришлось работать его ученику Францу Рело). Важнейшим трудом Редтенбахера стало сочинение «Принципы механики» (1852), за которыми последовал трехтомный курс инженерного проектирования «Машиностроение» (1862–1865). В 1857 г. он был избран директором Политехникума и смог на практике применить свои идеи по воспитанию инженеров. Влияние его не ограничивалось Карсруэ и Берлином: его испытали многие немецкие высшие технические школы, в частности по его идеям был преобразован и Цюрихский политехнический институт.

Редтенбахер был первым ученым, задумавшимся над проблемой технического мышления. Его идеей было создание научного машиностроения, которое представляло бы собой гармоничное сочетание теории и практики. Этому способствовало также то, что Редтенбахер был всесторонне образованным человеком: он прекрасно знал литературу, историю философии, историю искусства. Он был художником-любителем и, как говорили его ученики, его построения на чертежной доске были маленькими шедеврами. Редтенбахер любил музыку, в особенности сонаты Бетховена. Он был талантливым педагогом и прекрасным лектором.

Его представления о том, что механика должна стоять в центре прогрессивной картины мира и быть фундаментом для других

наук — от физики и химии до психологии и философии, основывались на представлениях европейского либерализма о гуманизме и развитии современного человечества. Идеи Редтенбахера в области машиностроения еще много лет спустя после его смерти оказывали влияние на многих ученых.

Характерную оценку его «Принципов» дал известный русский машиновед профессор А.И. Сидоров¹¹, который оценил эту книгу как эпохальное произведение, существенно повлиявшее на развитие науки о машинах, и, составляя свой труд по проектированию и конструированию машин, пошел по стопам Редтенбахера.

Если Вейсбах оказал большое влияние на развитие методов расчета машин, то влияние Редтенбахера было сильнее и глубже. Можно сказать, что в 50–60-х гг. XIX века германская техническая школа перестроила свое преподавание в духе Редтенбахера, а институт в Карлсруэ стал образцом подготовки инженеров для промышленности.

Большой заслугой Редтенбахера является то, что он внес ясность в определение понятий механизма и машины. «Многообразные механизмы движения, — пишет он, — которыми пользуются для устройства рабочих машин, не должны изобретаться каждый раз заново. Однако в свое время это было необходимо, когда были изобретены паровые и прядильные машины, ибо тогда были известны лишь немногие механизмы для преобразования движений. Теперь же известно очень много разнообразных механизмов и всегда можно отыскать такой, который подходит в частном случае. Таким образом, лишь для совершенно необычных условий движения действительно необходимы новые изобретения, и весьма полное и ясное знакомство с изобретенными до настоящего времени передаточными механизмами, служащими для устройства рабочих машин, является чрезвычайно важным»¹².

Эта мысль Редтенбахера весьма интересна. Дело в том, что в середине XIX века учение о машинах «стояло на перекрестке» и не определило еще своего пути. Требованиям Редтенбахера в изложенном контексте удовлетворял только трактат Ланца и Бетанкура «Курс построения машин», вышедший в Париже в течение первой половины XIX века тремя изданиями и существенно повлиявший на развитие учения о механизмах. Но у знаменитого трактата была своя «ахиллесова пята»: он действительно пред-

¹¹ Сидоров А.И. Основные принципы проектирования и конструирования машин. М.: Макиз, 1929.

¹² Redtenbacher F. Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaues. Mannheim, 1852. S. 279.

ставлял собой сводку всех известных к тому времени механизмов, но составленную описательным методом.

При определении понятия машины Редтенбахер исходит из механического процесса, сущностью которого является или перемещение в пространстве, или формообразование (эти идеи Редтенбахера оказали большое влияние и на творчество Рело). «В механическом процессе, производимом действием некоторой машины, — пишет Редтенбахер, — принимают участие тела троякого вида, а именно: 1) мотор, который содержит в себе активный принцип, 2) тело, которое должно изменяться и которое является противодействием, 3) посредствующая машина, связанная с одной стороны с мотором, а с другой — с изменяемым телом. Эти немногие замечания о цели машины заставляют признать, что она в механическом процессе не действует как активная сила, а лишь воспринимает развиваемое мотором действие, которое и передает изменяемому телу»¹³.

На первый взгляд, это определение напоминает обычное, «устоявшееся» в технике еще с XVIII века: двигатель, передача, рабочий орган. Но на самом же деле это определение, имеющее несомненное сродство с определением Эйлера: «в каждой машине следует различать и отдельно изучать три элемента, в совокупности представляющих машину, — силу, приводящую машину в движение, строение самой машины и силы сопротивления, преодолеваемого машиной»¹⁴.

Новым, по Редтенбахеру, является включение в состав машины (или машинного агрегата) обрабатываемого (тела) материала. Мысль эта, развития в середине XX века в связи с положениями механики тела переменной массы, для XIX века была высказана слишком рано, и, как мы знаем, развития не получила. Впрочем, ее автор сам это заметил и через пару страниц ввел исправления: «...полная совокупность машин состоит из следующих существенных составных частей: 1) для простого рабочего процесса — из силовой машины, трансмиссии и орудия; 2) для сложного рабочего процесса — из силовой машины, трансмиссии и рабочей машины; 3) для системы рабочих процессов — из силовой машины трансмиссии и системы рабочих машин»¹⁵.

Исходя из этих принципиальных положений, Редтенбахер пришел к выводу, в некотором отношении противоречащему его

¹³ Vgl. d. S. 203.

¹⁴ Euler L. De machinis in genere // Novi Commentarii Academiae Scientiarum Petropoe. 1753. Т. III. P. 18.

¹⁵ Redtenbacher F. Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaues. S. 205.

же положению о необходимости знать механизмы. Он утверждает теперь, что классифицировать механизмы нельзя и рассматривать их следует лишь в процессе практического применения. Теория же машин должна соответствовать приведенному выше делению. Таким образом, единой науки о машинах нет, она состоит из нескольких специализированных наук, и Рело считал большой заслугой Редтенбахера четкое определение задач, стоявших перед каждой из них.

Подготовка Рело, с которой он пришел в Политехникум, была едва ли основательной, и поэтому ему пришлось интенсивно работать те два года, которые он пробыл в Карлсруэ. И влияние Редтенбахера на Рело, равно как и на всех других студентов, было значительным. Дело в том, что институт в Карлсруэ был создан как ремесленное училище и лишь в результате усилий Редтенбахера, начиная с 1841 г., стал высшей школой. Редтенбахер настоятельно требовал от студентов изучения математики. Сам он глубоко овладел математикой и физикой и учил своих слушателей основательно изучать эти науки, которые в дальнейшей их практической работе окажут большую помощь. Влияние Редтенбахера на студентов объяснялось не только его глубокими знаниями учения о машинах, одним из творцов которого был он сам. Студентам импонировала также его высокая культура. В сущности, он был одним из первых техников, которые не ограничивали себя своей специальностью, а старались определить значение техники для общей культуры и установить связь между техникой и гуманитарными науками в процессе образования и в жизни. Он говорил: «Мои стремления как учителя направлены не только к научной теории машин, я мечтаю о повышении культуры техников».

Следуя советам своего учителя, Рело одновременно с техническими предметами изучал историю и языки: он достаточно хорошо овладел английским языком.

В одном письме его матери к профессору Г. Цейнеру, написанном ею в 1856 г., она сетует на то, что ее сын «к сожалению, слишком усердствует в учебе, так что его неукротимое желание учиться вызывает тревогу за его здоровье»¹⁶.

В 1852 г. Рело завершил курс Политехникума с отличным дипломом и продолжил изучение математики и философских наук сначала в Берлине, а затем в Бонне, конечно, не без влияния Редтенбахера, который искусно и ненавязчиво умел вплетать в свои

¹⁶ Цит. по: *Weine C. Franz Reuleaux und die Grundlagen seiner Kinematik*. – «Deutsches Museum. Abhandlungen und Berichte». Berlin: VDI-Verlag GMBH, 1942/14, Jahrgang. Heft 4. S. 84.

лекции по предмету размышления на общие темы. И в том же, присущем ему, блестящем стиле, который однажды кто-то назвал «мощной рекой, берущей свое начало у Гёте», мировоззрение, безусловно, отразилось на творчестве Рело.

Итак, в 1852 г. Рело поступил в Берлинский университет, где прослушал ряд лекций по математике.

По характеру своей организации Берлинский университет не представлял свободной корпорации, это было учреждение правительственное. Идея об основании в Берлине университета зародилась в момент политического упадка Прусского королевства; ближайшим поводом было прекращение деятельности университета в Галле, существовавшего с 1694 г. После Тильзитского мира Галле перешел к вновь образованному Вестфальскому королевству, университетские занятия прекратились, и стало необходимым использовать университетские научные силы, создав университет в Берлине. Когда в августе 1807 г. было сделано соответствующее представление Прусскому королю Фридриху Вильгельму III, то, говорят, король воскликнул: «Это – превосходно, превосходно! Государство должно возместить духовными силами то, что оно потеряло морально». Само собой понятно, что до тех пор, пока Берлин был занят французами, не могло быть и речи об открытии университета; наконец, 3 декабря 1808 г. французы оставили Берлин, а с 20 февраля 1809 г. на пост министра народного просвещения был призван Вильгельм фон Гумбольдт, «государственный муж с Перикловым величием духа». Тогда дело организации университета в Берлине пошло быстрыми шагами: подыскивается подходящее помещение (дворец скончавшегося принца Генриха, брата Фридриха Великого), приглашаются профессора, устанавливается связь нового учреждения с Академией наук и искусств, с королевской библиотекой. Наконец, 16 августа 1809 г. последовал королевский указ, утверждавший все предложения Фридриха Вильгельма III и Вильгельма фон Гумбольдта (1767–1835) и первоначальный штат профессоров.

Среди германских университетов Берлинский был одним из самых «молодых»: он был основан в 1810 г. В отличие от старых университетов, он был организован по более широкой программе, свободной от остатков традиций Средневековья. Гумбольдт имел тесные связи с передовой немецкой интеллигенцией того времени, в частности он состоял в переписке с Гёте и Шиллером. Будучи директором департамента просвещения и исповеданий в прусском министерстве, он связался с рядом выдающихся деятелей просвещения. Среди них были И. Фихте, Б. Нибур, Ф. Савиньи,

Ф. Шлейермахер, Ф. Вольф и другие. Лекции в новом университете начались 15 октября 1810 г. В это время Гумбольдт уже оставил пост министра народного просвещения, но все, что касалось организации университета, им было подготовлено и обеспечило дальнейшее развитие университета.

Созданный таким образом университет имел, как и задумал его организатор, философски-гуманитарное направление. Положение это начало меняться, когда брат Вильгельма Александр фон Гумбольдт (1769–1859) выступил в Берлине с рядом лекций, которые он читал как член Берлинской академии. Путешественник и естествоиспытатель, ученый разносторонних знаний, Александр Гумбольдт около двадцати лет прожил в Париже, близко сошелся с элитой французской науки и оказался в самом центре мировых исследований в области физики, математики, химии, каким был Париж первой четверти XIX века.

В 1826 г. по приглашению прусского короля Фридриха Вильгельма III Александр Гумбольдт переехал в Берлин и в 1827/28 гг. в большой аудитории университета прочитал курс лекций «О физическом описании мира», посвященный общности сил природы, действующих на Земле. Эти лекции, которые он сам назвал «Лекциями о Космосе», привлекли очень большое число слушателей и стали событием в культурной жизни столицы Пруссии. Кроме того, они стали важным этапом в становлении в Берлинском университете естественнонаучных исследований. Университет вместе с идеалистической философией и с историческими исследованиями, проводимыми в его стенах, становится с этого времени центром материалистически-экспериментального изучения природы. С этой точки зрения Александр Гумбольдт стал вторым основателем Берлинского университета. Университет стал важным центром математического естествознания, и к тому времени, когда в него пришел Франц Рело, университет приобрел значительный авторитет в математике.

Свобода учения заключалась в том, что «учебные планы, программы лишь рекомендуются правящей профессорской коллегией, но самому учащемуся предоставлялось право избрать из рекомендуемого материала то, что он пожелает, или что ему нужно непосредственно для тех или других его целей. Каждый студент избирал из расписания лекций определенные предметы и практические занятия»¹⁷.

¹⁷ Курилов В.В. Столетний юбилей Берлинского университета 1810–1910. Варшава, 1911. С. 10.

Здесь работали тогда К.В. Борхардт, П.Г. Дирихле, Р.Ф. Клебш.

Карл Вильгельм Борхардт (1817–1880), ученик К.Г. Якоби, в 1848 г. получил профессию в Берлине. Здесь он читал алгебраический анализ, теорию эллиптических функций и теорию движения упругих тел. Его исследования были посвящены широкому кругу математических вопросов, небесной механике, в частности секулярным пертурбациям планет, теории Абелевых трансцендентностей, определенному интегрированию, алгебре. С 1855 г. он был главным редактором «Журнала чистой и прикладной математики», основанного А.Л. Креллем. При этом Борхардт тратил и свои личные средства на издание журнала. В 1856 г. Борхардт был избран в Берлинскую академию наук.

Петер Густав Лежен Дирихле (1805–1859) с 1831 по 1855 г. преподавал в Берлинском университете. Он был членом Берлинской академии наук, читал лекции по математическому анализу, теории дифференциальных уравнений, теории чисел. В области математического анализа Дирихле впервые точно сформулировал понятие условной сходимости ряда, доказал возможность разложения в ряд Фурье кусочно-непрерывной и монотонной функций. Ввел интеграл с ядром Дирихле. В теории чисел и теории гармонических функций применил принцип Дирихле. Разработал теорию рядов Дирихле. В теории гармонических функций развил задачу Дирихле. Его имя связано с рядом положений теории чисел, математического анализа, теории функций.

Таким образом, Франц Рело от Редтенбахера попал в Берлине под влияние замечательных математиков. Следует отметить, что в 1852 г., в год пребывания Рело в Берлине, там работали еще два видных математика Р.Ф. Клебш и А.Л. Крелле.

Рудольф Фридрих Клебш (1833–1872) был специалистом в области теории упругости, геометрии и вариационного исчисления. В своей «Теории упругости твердых тел» значительное внимание уделил построению математических методов, рассмотрел двухмерные задачи деформации тонких стержней и тонких пластинок. Он исследовал также ряд задач проективной геометрии.

К Берлинскому университету имел отношение и Август Леопольд Крелле (1780–1855), как член Берлинской академии наук (с 1827 г.) и как советник министерства просвещения Пруссии по вопросам преподавания математики. Он известен как основатель «Журнала чистой и прикладной математики» (журнал Крелле).

Кроме изучения основных предметов, Рело много работал над самообразованием, совершенствуясь в различных направле-

ниях инженерной и общей культуры. Еще в Карлсруэ он, кроме машиностроения, изучал гидротехнику и мостостроение (очевидно, продолжая основную деятельность семьи Рело), архитектуру, химическую технологию, минералогию. Кроме того, в числе его любимых предметов были гуманитарные науки – география, история, английский язык.

После изучения математики в Берлинском университете, в 1853 г. Рело переехал в Бонн.

Тогда это был небольшой город в рейнской провинции Пруссии с населением не выше 30 тыс. человек. Здесь родился Бетховен. Очень удачное местоположение, судоходство по Рейну и ряд памятников архитектуры привлекали в Бонн многих иностранцев.

Боннский университет был основан дважды. В 1786 г. его основал архиепископ Максимилиан, но в годы французской оккупации он был преобразован в лицей. Вторично его открыл в октябре 1818 г. прусский король Фридрих Вильгельм III как высшую школу для западных провинций Пруссии. В качестве помещения университет получил огромный (500 м по фасаду) дворец курфюрстов.

Рело приступил в Бонне к изучению естествознания и философии, особенное внимание он уделял изучению логики.

На этом и закончилась учеба Рело, дальше была работа.

Глава вторая

Инженер Кёльнского машиностроительного завода

В годы своей учебы в Политехническом институте в Карлсруэ Франц Рело вместе со своим товарищем К.И. Моллем основал союз студентов-машиностроителей, члены которого изготовили чертежи различных машинных конструкций, которыми пользовался на своих лекциях сам Редтенбахер. При этом Редтенбахер считал, что работа, выполненная его учениками, принадлежит ему лично, и это обстоятельство вскоре послужило причиной первой (но не последней) крупной неприятности, с которой Рело пришлось столкнуться на своем жизненном пути. Уже в год своего пребывания в Бонне Рело вместе с Модем начал публиковать в различных журналах те материалы, которые впоследствии и составили «Учение о конструировании для машиностроителей». Все это, с добавлением неопубликованных материалов, Рело собрал в книгу, которая и была издана в 1854 г. и получила широкое распространение в Германии и за рубежом.

Редтенбахер выступил с протестом против публикации своими учениками как журнальных статей, так и книги. Он считал, что в книге были собраны те материалы, которые он излагал на своих лекциях и, таким образом, издание без упоминания его имени как автора было плагиатом. Редтенбахер был обижен, так как незадолго до этого времени он опубликовал второе издание своих «Результатов для машиностроения», а также свою знаменитую книгу «Принципы механики и машиностроения». Помимо этого, он также работал над трехтомным трудом «Машиностроение», который публиковался в 1862–1865 гг. Иначе говоря, ученики уже стали конкурентами своего учителя.

Редтенбахеру не понравилось то, что Рело и в расположении материала, и в его трактовке приблизился к его лекциям. Если сравнить труды Редтенбахера с первой работой Рело, то, на первый взгляд, становится ясно, что план и порядок изложения заимствованы у Редтенбахера, но более глубокое ознакомление с трудами обоих ученых выявит разницу, причем весьма существенную.

Книга Рело хотя и была основана на утверждении Редтенбахера о необходимости рассматривать машину как нечто самостоятельное, тем не менее, он шел намного дальше этого утверждения, и заключалось это в том, что он сместил главенствующую математику, за которой признавалось первенство, и выдвинул на передний план конструирование. Машину как таковую и ее детали нужно показать так, чтобы конструктор непосредственно мог черпать необходимые правила для своей работы. Соответственно, нарисованные на 35 таблицах чертежи были выполнены тщательно и наглядно, и общее сопротивление материалов (теория прочности) как введение в практическое конструирование предваряет книгу.

Новая книга своей простотой и доходчивостью, ясностью основной мысли, своей «находчивостью», как Рело сам как-то сказал, снискала огромное уважение в мире специалистов.

Для этого надо вспомнить историю становления науки о машинах. Первые учителя машиностроителей – А. Бетанкур и Х.М. Ланц, Ж. Ашетт, Ж. Кристиан, Д. Борньи и Р. Виллис, обращали основное внимание на конструктивные особенности деталей машин и их совокупностей, то есть механизмов. Они использовали математику крайне редко, можно сказать, в исключительных случаях. Но если мы просмотрим третий том «Истории математики» Ж. Монтьюкла, изданный Делаландом в 1802 г., то обнаружим, что элементы учения о машинах включены в эту работу. Следует отметить, что на протяжении всего XVIII века наука о машинах включалась в механику, но с первых своих шагов она отдалялась от математики. Со второй четверти века машиноведы стали пользоваться математикой; французские ученые начали вводить в науку о машинах математические методы, П.Л. Чебышев также выступил со своей теорией синтеза механизмов, а к середине века Редтенбахер стал одним из пропагандистов математизации учения о машинах. В одном из писем своему сыну Рудольфу Редтенбахер писал, что нашел способ изложить всю науку о машинах при помощи точных правил, учитывая то, что «математика не является роскошью и что с ее помощью в машиностроении можно кое-что достичь, если только не забывать о практике и точно знать, что именно необходимо для жизни»¹⁸.

В журнале Политехнического института Карлсруэ Брауэр писал о Редтенбахере (в майском номере 1899): «Было почти невозможно, чтобы он при позднейших своих глубоких изучениях аб-

¹⁸ Цит. по: *Weine C. Franz Reuleaux und seine Kinematik*. Berlin, 1925. S. 9.

страктных наук, в особенности математики и физики, мог забыть, что при абстрагировании наука проходит только половину своего пути и лишь при сочетании ее результатов с теми проблемами, которые ставит жизнь, она достигает своей цели, что замыкает круг, которому она должна служить, чтобы не быть только игрушкой человеческого ума. Такой человек, как Редтенбахер не мог удовлетвориться первой половиной пути, и когда он хотел воспитать своих учеников, он настаивал, чтобы они ознакомились со всем путем науки»¹⁹.

Таким образом, для своего времени Редтенбахер математизировал науку о машинах более чем полно. Затем возникло направление, которое возглавил Рело, искавший ответ на свои вопросы в конструктивных построениях. Но уже в конце XIX века в творчестве П.Л. Чебышева и Л. Бурместра наука о машинах опять переходит на математические рельсы, и практика следующего XX века показала, что все же Редтенбахер был прав и математика не была ни в коей мере роскошью. Но, конечно, излишнее абстрагирование в такой связанной с практикой науке, как учение о машинах, не могло решить всех ее задач, что и доказал своим творчеством Рело.

Ф. Рело пользовался в своих трудах математикой, но лишь там, где это необходимо, и в соответствующем объеме. При определении размеров отдельных деталей Редтенбахер выработал систему относительных чисел. Рело же редко применял отношения при конструировании отдельных деталей.

Обиду Редтенбахера несложно понять: его ученик, только что вставший со студенческой скамьи, покушается сам обучать тому предмету, которому учился у него, у Редтенбахера! Даже великий Гёте был обижен, когда молодой Гейне сообщил ему, что начал писать драму на тему Фауста. Ведь это был шедевр великого писателя, выстраданный всей его жизнью, над которым он работал с 1773 по 1831 г. и закончил в возрасте 83 лет, за год до своей смерти.

Не только в отношении к математике заключалось разногласие между Редтенбахером и Рело. Рело подходил к изучению и расчету деталей машин, исходя из их формы и законов прочности. Он считал, что каждая машинная часть нуждается в индивидуальном исследовании, что цель учения о машинах состоит не только в знании их свойств, но и в обобщении фактов.

Наоборот, и это весьма существенно, Редтенбахер ввел (в находившийся в те годы в процессе становления курс деталей ма-

¹⁹ Vgl. d. S. 13.

шин) метод относительных размеров, с которым Рело в общем не соглашался.

Нужно сказать, что учение о машинах возникало в первой половине века «с большим скрипом». В технике в те годы происходили глубокие и всеобъемлющие преобразования, приходилось отказываться от старых традиций, на бегу создавать кадры и обучать совершенно новым профессиям.

Как уже упоминалось во введении, в XIX веке французские ученые круга Политехнической школы, возглавляемые Монжем, начали с систематизации «элементарных машин». Начиная с 1825 г., Ж. Понселе разрабатывает динамику машин. Он же начинает расчет частей машин, пользуясь учением о сопротивлении материалов и теории упругости. В 1841 г. английский ученый Р. Виллис вводит понятие механизма и пытается создать теорию механизмов.

В конце XVIII в. число машин возросло, паровая машина стала основным и универсальным индустриальным двигателем: она проникла в морской транспорт, заменила старый движитель – парус – паровым двигателем. На железных дорогах поезда вели опять-таки паровые машины, поставленные на колеса – локомотивы. Увеличилось число машин, производящих все более сложные и все более разнообразные технологические операции. В связи с железнодорожным строительством быстро выросла потребность в стали и железе, в каменном угле, а это, в свою очередь, вызвало к жизни новые горнозаводские и металлургические машины.

И перед машиноведами встала все та же неразрешенная задача: что представляют из себя машины, что в них следует изучать, как их разделить на части, как их классифицировать, чтобы развитая таким образом теория помогала конструкторам в их практической работе. Отметим, что на немецких землях (которые еще трудно назвать Германией) в первой половине XIX века было опубликовано несколько работ по машиностроению.

Так, в 1821 г. профессор Тюбингенского университета Иоганн Генрих Поппе (1776–1854) опубликовал энциклопедическое руководство по машиностроению. По его мнению, все машины можно составить из простых машин: в этом отношении он полностью согласен с учеными XVIII века и даже несколько отстал от них. Но нужно сказать, что таковым было мнение и других немецких авторов книг по теории машин. Отличались они лишь числом тех простых машин, к которым авторы книг относили состав всех сложных. Поппе считал, в частности, что все они могут быть сведены к двум: к рычагу и наклонной плоскости.

Другой машиновед профессор Эрлангенского университета Карл Христиан Лангсдорф (1757–1834) занимался механикой, математикой, технологией, физикой и гидравликой. Он преподавал математику в Гейдельбергском университете. В своем трактате он писал: «В трактатах, даже самых старинных, машины делятся на простые и сложные, причем эти последние считаются составленными из комбинаций некоторого числа простых машин. Простые машины при этом включают рычаги, шкивы, наклонные плоскости, клинья, винты и ворота. Наклонная плоскость, поскольку она находится в состоянии покоя, все же не должна включаться в подобную классификацию, ибо в таком состоянии она не может входить в состав машины... Клин представляет собой наклонную плоскость и очевидно, что отнести его к иному виду простых машин нельзя»²⁰. Подобного мнения придерживались и другие авторы.

По поводу определения машины и ее состава велись ожесточенные споры, в результате которых выяснилось одно обстоятельство: для того, чтобы созидать машины, надо хорошо знать те части, из которых они состоят. Этот вопрос как раз и не был ясен для машиноведов, которые пользовались «старинными трактатами». А когда они от «теории» перешли к «практике», то обнаружили, что никаких «простых машин» в составе «сложных» нет, а есть части или детали, из которых и состоят машины. Но уже и тогда, в первой половине века было найдено, что таких деталей очень много и все они разнообразны и по своей форме, и по размерам. Однако есть и такие детали, которые входят в состав подавляющего большинства машин, причем зачастую их значение оказывается весьма важным. Интерес машиноведов привлекли именно эти детали: мы видели уже, что ими занимался Понселе (значительно раньше их досконально изучил, хотя еще без какого-либо расчета, Леонардо да Винчи).

В Берлине Н. Зальцбергер издал в 1842 г. «Лекции по машиностроению»²¹, большая часть которых была посвящена деталям машин. Машину Зальцбергер определяет как соединение движущихся тел, на которые действуют силы, для произведения некоторой работы, выражающейся в изменении местоположения тела или его формы. Значительную часть книги автор посвящает зубчатым зацеплениям²², ременной и фрикционной передачам, регулированию вращательного движения.

²⁰ *Lagsdorf C. Ch. Ausführliche System der Maschinenkunde. Bd. I. Heidelberg, 1826. S. 277.*

²¹ *Salzenberg N. Vortage über Maschinenbau. Berlin, 1842.*

²² *Vgl. d. S. 77–162.*

Рассматривая преобразование движений, Зальцбергер указывает, что при этом надо учитывать не только скорость и направление движения, но и его вид. Он считает, что в машиностроении есть два основных вида движений: вращательное и поступательное. Здесь он возвращается к принципам Монжа.

Важный вклад в создание учения о машинах и о частях машин сделал профессор Фрайбергской горной академии Юлиус Людвиг Вейсбах (1806–1861). Вейсбах окончил курс Горной академии, после чего слушал лекции в Геттингенском и Венском университетах. В 1833 г. он получил в Горной академии кафедру прикладной механики и горных машин, читал также маркшейдерское искусство, кристаллографию, начертательную геометрию и машиноведение. Выдающийся лектор, Вейсбах обладал большим педагогическим талантом: его произведения в XIX веке считались классическими. В 1836 г. он издал «Руководство по горной механике», в котором впервые математический анализ нашел себе применение в вопросах практического машиностроения. Более элементарное изложение было принято Вейсбахом в его главном труде – «Учебнике инженерной и машинной механики»²³, издававшемся в течение пятнадцати лет с 1845 по 1860 г. Кроме этих основных работ, Вейсбах опубликовал еще более 50 статей, главным образом, в журнале «*Civilingenieur*». В 1859 г. Лейпцигский университет присвоил Вейсбаху степень доктора гонорис кауза (*honoris causa*). Вейсбах был членом ряда академий и, в частности, членом-корреспондентом Петербургской академии наук (1855). Учениками Вейсбаха были, в частности, Г. Цейнер, М. Рюльман, И.А. Тиме.

«Учебник... механики» вскоре после выхода в свет был переведен на русский²⁴ и другие языки. В самой Германии он выдержал несколько изданий. Он содержал основы теоретической механики с приложениями, гидравлику, сопротивление материалов, строительную механику, механику машин с очень подробным изложением деталей машин, теорию подъемно-транспортных машин, гидравлических и паровых машин. Несмотря на очень большой объем труда (около 4000 страниц), в нем мало общих рассуждений: он посвящен именно практике инженерного искусства.

Объект своего исследования – машину Вейсбах определяет так: «Все искусственные приспособления, посредством которых дается возможность силам производить механические работы, называются машинами. Сооружения отличаются от машин тем, что

²³ *Weisbach J. Lehrbuch der Ingenieur und Maschinenmechanik. Bd. I – III. 1845–1860.*

²⁴ *Вейсбах Ю. Теоретическая и практическая механика. Т. I–III. СПб., 1859–1863.*

их целью является восстановление состояния равновесия между силами, проявляющимися от взаимного действия различных тел. Инструменты, в сущности, не отличаются от машин: они служат для произведения небольших работ руками человека»²⁵. Такое определение, в котором сливаются воедино все искусственные приспособления: здания, машины и инструменты, было характерно для немецких механиков середины XIX века. Впрочем, Вейсбах использует и анализ машины, разработанный французскими учеными.

В каждой машине обыкновенно различают три главные части. Первая часть принимает действие силы и поэтому называется приемником; вторая часть служит для непосредственного производства работы и по сему называется орудием или исполнительным механизмом; наконец, третья часть служит для соединения первых двух, передавая движение приемника исполнительному механизму, она называется приводом или передаточным механизмом. Так, в обыкновенной мукомольной мельнице вододействующее колесо есть приемник, постав, размалывающий зерно – исполнительный механизм, а система зубчатых колес, расположенная между вододействующим колесом и веретеном постава, – привод или передаточный механизм²⁶. Вейсбах указывает затем, что машина не обязательно должна иметь все три составные части, существуют и такие машины, у которых нет одной части или все части слиты вместе. В качестве примера Вейсбах приводит тачку, у которой, по его мнению, рукоятки являются приемником, колесо – орудием, а корпус – передачей.

Первая часть третьего тома Вейсбаха посвящена механике привода. Автор утверждает, что двигатель может сообщить машине лишь вращательное и прямолинейное возвратно-поступательное движение. Поэтому задачей привода и является преобразование этих движений в такие, какие необходимы для правильного функционирования исполнительного органа машины. Одновременно автор излагает учение о деталях машин, не пользуясь никакой классификацией, а детали собирает в группы по подобию методов исследования. Но и от этого принципа он иногда отступает. Так, червячную передачу он изучает не в главе о зубчатых зацеплениях, а в разделе винтовых передач, хотя и замечает при этом, что если рассечь червячную передачу плоскостью, проходящей через ось червяка, то поперечное сечение его станет «похожим на зубчатую полосу» и поэтому поперечный профиль передачи можно начертить при помощи изображения зацепления колеса и гребенки.

²⁵ Там же. Т. II. С. 304.

²⁶ Там же. Т. III. С. 208.

Теорию зубчатых передач Вейсбах излагает подробно. О профилировании зубьев он пишет: «Очертания зубьев по развернутой дуге круга во всяком случае совершеннее всех других способов; оно уступает только в этом эпициклическим зубьям, что доставляет более длинные зубья и поэтому требует большего числа зубьев сравнительно с последним»²⁷. Конические колеса, их теорию и метод приближенного построения Вейсбах излагает по Т. Тредгольду, теорию эксцентриков и кулачков – вместе с кривошипам, ибо последние «весьма незначительно отличаются от эксцентриков».

Редко встречающиеся в машинах приводы описаны в шестой главе. Здесь автор описывает эллиптические, спиральные и другие колеса специальных форм, приводы с перерывами, движения с выстоями, эпициклические и дифференциальные механизмы.

В конце раздела описываются регуляторы и маховые колеса.

Вторая часть третьего тома содержит механику исполнительных механизмов, которые Вейсбах делит на две группы: 1) для передвижения и 2) для изменения вида предметов. Следуя своему принципу построения машин, в раздел о грузоподъемных машинах автор включает рычаги, а в раздел о машинах для перевозки грузов – все перевозочные средства от тачки до локомотива. Эта группа машин описана достаточно подробно, чего нельзя сказать о машинах второй группы, то есть технологических. В соответствующем разделе автор ограничивается описанием толчей и нескольких типов молотов.

Важную роль сыграл в деле развития учения о деталях машин труд инженера Ф.К. Вибе «Учение о простых деталях машин»²⁸, вышедший в свет в 1854 г. Карл Вибе (1819–1881) учился в Берлинском ремесленном институте по 1842 г., затем там преподавал. С 1858 г. издавал сборник эскизов для инженеров и машиностроителей²⁹.

Следует указать еще на работу профессора Венского политехника и члена Венской академии наук Адама фон Бурга (1797–1882) – «Руководство по элементарной механике и машиноведению» (1846) и его же «Учебник машиноведения» (1856). Позже профессор П. Каммерер говорил в своей речи в честь Ф.К. Вибе, о том, что работы о деталях машин, появившиеся перед 1850 г., дают в общем описание тех деталей, которые встречаются в составе мельниц и толчей, водяных и ветровых установках. Однако

²⁷ Вейсбах Ю. Теоретическая и практическая механика. СПб., 1863. Т. III. Отд. I. С. 208.

²⁸ Wiebe F.K. Lehre zu den einfachen Maschinenteilen. Bd. 1–2. Berlin, 1854–1860.

²⁹ Scizzenbuch für Ingenieur und Maschinenbauer. Опубликовано 133 выпуска.

размеры даются как неизменные опытные величины, о расчетах прочности сообщаются лишь понятия, основанные не на достоверных напряжениях, а на дробных коэффициентах. Технологические рецепты и сведения об изображениях и обработке занимают обширное место. Представленное ясно доказывает то, что техника того времени покоилась исключительно на добросовестно собранных результатах, опыте, на эмпирии.

1854—1856 г. Рело провел в Кельне, где он работал в качестве конструктора на машиностроительном заводе. Кельн был в то время самым большим городом Рейнской провинции Пруссии. Кельн (Колония) возник около 38 г. до н.э., как римский военный лагерь, а в 50 г.н.э. получил городские права под наименованием Колония Агриппина по имени Агриппины, жены императора Клавдия, которая родилась в этом поселке. Город неоднократно переживал периоды подъема и спада. Решением Карла Великого он был отдан во владение местному архиепископу. Горожане неоднократно вели борьбу со своим феодальным владетелем, иногда получали права свободного имперского города, затем теряли их. В 1801 г. архиепископство было секуляризировано, а по решению Венского конгресса Кельн перешел под власть Пруссии.

Знаменитостью Кельна был Кельнский собор, самый большой из памятников готического искусства в Германии, заложенный в 1248 г. Строительство подвигалось весьма медленно, и продольный корпус был отстроен лишь к XVI столетию. Затем продолжение строительства было все более медленным, и к концу XVIII в. недостроенное здание было обращено французскими оккупационными войсками в склад сена. Лишь в 1821 г., в результате возросшего национального самосознания немцев, работы по строительству собора были возобновлены, а в 1842 г. было организовано общество содействия строительству собора. В 1848 г. при праздновании 600-летия со дня закладки собора был освящен его южный неф. Только в 1863 г. была завершена внутренняя отделка здания, а полное завершение было отмечено 15 октября 1880 г.

Таким образом, в годы пребывания Рело в Кельне он мог ознакомиться и с ходом строительных работ, и с механической техникой их ведения, и со структурой готического здания. Подобно своему учителю Редтенбахеру, Рело обладал художественным вкусом: опыт Кельна, несомненно, был очень существенным для его идей формообразования.

Эти два года в определенном смысле были поворотными в его техническом развитии. Рело был подготовлен к конструкторской работе, тем более, что он еще в первом своем труде смог критически подойти к результатам немецкой школы машиностроителей.

Здесь, в Кельне, он начал работу над одним из своих важнейших трудов – «Конструктором» и, занимаясь практической деятельностью, одновременно собирал материал для книги.

Работая сначала руководителем завода, а затем конструктором-консультантом, Рело получил возможность ознакомиться не только с конструированием машин, но и с воспроизведением разработанных конструкций в материале. В те годы, в начале второй половины XIX века, заводы работали в основном по заказам, и господствовало индивидуальное производство машин. Стандарт на крепежные детали еще не существовал, и поэтому конструктору приходилось выполнять всю работу по созданию машины с начала и до конца. Естественно, что практика многое дала молодому инженеру, и его пребывание в Кельне существенно обогатилось опытом такого рода. И еще одно: тогда же Рело начал заниматься исследованием процесса формообразования. Опыт Кельна и в этом отношении оказался весьма важным для разработки тех теорий, к созданию которых Рело приступил на следующем этапе своей работы уже как ординарный профессор машиностроения Цюрихского Политехникума.

Глава третья

Цюрих

В 1856 г. в Цюрихском политехническом институте, основанном за год до этого, была открыта вторая профессура по машиностроению. При этом требовалось, чтобы профессор владел французским языком, так как институт обслуживал западную Швейцарию, в которой основным языком был французский. Поиски профессора были трудными, и даже политехническая школа в Париже не могла никого предложить, кроме своих выпускников, которые знали только то, что слышали в школе. Решили обратиться к Рело, который, благодаря своей книге, уже получил известность среди машиностроителей.

Должность первого профессора занимал Цейнер. Густав Адольф Цейнер (1828–1907) считался в те годы одним из самых известных и знающих теоретиков машиностроения. Родом из Саксонии, он окончил в Хемнице высшее промышленное училище в 1848 г. Затем он учился у Вейсбаха в Франбергской горной академии и был противником французской школы, в которой считалось, что машиностроение является только одним из приложений математики. К этому времени выдающиеся машиностроители, такие как Редтенбахер, Вейсбах, Вибе в Берлине и другие, уже доказали, что машиноведение имеет право на самостоятельное существование и что необходимо создать науку о машинах. Цейнер, ознакомившись с работой Рело, увидел, что этот молодой человек – его единомышленник, и написал письмо приемному отцу Рело Шоллю с просьбой побудить своего сына подать заявление в Цюрих, чтобы получить там место второго профессора. Ф. Рело написал в Цюрих о своем согласии. Профессора Дрезденской академии Вейсбах и Хюльзе дали положительный отзыв о Рело, отхарактеризовав его, как наиболее талантливого из учеников Редтенбахера. С этим мнением согласился совет Политехникума, который учел и то, что Рело носит французское имя, а значит, он вполне подходит для франкоязычной области Швейцарии. Так Рело получил вторую профессуру с содержанием в 3200 франков. 1856 г. стал для Франца Рело знаменательным не только в профессиональном отношении.

26 апреля 1856 г. в Бонне-на-Рейне он сочетался браком с Шарлоттой-Вильгельминой-Фридерик Овербекк³⁰ (1829–1908). В браке у них родились три дочери и два сына, причем две дочери и один сын родились в Цюрихе, когда Ф. Рело работал там преподавателем в Высшей технической школе, еще один сын и одна дочь родились уже в Берлине³¹.

Цюрих, самый большой и самый развитый в промышленном отношении город Швейцарии, расположен у Юрихского озера, в западной его части, по обоим берегам реки Лиммат. Основан он был римлянами в качестве одного из военных укреплений. В нем находился гарнизон, охранявший альпийские проходы на Апеннинский полуостров. В раннем Средневековье он стал видным торговым центром и приобрел большое значение для всего региона. Отсюда торговые караваны направлялись на восток и на запад страны. В середине XIX века здесь начала развиваться тяжелая промышленность, с чем, в сущности, и было связано основание здесь Политехнического института.

Кроме Цейнера в Политехническом институте работал основоположник графостатики Карл Кульман (1821–1881). Ученик Понселе по Военно-инженерной школе в Метце, Кульман учился затем в Политехникуме в Карлсруэ до прихода туда Редтенбахера. В 1841–1849 гг. Кульман работал инженером по проектированию и сооружению железнодорожных мостов. В 1849 г. он ознакомился с железнодорожным строительством в Англии и в США и, по возвращении в Германию, принял участие в строительстве новых железных дорог. В 1855 г. он в числе первых профессоров был приглашен в Цюрих и принял участие в организации Института.

Рело проработал в Цюрихе восемь лет уча и учась, накапливая разносторонние знания, которые пригодились ему для всех его последующих трудов. Здесь он тесно подружился с Цейнером.

Благодаря такому удачному подбору профессоров, Цюрихский Политехнический институт получил широкую известность, и в него устремились студенты из многих стран.

Одной из первых работ, выполненных Рело в Цюрихе, была обширная статья, опубликованная в Швейцарском политехническом журнале «О конструировании и расчете важнейших для машиностроения видов пружин», которая в 1857 г. вышла отдельной

³⁰ Charlott Wilhelmine Friederike Overbeck.

³¹ Эти данные приводит правнук Ф. Рело, Кристиан Рело. (См. Приложение I.) В этом же письме он сообщает, что, к сожалению, портретного снимка прадеда и его семьи у него нет.

брошюрой. Эта работа стала образцовой для расчета технических характеристик пружин, хотя авторство Рело перестали упоминать. Существенно, что в этой статье Рело впервые разработал расчет часовых пружин.

Затем Рело начал составление своего труда «Конструктор», первое издание которого вышло в 1861 г.

Этот труд был им выполнен в развитие идей Редтенбахера относительно систематического изложения учения о конструкциях в машиностроении. Основной мыслью было то, что учение о машинах не является областью знания, относящейся к прикладной механике. Он утверждал, что учение о машинах также нельзя считать частью механики, как не является им и строительное искусство. Рело считал, что наука о машинах является самостоятельной наукой, отдельной областью знания. При рассмотрении деталей машин Рело выдвинул два принципиальных положения: прочность и сохранение формы их трущихся частей. В течение тридцати лет вышло четыре издания этого труда (4-е издание в 1889 г.) с постоянно растущими тиражами и создало большой авторитет Рело среди машиностроителей. «Конструктор» три десятилетия подряд был незаменимым путеводителем для всех, кто изучал технику, и тех, кто занимался ею на практике.

И если немецкое машиностроение именно в это время подошло к стартовой черте своего невероятного взлета, то в этом немалая заслуга великих учителей технических наук. Рело в своем предисловии подчеркивает, что конструирование машины как научно обоснованное, самостоятельное искусство идет по сегодняшнему пути, благодаря преимущественно немецким ученым, а именно благодаря его учителю Редтенбахеру. Школа, говорит он, не может давать готовых машиностроителей, но она дает прочные общие основы знаний, которые формируют образ мышления учащегося и вырабатывают у него интуицию.

Учение о деталях машин возникало почти одновременно с выработкой понятия механизма. Авторы книг о машинах, опубликованных в XVI и XVII веках, обычно только описывают машины, не обращая внимания на то, из каких частей они построены. По-видимому, первыми, кто заинтересовался не только машинами, но и их построением, были Леонардо да Винчи и Кардано. В частности, у Леонардо есть элементы расчета зубчатой передачи. Джироламо Кардано (1501–1576), миланский врач, инженер и математик, ознакомившись с работой мельниц и часов, попробовал выработать общие правила передачи движения в зубчатых

механизмах. Он определяет передаточное число и пользуется им при подсчете числа зубцов колес в зубчатой передаче. Кардано одним из первых отметил необходимость разложения машин на элементы, ее составляющие. Он указывает также: «то, что движет движимое, должно непременно его касаться», то есть у него появляется мысль, которая развилась в понятие кинематической пары.

На протяжении XVII века машины все более входили в жизнь. Правда, они в основном обслуживали лишь силу человека, и только изредка появлялись машины, которые в какой-то степени начали заменять руку человека, его умение: с большим трудом и с малой скоростью начинали свое бытие технологические машины. А к концу века была изобретена паровая машина. Интересно, что в качестве механического ее оформления был применен механизм водяного поршневого насоса. В это же время были также и попытки привести поршень в движение паром и порохом.

Театры машин и другие книги о машинах являлись только собранием описания машин. Читая и просматривая их, мы можем познакомиться с уровнем машинной техники века. Но какие-либо обобщения в них отсутствовали. Однако в XVII веке уже начали появляться в разных странах Европы технические школы, а с начала XVIII века техническое образование начало развиваться. Так, по указам Петра Великого, на рубеже века в 1700 г. в Москве была открыта инженерная школа, а 14 января 1701 г. был издан указ об учреждении «школы математических и навигационных, то есть мореходных хитростию искусств учения». План школы составил сам Пётр, а в науку велено было набирать «добровольно ходящих, иных же паче и с принуждением». Технические школы появляются почти одновременно в разных странах Западной Европы с назначением готовить инженеров коронной службы, то есть военных, горных и путейских. Инженеров для частных предприятий тогда еще не существовало, и их начали готовить только в XIX веке.

В середине XVIII века были созданы некоторые технические школы, получившие позже широкую известность. В 1745 г. была открыта горная школа в Брауншвейге, в 1747 г. – национальная школа мостов и дорог в Париже, в 1748 г. – школа королевского инженерного корпуса в Мезьере, сыгравшая важную роль в истории науки о машинах. В разное время эту школу окончили: Монж, Карно, Кулон, Понселе и Руже де Лиль (автор «Марзельезы»). В 1765 г. была открыта горная школа в Фрайберге, в 1775 г. – горная школа в Клаустале, в 1774 г. – горный институт в Петербурге,

в 1778 г. – горная школа в Париже. К концу столетия число технических школ было уже значительным. Повысился и уровень преподавания в них. Так, в 1802 г. в Мадриде на базе Королевского кабинета машин была создана Школа путей и каналов – высшее учебное заведение для подготовки инженеров-путейцев. Уже намечается разница в подготовке техников, мастеров и инженеров.

В отношении расчета машин первые мысли были высказаны в XVIII веке. Наблюдение за работой мельниц показало, что зубчатые колеса, составляющие основную и наиболее важную часть мельничного привода, быстро срабатываются, так как они изготовлялись из твердых сортов дерева. Другой областью применения зубчатых колес были часовые механизмы. Здесь точность зацепления была особенно важна. Однако как в том, так и в другом случае качество зубчатых колес и их долговечность зависели от мастера, который их изготавливал.

По-видимому, первым ученым, поставившим вопрос о необходимости профилировать зубцы колес, был Жерар Дезарг (1593–1662) – французский архитектор и геометр, разработавший учение о перспективе. В 1664 г. он опубликовал работу о зубчатых колесах, в которой предложил эпициклоиду для профилирования зубцов колес. В 1676 г. датский астроном Р. Ремер (1664–1710) подал в Парижскую академию наук мемуар, в котором предложил применять для профилирования зубцов циклоидальные кривые. В 1694–1695 гг. профилированием зубчатых колес занимался французский геометр и механик Филипп де Лагир (1640–1717). В своих мемуарах он описал эпициклоиды и обосновал их применение для профилирования зубцов колес.

Однако все эти исследования были сугубо теоретическими и на практике не нашли применения.

Первым ученым, связавшим теорию с практикой, стал саксонский механик и горный инженер, член Берлинской Академии наук (1715) Якоб Лейпольд (1674–1727).

Он издал в 1724 г. в Лейпциге, столице Саксонии, соединенной тогда личной унией с Польшей, первый том грандиозной работы «Театр машин»³². Книга написана на немецком языке, основательно сдобренном латынью, на настоящем научном языке того времени. В отличие от многочисленных авторов подобных сочинений, Лейпольд не только описывает машины, но и пробует в них разобраться. Он выделяет агрегаты, механизмы, иногда от-

³² *Leupold J. Theatrum machinarum generale. Leipzig, 1724.* Это произведение Лейпольда издано в 1724–1726 гг. в семи томах. Посмертно вышли 8-й и 9-й тома.

дельные детали, но все это без какой-либо системы, тем более, что он пользуется старинным правилом, согласно которому все машины состоят из простых машин.

Лейпольд знал различные виды гибких передач, а также зубчатые зацепления, для которых дал правила построения зубцов. Ему было известно цепочное зацепление, червячно зацепление, элементы теории редукторов. Коленчатые валы он знал до трех колен, но рекомендовал применять их, следуя старым авторам, для привода мельничных колес как удобное приспособление для облегчения ручного труда. Он дал некоторые советы по построению кулачковых механизмов, разбирает стопорные механизмы, в частности храповые колеса. Есть у Лейпольда и кинематические идеи, благодаря которым его можно считать предшественником Монжа. В трех параграфах своего труда Лейпольд излагает решение задач о преобразовании вращательного движения в прямолинейное и прямолинейного во вращательное. Он вплотную подошел к понятию механизма, но сделать этого не смог.

Труд Лейпольда представляет собой крупнейшее явление в технической литературе первой половины XVIII века. Спрос на эту книгу был так велик, что в 1774 г. понадобилось ее второе издание. Известно, что Уатт изучил немецкий язык для того, чтобы иметь возможность прочитать «Театр машин». Вместе с трудами Эйлера и Карно труд Лейпольда составил часть того фундамента, на котором была построена наука о машинах.

К первой половине XVIII века относится также первая попытка механического изготовления зубчатых колес. Около 1720 г. шварцвальдский крестьянин М. Леффлер изобрел приспособление для нарезки часовых зубчатых колес. Почти одновременно, около 1750 г. были изобретены станки для нарезки зубчатых колес. Это было сделано А. Полемсом в Швеции и Хиндли в Англии. Обычно считается, что промышленный переворот XVIII века был стимулирован изобретениями в области текстильной техники. Это не совсем так. В XVIII веке было изобретено много станков и приспособлений для обработки металлов и дерева.

Большую роль в развитии техники XVIII века сыграл замечательный инженер и ученый Бернар Форест де Белидор (1697–1761) – каталонец по своему происхождению. Родился он в Барселоне, но работал во Франции. На протяжении 1737–1739 гг. он издал свой основной труд – «Гидравлическую архитектуру», первые два тома. Следующие два тома вышли в 1750–1753 гг. Этот труд представлял собой энциклопедию строительного искусства, и в нем было уделено много места теории машин. Подобно

Лейпольду, Белидор старался применить механику к исследованию машин. Он рассматривает как водяные мельницы, так и некоторые машины-орудия, подробно описывая их действие. Этот труд сыграл большую роль при подготовке инженеров различных специальностей. Ему принадлежали также сочинения по артиллерии (переведенные и на русский язык), курс математики для артиллеристов и учебник «Наука инженерного дела». Он был членом Парижской Академии наук, профессором ряда артиллерийских школ, а также боевым офицером, причем дослужился до звания полковника. Белидор имел европейскую известность как ученый и как инженер, по его книгам учились инженеры разных европейских стран. С молодости Белидор был очень религиозным человеком.

Таким образом, элементами машин начали интересоваться задолго до трудов Я.Ф. Редтенбахера и Ф. Рело.

В Англии подготовка инженеров происходила не школьным путем, а путем личного ученичества. Из английских ученых-машиноведов и машиностроителей больше других сделали Дж. Уатт, который ввел в практику несколько механизмов, в частности так называемый параллелограмм Уатта; Роберт Виллис, построивший новую систему классификации механизмов и изучивший теорию зубчатых передач; Т. Тэт, М. Ранкин, У. Фейрберн. Впрочем, за пределы кинематики эти ученые не выходили. Следует отметить, что на протяжении почти целого столетия, от середины XVIII века до середины XIX века первое место среди промышленных держав по своему хозяйственному развитию занимала Англия. Она первой обзавелась универсальным промышленным двигателем, паровой машиной и ранее других начала производить машины на специальных машиностроительных заводах. Даже в начале XIX века «Англия представлялась французам страной недостижимых технических чудес. В конце 1814 г. Жан Батист Сей путешествует по Англии и не может прийти в себя от удивления, видя всюду, во всех отраслях промышленности, громадную распространенность машин... Знаменитый экономист, друг Рикардо, почти потрясен чудом, которое он видит всюду: в угольных районах, около Нью Кестля, около Лидса, паровые машины везут уголь – сами по себе, без помощи четвероногих!»³³.

В Цюрихе Рело начал работать над своими идеями кинематики. Основная его идея, которая, по-видимому, выкристаллизовалась именно в Цюрихе, заключалась в том, что механизмы он рассматривал лишь как соединения тел, взаимные движения которых определяются существующими между ними связями. При этом

³³ *Тарле Е.В.* Рабочий класс во Франции в первые времена машинного производства (1815–1831). М., 1928. С. 219.

он не обращал внимания на цель и на форму этих составляющих. Тем самым он показал, что следует учитывать влияние геометрического учения о движении для понимания движений механизмов. Кинематическим анализом механизмов, по Рело, является определение кинематических феноменов механизма, учет числа и расположения связей между звеньями, условий принужденного движения, а также определение относительных движений звеньев, путей, скоростей и ускорений отдельных точек звеньев.

Мы говорим сегодня о техническом мышлении, и то, что оно было выдвинуто на первый план – заслуга, в первую очередь, Франца Рело. Но Рело мыслил перспективнее. Он хотел не только учить тому, как собирать детали машины в одно целое: его восхищала игра их движений в своем неисчерпаемом разнообразии и строгой последовательности. Как эта, постоянно повторяющаяся, игра происходит независимо от сил, которые ее вызывают, в установленном принудительном порядке, какие законы этой игре присущи, и как эти законы проистекают из самых простых основных условий – вот те вопросы, которые живо интересовали его помимо чисто конструктивных вопросов. Для этого, конечно, требовался обзор просто необозримого количества машинных приводов и их расположения, а также их абстрактного осмысления, которое должно было в конечном итоге воплотиться в основной вопрос, что такое машина вообще, и по какому основному закону идет ее процесс совершенствования, которому уже много тысяч лет.

Уже в Цюрихе у Рело сформировалось понятие о машине и о ее роли в обществе. Машина оказалась совершенно особым объектом, постепенно входившим в жизнь общества, а значит, она нуждалась в специальном изучении, нужно было создавать новую науку, основания которой заложили Редтенбахер, Цейнер, а также французские и английские ученые, начиная с Карно, Монжа, Ланца и Бетанкура.

Рело считал, что совершенно необходимо знать историю всех этих теорий.

Цюрихский период был периодом, когда Рело обучался искусству преподавания, тем более, что рядом с ним был такой опытный учитель, как Цейнер. Как писал профессор Московского университета Ф.Е. Орлов, слушавший лекции в Цюрихе, «Лекции [Цейнера–авт.] ... нельзя не понимать, он так ясно и увлекательно читает... он отказался от выгодного приглашения в Ахен и остался в Цюрихе. В начале 50-х годов сюда приглашали Вейсбаха, но он отказался и прислал вместо себя Цейнера»³⁴.

³⁴ Орлов Ф.Е. Дневник заграничной командировки 1869–1872 гг. М., 1898. С. 25.

Г. Цейнер читал динамику, в своих лекциях указывал на технологические приложения теории, сопровождая их многочисленными примерами, часто новыми и любопытными. «Он читал также сопротивление материалов, а также прикладную механику. На третьем курсе проф. Цейнер излагал механическую теорию тепла, параллельно с приложением ее к исследованию газов и паров, имея в виду преимущественно воздух и водяной пар, и уже начал теорию калорических паровых машин. В изложении механической теории тепла он делает значительные упрощения...»³⁵.

Свою статью о паровых машинах Цейнер делит на две части. В первой части говорит об образовании пара, везде, где представляется повод к теоретическому исследованию, оно делается на основании механической теории теплоты. Во второй части он изучает теорию и расчет паровых машин с двойным действием, с одним и двумя цилиндрами и первых машин с простым действием. Формулы Цейнера для определения работ паровых машин построены на основании механической теории тепла.

В заключение, рассмотрев влияние реальной среды на работу машины, Цейнер изучает работу совершенной паровой машины и из сравнения с ней существующей паровой машины приходит к заключению, что нет необходимости изменять самый принцип действия машины, как полагал Редтенбахер, и что возможно усовершенствовать ее конструкцию.

«Цейнер в своих лекциях, отличающихся полнотой и самостоятельностью, знакомит также и с литературой вопроса. Что касается построения машин, то этим предметом я надеюсь заняться в Берлине, куда, как заметно, в настоящее время стекаются все лучшие силы ученого мира Германии. Цюрихский политехникум не имеет уже той славы, какой она пользовалась в первое время всего существования»³⁶.

Для Рело период его пребывания в Цюрихе был очень важным. Здесь он приобрел те глубокие знания и ту культуру, которая была свойственна ему. Определенный импульс к своим «штудиям» кинематики он получил также от труда Редтенбахера «Передачи», опубликованного в 1857 г., в котором автор собрал в виде альбома таблицы механизмы приводов различных типов и назначений. Таблицы сопровождаются краткими замечаниями. Здесь приводятся чертежи моделей, построенных под руководством Редтенбахера в мастерских Политехникума в Карсруэ, которыми он пользовался на своих лекциях. Но это собрание, в сущности, представляло собой каталог приводов без какой-либо систематики. Все же

³⁵ Там же. С. 45.

³⁶ Там же. С. 53.

при рассматривании этого альбома уясняется, что у Редтенбахера были кинематические идеи, но он не смог их систематизировать и привести в порядок. Это дело пришлось по душе его ученику Ф. Рело.

Рело обдумал свои законы кинематики в тиши Цюриха. Впервые он доложил о своих идеях в октябре 1861 г. на заседании Цюрихского общества естествоиспытателей природы.

Это сообщение вызвало всеобщее признание не только круга непосредственных слушателей. В этом докладе прозвучали основы его теории кинематики, которые как научный труд впервые были опубликованы лишь в 1875 г. Приглашение в Берлин было прямым следствием этого доклада.

В своих воспоминаниях Ф.Е. Орлов неоднократно упоминает Цюрих. Город «расположен на уступах гор и разделяется Лиматом на две части: большой и малый город. В большом городе — узенькие улицы, здания мрачной наружности, черепичные крыши их почернели от времени и поросли травой... Политехникум, прекрасное обширное здание, лучшее в городе». И далее: «Славный городок Цюрих: красивый, живописный, опрятный. ...Если смотреть от Политехникума, за озером видны снежные вершины Альп. Но город расположен неправильно... приходится то спускаться вниз, то подниматься в гору. Узкие кривые улицы пересекаются, переплетаются всевозможно. Есть и красивые дома и маленькие хижины; много отелей, ресторанов, я перебивал во многих. Везде есть общий стол за 1,5–2 франка, везде бильярды, везде пьют пиво, играют в карты, читают газеты. К лучшим принадлежат Тонхалле и Кронхалле.

По воскресеньям город заметно оживлен: лавки закрываются, много народа на улицах, озеро покрыто ботиками с катающимися. В этот день еще слышнее песни студентов. Между студентами есть и фереины, имеющие разные названия, имеющие свои правила, собрания. Особенно интересны бывают кнайпы, устраиваемые студентами раза два в год, в которых участвуют и профессора. Кнайпы имеют юмористический характер: читают стихи, диалоги, разыгрываются сцены...»³⁷.

Ф. Рело не долго был в Цюрихе, и Орлов не застал его там: 1 октября 1864 г. Франц был приглашен в Ремесленный институт в Берлин, где он занял кафедру машиностроения, где ввел в преподавание новый предмет — кинематику.

³⁷ Там же. С. 19–20.

Глава четвертая

В Берлин...

Итак, Рело переезжает из спокойной тихой Швейцарии в Берлин.

Берлин был столицей королевства Пруссии, которая к этому времени владела значительной частью Германии. В сущности, Рело как бы возвратился к себе домой, – ведь и родился он в земле, которая принадлежала Пруссии.

Политическое положение Европы в середине XIX века было весьма не простым. На немецких землях шла борьба между Пруссией и Австрией за гегемонию в Германском союзе. Но в то же время своими прирейнскими землями Пруссия граничила с Францией. Император Наполеон III видел в Пруссии конкурента в борьбе за гегемонию в Европе. Кроме того, между обоими государствами был спор из-за территорий. Пруссия претендовала на Эльзас и Лотарингию – земли, входившие во Францию, а Франция желала расширить свою территорию за счет пограничных прирейнских территорий.

Почти одновременно Рело получил приглашения из Риги, из Ахена и из Берлина. Он отклонил первые два, хотя в Ахен его приглашали на должность ректора (основателя) Политехнического института. Кроме того, западногерманские земли были его настоящей родиной, и все же он предпочел Берлин.

Одной из главных причин этого было то, что Берлин являлся крупнейшим центром промышленности, и здесь для инженера-машиностроителя было чрезвычайно много интересного. Здесь он мог на практике проверять свои теории и излагать их своим ученикам. Берлин также был крупным культурным центром: здесь были Академия наук, университет, много музеев, что тоже притягивало Франца, который любил искусство.

Берлин был основан около 1230 г. на реке Шпрее. Его местоположение оказалось очень выгодным: он быстро стал центром торговли с Польшей и с Русскими княжествами.

Город стал членом Ганзы. В 1370 г. он получил права самостоятельного городского управления, но в 1442 г. Бранденбургский

курфюрст лишил Берлин этих прав. В 1539 г. Берлин стал одним из центров Реформации. За годы Тридцатилетней войны население Берлина уменьшилось на треть. В 1700 г. здесь, по предложению Лейбница, было организовано Научное общество, в 1711 г. преобразованное в Академию наук. С XVIII столетия, благодаря приливу из Франции гугенотов, Берлин становится важнейшим промышленным центром. Здесь развивается прядильное и ткацкое производство, также было основано производство фарфора; в 1799 г. здесь была установлена первая паровая машина.

В 1810 г. В. Гумбольдт организовал в Берлине университет. Ремесленная академия была основана в 1821 г.

Ф.Е. Орлов, который впервые попал в Берлин в 1869 г., пишет о своих впечатлениях от этого города: «На улицах Берлина мне случалось встречать хорошенькие лица чаще, чем в Петербурге: много значат условия жизни, в которые бывает поставлен человек; природа, удобства жизни, красота природы кладут отпечаток и на физиономию человека. В Берлине чувствуешь себя как дома, в Петербурге; заметна только более развитая общественность, цивилизация, более широкое удовлетворение потребностей облагоустроенной жизни»³⁸. И далее: «На первый взгляд чувствуешь себя потерянным в таком большом городе: это не то, что Цюрих, там я скоро все узнал, все видел, так что под конец в нем казалось и тесно, и скучно. Но Берлин не изучишь и в целый год и не просмотришь всех его музеев, библиотек, театров, концертов, магазинов, фабрик, достопримечательных зданий. Многие стороны этой жизни мне начинают нравиться, например то, что никому до тебя нет дела: сначала это казалось обидным и неприятным, но потом находишь, что это очень удобно и сам уже знать никого не хочешь»³⁹.

Ремесленная академия, в которой начал работать Рело, состояла из трех отделений – механического, химического и кораблестроительного. Курс учения в каждом отделении продолжался три года, но разделение по специальностям происходило только после окончания первого курса. На первом курсе читались общетехнические предметы. Кроме того, профессора читали и необязательные курсы по наукам, имеющим отношение к основным курсам. При Академии имелись механическая мастерская, модельная мастерская, две химические лаборатории, механический и технологический кабинеты, фотографическая лаборатория. Техническая библиотека Академии для того времени была одной из лучших в

³⁸ Орлов Ф.Е. Дневник заграничной командировки 1869–1872. М., 1898. С. 45.

³⁹ Там же. С. 141–142.

Германии. По поводу подготовки специалистов Ф.Е. Орлов приводит мнения Цейнера, Грасгофа и Рело, которые считали, что «школа не может образовать готового практика, и задача ее должна состоять только в научной подготовке к практической деятельности. По их мнению, школа должна стоять выше практических требований времени, освещать светом науки путь к усовершенствованию практики. Этим не отвергается впрочем, необходимость практических занятий: напротив, признано по опыту (и я сам в этом убедился, вглядываясь в занятия студентов), что студенты, бывшие на практике до вступления в школу, всегда могут легче и полнее воспользоваться научным материалом, который дает им школа. Поэтому знакомство с практическими приемами должно вообще предшествовать специальным занятиям»⁴⁰.

Королевская ремесленная академия была основана в качестве технической школы в 1821 г. и первоначально насчитывала лишь 13 учеников и четырех учителей. В 1827 г. она получила название Ремесленного института, а в 1866 г. стала Ремесленной академией. В 1867 г. Рело был назначен директором Академии, которая к этому времени насчитывала уже 563 студента. Рело обращал большое внимание на повышение общей культуры студентов. В своей речи, которую он произнес 1 ноября 1871 г. на праздновании пятидесятилетия Академии, он отметил, что Академия в своем развитии образовалась из маленькой ремесленной школы, которую основал прусский промышленный деятель Петер Христиан Вильгельм Бэйт (1781–1853), причем уже в его планах было заложено, чтобы молодым людям, изучающим технику, давать как можно более глубокое общее образование. Рело указал на Микеланджело, Леонардо да Винчи, Декарта, Лейбница, Уатта и на самого Бэйта, разносторонность знаний и умений которых была удивительной, причем их великие достижения в одной специальности были обусловлены этой широтой познаний. Поэтому воспитание, которое должно привести к высоким результатам, немислимо без возможности универсального образования. Поэтому наоборот, наибольший эффект в специальном образовании можно ожидать от остроты взгляда на проблему. В правильном познании этих оснований, условия приема относительно подготовки студентов постоянно ужесточаются. Новый статут высшей школы от 1871 г. ввел обязательный принцип зрелости и ввел условия для академического дипломного испытания и для государственного экзамена. В этой речи Рело определил положение относительно

⁴⁰ Там же. С. 142.

гимназической или реальной подготовки: «...И я не знаю, — сказал он, — отдаленно ли то время, когда оценка того, что полезнее для отечества, техническая высшая школа или классическая, будет ожидаться первой без боязни. Предпочтением греко-латинского образования является то, что оно дает подготовку к универсальному образованию. Но мне кажется, что мощные культурные движения нашего времени показали, что этой цели можно достичь различными способами»⁴¹. Берлинские семидесятые и восьмидесятые годы были для Рело наиболее производительными в его жизни.

Нужно учесть, что в это время разразилась Франко-прусская война 1870—1871 гг., закончившаяся разгромом Франции (с потерей ею Эльзаса и Лотарингии) и Парижской коммуной. Для Пруссии это стало объединением Германии в одну империю, причем Австрия осталась в стороне. Наполеон III отрекся от престола и бежал в Англию, а Франция опять стала республикой.

Образование Северо-германского союза, в который вошли 23 германских государства, способствовало объединению Германии в империю (с устранением Австрии). Конституция Союза, принятая в апреле 1867 г., закрепила гегемонию Пруссии в Союзе. Создание этого союза было делом прусского правительства под руководством О. Бисмарка. Верховная власть и верховное командование вооруженными силами перешло в руки короля Пруссии. Одновременно под нажимом Пруссии Бавария, Вюртемберг, Гессен и Гессен-Дармштадт передали руководство своими войсками Генеральному штабу Пруссии. Таким образом, было подготовлено объединение германских земель в империю, и императором Германии стал прусский король Вильгельм Первый.

Во время Франко-прусской войны частично были мобилизованы и студенты. Из Ремесленной академии на фронт ушли более двухсот студентов, из которых тридцать уже не вернулись. Рело, как директор Академии, старался улучшить качество образования и уравнивать Академию с Университетом. Сам он много времени посвящал также преподавательской работе, но не оставлял и своей научной работы. Коллектив профессоров в Академии состоял из очень известных ученых. Так, математические предметы читали профессора Аронгольд и Кристоффель. Зигфрид Аронгольд (1819—1884) окончил Кенигсбергский университет (1851), читал математику в Гессене, Цюрихе, Гейдельберге, был профессором Инженерной и артиллерийской школы в Берлине, затем профес-

⁴¹ Цит. по. *Weihe C.* — Franz Reuleaux und seine Kinematik. Berlin, 1925.

сором Ремесленной академии. Занимался алгеброй и кинематической геометрией, и стал одним из создателей теории инвариантов. Внес существенный вклад в развитие методов алгебраической геометрии, исследовал плоские кривые 3-го и 4-го порядков. Был одним из основоположников тензорного исчисления.

Эльвин Бруно Кристоффель (1829–1900) окончил берлинский университет (1856), преподавал там, затем в Цюрихе и в Ремесленной академии, откуда перешел в Страсбургский университет. Исследования его относились к римановой геометрии, теории поверхностей, теории инвариантов и к теории конформных отображений. Занимался теорией дифференциальных уравнений в частных производных, применил к этой теории методы конформных отображений. Разрабатывал идеи тензорного исчисления, был продолжателем идей Римана.

Механику читал Гроссман, физику – профессор Квике, теорию построения машин – Вибе.

Ф.Е. Орлов писал: «Сегодня представлялся директору Ремесленной академии Рело и передал ему письмо Цейнера. Рело – высокий красивый мужчина с черной бородой. Прочитав письмо, он пригласил меня сесть и стал спрашивать о моих намерениях. Я попросил у него позволения посещать в продолжение недели лекции в академии, прежде чем записаться в число слушателей, чтобы ориентироваться и решить, какие лекции можно и необходимо мне выбрать. Вместе с тем я просил его указать мне, у каких профессоров, по его мнению, следовало бы мне записаться. Узнав, что я владею математическим образованием и прошел у Цейнера полный теоретический курс машин, он сказал, что было бы бесполезною тратою времени слушать еще и профессора Гроссмана, потому что он не идет дальше Цейнера в своих лекциях. Что касается практического, специального курса, то он указал на Вибе. Он спросил меня также, интересуюсь ли я кинематикою, которую он читает в Академии, в таком случае он советовал бы мне также посещать кинематическую геометрию у профессора Аронгольда, весьма интересные лекции. Хотя я уже прослушал курс построения составных частей машин в Цюрихе, но я выразил желание прослушать его еще раз у Рело, и он предложил мне без гонорара посещать его чертежную. Затем он указал мне на лекции Гроде (история техники)»⁴². Свои впечатления от лекций Орлов записывал далее: «...Лекции Рело можно назвать блестящими по обработанности и изяществу изложения. Лекции по кинематике

⁴² Орлов Ф.Е. Дневник заграничной командировки. С. 139.

интересны по оригинальности изложения... Первый опыт возвысить кинематику на степень дедуктивной науки, принадлежит... Рело. Около десяти лет работает он над этим предметом с постоянством и увлечением, и достиг, наконец, своей цели. Только скромностью истинного ученого и желанием усовершенствовать свой труд можно объяснить то, что литографированные в прошлом году его лекции кинематики строго ограничены кругом его слушателей – студентов Берлинской Ремесленной академии, и до сих пор не сделались достоянием литературы...

Введение особого языка в кинематические исследования и формулы, представляющие состав механизма, подобно тому, как химическая формула представляет состав вещества, профессор достигает самых неожиданных результатов, он находит связь между целым рядом механизмов, которые при старой системе относились к различным группам, и обнаруживает тождество их устройства по основной мысли. Особый метод, который он называет методом обращения, дает ему возможность открывать новые механизмы или механизмы, уже существующие, которые могли бы быть этим путем открыты, если бы не были уже известны. Это уже истинное свойство научного метода, если он не только находит связь между многими фактами, существовавшими в отдельности, но и приходит к новым результатам. Что касается собственно теории механизмов, то везде при исследовании движения он применяет геометрический метод Пуансо и таким образом достигает общности приложения. При этом обнаруживается целый ряд новых любопытных задач. Нет сомнения, что усилиями одного человека не может быть создана наука, и в новой кинематике Рело может быть найдут недостатки и увлечения (сравнения воззрений на машину с взглядом Монтескье на государство), неизбежные во всяком новом деле; но, несомненно также, что профессору Рело принадлежит завидная часть – положить твердые основания новой науке, конечная цель которой состоит в устранении слепых и случайных стремлений к открытиям в механике, иногда счастливым, но большей частью бесплодным, и вот верный способ к рациональному решению кинематических задач во всяком данном случае.

Самое преподавание профессора отличается ясностью, увлекательностью; во всяком слове мужественной речи, во всяком даже взгляде и движении обнаруживается твердое убеждение и полное знакомство с предметом. В помощь преподаванию Рело располагает богатым собранием моделей, расположенных по его собственной системе; мастерская академии частично занята из-

готовлением новых моделей. Для демонстрирования и произведения опытов находится в аудитории стол особого устройства, который назван кинематическим столом. В нем находятся прорези и шины для укрепления и передвижения механизмов, которые могут быть приведены в движение маленькой водостолбовой машиной. Устройство аудитории прекрасно приспособлено к удобству слушателей (219 мест): освещение доски, которое бывает весьма неудобно в больших аудиториях, вполне отделено от освещения зала, таким образом, отсвечивание вполне устраняется. Это достигается посредством освещения доски сверху и устройства особых ширм на блоках, преграждающих падение света на доску. Наконец, столы для слушателей расположены амфитеатром по особой кривой, называемой театральной кривой и которая получается следующим образом: восстановив перпендикуляр к поверхности пюпитра известной постоянной длины, проводится из центра доски через вершину перпендикуляра прямая линия; продолжение ее укажет основание перпендикуляра к следующему пюпитру по данному расстоянию между столами»⁴³.

Мы привели довольно большую выдержку из дневника Ф.Е. Орлова, предшественника Н.Е. Жуковского по кафедре механики в Московском университете, который слушал лекции Рело и стал его последователем. Федор Евплович Орлов устроил в Московском университете кабинет механики, которым после него руководил Н.Е. Жуковский, а в сороковых годах – И.И. Артоболевский. Приведенные выдержки показывают Рело как профессора и как руководителя Академии; они тем более ценны, что написаны специалистом, понявшим суть идей Рело.

Большой заслугой Рело является то, что он сумел слить воедино две науки: техническую – теорию механизмов, математическую – кинематику. В результате такого слияния ему удалось найти нужные методы исследования: он не обращал внимания на форму и на цель механизмов и рассматривал их лишь как соединения тел, взаимные движения которых определяются связями, существующими между ними, их родом и расположением. В результате этого чрезвычайное многообразие механизмов было приведено к ограниченному числу типов, что облегчило их теоретическое и практическое исследование. Таким образом, обе исходные науки, теория механизмов и кинематика механизмов, взаимно обогатились. У Рело геометрия тесно связана с механикой, что полностью соответствует генезису обеих наук. Механика была

⁴³ Орлов Ф.Е. Дневник заграничной командировки. С. 139.

слита с геометрией еще старыми зодчими, которые не знали никакой строительной механики, а оценивали прочность здания и его частей по прочности входивших в его состав конструкций. Подобно этому Рело использовал геометрию в целях науки о движении.

Цель кинематического анализа механизмов заключается не только в определении кинематических элементов механизма, числа и характера связей, существующих между звеньями, но также и в определении условий принужденного движения, а также скоростей и ускорений отдельных звеньев механизма, ибо целью механизма является передача и преобразование движений. Рело ввел ту часть кинематики, которая имела место при изучении связей и их влияния на работу механизма. Правда, он имел и предшественников. Начала этого учения есть у Л. Эйлера, и французские кинематики также внесли свой вклад в становление этого учения.

В своих идеях Рело исходил из того принципа, что наука о машинах не может считаться лишь прикладной механикой. Это новая, совершенно самостоятельная наука. И если проследить развитие его мыслей, начиная от «Конструктора», который был написан в духе Редтенбахера, и к двум томам его «Теоретической кинематики», в которых он и описал созданную им новую науку, то видно оригинальное развитие его идей. Уже в «Конструкторе» он подчеркивает положение о том, что конструкция элементов машин должна удовлетворять как условиям прочности, так и условию сохранения формы их соприкасающихся (трущихся) элементов. В третьем издании своего «Конструктора» он наметил те идеи, которые развил в своем главном труде. Под кинематикой Рело понимает механику принужденного движения или учение о приводе, которое занимается законами движения в машине. Вторым том он посвящает изучению форономии – геометрического учения о движении в применении к приводам.

Исторически впервые мысль о том, что в машине основным является движение и при изучении машины ее элементы надо рассматривать с точки зрения передачи и преобразования ими движений, была высказана Г. Монжем, а затем развита его учениками – Бетанкуром и Ланцем, с одной стороны, и Ашеттом, с другой. Однако у этих ученых пропадала телесность элементов механизмов, и они становились схемами для производства определенных геометрических движений. Лишь Рело впервые объединил материальность элементов машин с выполняемыми ими принужденными движениями. Рело рассматривал механизмы, не обращая внимания на их форму и цель. Для него они были совокупностью тел, относительные движения которых зависят от их связей. Таким

образом, его учение о механизмах являлось сочетанием теории механизмов с геометрическим учением о движении. Рело рассматривал кинематику машин как состоящую из теоретической машинной кинематики и прикладного учения. Он определяет связь двух тел как пару. Несколько тел, связанных парами, образуют кинематическую цепь, которая может быть замкнутой цепью принужденного движения или просто замкнутой цепью, если между ее элементами возможны движения. Если одно из звеньев замкнутой кинематической цепи закреплено, то получается механизм. Если на одно из свободных звеньев действует сила, то звенья цепи приходят в движение. Соединение механизмов определяет машину. Рело изобрел также для принужденных связей сложный язык символов, который, впрочем, не был принят машиноведами.

Большое значение для кинематики Рело имело введение им в учение о машинах идей об их происхождении. Происхождение, генезис машин Рело рассматривал и с точки зрения их истории, и с точки зрения структуры отдельной машины.

Несомненно, что основной его идеей была разработка синтеза машин, нахождение закономерностей и правил, пользуясь которыми можно было бы создать систему такого синтеза. А так как основное в машине – движение, то основной наукой при разработке синтеза машин должна была стать кинематика, которая, несмотря на ее прикладное значение (в его исполнении), он наименовал теоретической, чтобы подчеркнуть научный способ синтеза, которым он мыслил. Чтобы построить систему синтеза, прежде всего надо было исследовать анализ машин и их составляющих, т.е. механизмов. Такой анализ дал бы инженеру возможность путем теоретических рассуждений построить необходимые механизмы, а далее и саму машину.

В Германии в первой половине XIX века кинематикой не занимались. Да и вообще, кинематика как отдельное направление механики начала формироваться в середине XIX века силами, главным образом, французских ученых. Тогда же на тесную связь кинематики с теорией механизмов указал П.Л. Чебышев. Рело начал читать кинематику еще в Цюрихе. Затем он читал курс кинематики (который посещал Ф.Е. Орлов) в Ремесленной академии. Тогда же он начал печатать свои «Кинематические сообщения» и другие мемуары на темы прикладной механики. Тогда же профессор механики Политехникума в Карлсруэ Вильгельм Шелль (1826–1904) издал трактат по теоретической механике «Теория движения и сил», в котором значительное внимание уделил кинематике, а в 1875 г. Рело начал издание своей «Теоретической кинематики».

Теоретическая кинематика Рело

В 1875 г. в Брауншвейге Ф. Рело опубликовал первый том своей «Теоретической механики». В сущности, с этого момента начинается новая история науки о машинах. Точно так же, как и в 1808 г., когда наука о механизмах была начата выходом в свет книги Ланца и Бетанкура, Рело выдвинул новую концепцию. Эта книга сразу же после своего выхода в свет была подвергнута жесткой критике, и эта множественная критика только подтвердила, что в ней были подняты вопросы, актуальные для машиностроителей, механиков и геометров. Позже оказалось, что она стимулировала становление и развитие еще нескольких научных направлений.

Над идеями «Теоретической кинематики» Рело работал, по его словам⁴⁴, с 1852 г. Таким образом, эта книга является результатом исследовательской и конструкторской работы в течение почти четверти века.

В предисловии он замечает, что, в сущности, настоящая теория машин до настоящего времени еще не создана. «Поэтому мы имеем и изучаем теории конкретных машин, мы показываем применение теоретической механики к машинам, а также определение размеров машин и их деталей и их методическое описание»⁴⁵. Далее Рело замечает, что общие закономерности структуры машин до сих пор не выявлены. Он считает своим новаторством стремление пронизать учение о машинах логическим и дедуктивным (он называет это философским) методом. Применение математического аппарата в конкретных задачах действия машин создавало иллюзию, что общая теория механизмов построена.

В заключение Рело высказывает мнение, что современное ему состояние теоретической части учения о машинах достаточно хорошо разработано. Тем не менее он находит, что учение о машинах разрозненно на части и не представляет целого: оно входит частично в энциклопедических экскурсах в состав курса механи-

⁴⁴ *Reuleaux F. Theoretische Kinematik. Braunschweig, 1875. S. XXI.*

⁴⁵ *Vgl. d. S. VII–VIII.*

ки, частично – в начертательную геометрию, частично – в черчение. Везде малыми частями и нигде как самостоятельная наука.

Точное и одностороннее обучение специальности, соединенное с, так называемым, здравомыслием, считалось достаточным. Часто с издевкой говорили, что научная логика является ничем иным, как упорядоченным здравомыслием, а между тем, не замечали, что в собственно научных направлениях философии и логики не хватало. «То, что с этим будет скоро покончено, я полностью убежден. Мы слишком далеко удалились от истоков науки из-за стремления к специализации. Указанные недостатки относятся и к другим наукам, в том числе и к политехническим; поэтому Момсен был полностью прав, когда по поводу сегодняшнего положения в Академии наук он сказал: «они (специалисты) очень легко держатся за свой круг, который оказывается не кругом, а сегментом»⁴⁶.

Трактат состоит из тринадцати глав, предисловия, введения. Автор сообщает, что книга содержит результаты его многолетних исследований, посвященных, в основном, той части науки о машинах, которая носит название учения о механизмах.

В предисловии Рело резюмирует содержание основных глав своего труда, завершая его рассуждением относительно патентного права.

«Возвращаясь к моей книге, – пишет далее Рело, – я должен заметить относительно всего ее содержания, что я задумал представить его как неделимое целое. Отдельные главы, положения и заключения тесно взаимосвязаны.... При этом я следовал методу не от общих утверждений переходить к частным случаям, а следовать от легкого к трудному и переносить общие положения в конец. Мне кажется, что этим я все же облегчаю изучение не только специалистам, но и тем, кто не относится к данной специальности»⁴⁷.

Введение открывается утверждением, что целью предлагаемого исследования является нахождение общих положений, позволяющих выявить те законы, согласно которым строится машина. Общую науку о машинах Рело называет кинематикой машин или теорией машинного привода. Наука распадается на две части, из которых первая посвящена теоретической, а вторая – прикладной машинной кинематике. Теоретическая часть и является содержанием книги.

«Если я предпринимаю попытку, – пишет далее Рело, – поставить на новые основания теорию состава машины, то делаю

⁴⁶ Vgl. d. S. X.

⁴⁷ Vgl. d. S. XVI.

это в убеждении, что это лишь в том случае заслуживает труда, если принесет действительную пользу для понимания машин. Но я уверен, что это я могу обещать. Кто лучше понимает машину, кто лучше освоится с ее внутренней сущностью, тот сможет лучше создавать машину и работать с ней»⁴⁸.

Основное содержание введения Рело посвящает истории науки о машинах. Начинает он с описания изобретения Дж. Уаттом (1736–1819) его параллелограмма, найденного практически.

Рело приводит при этом выдержку из письма Уатта сыну, в котором изложен процесс самого изобретения. «Если прочитать при этом его (Уатта) заявление на патент, то окажется, что в нем заключается не менее шести прямил... и между ними обе формы, которые может принять этот механизм. Любопытно, что один из шести механизмов, изобретенных Уаттом, является прямиллом Редтенбахера. Уатт не признал этого открыто, так как эти грубые деревянные балки и грубые кованые штанги не соответствовали эlegantности механизма в целом. Мы видим, что разъяснение вышеуказанного должен был бы дать сам мыслитель (Уатт). Но мы сразу же заметим, что при изобретении под влиянием потока идей, одна возникает из другой, которые последовательностью шагов, работой и борьбой приводят к цели. Исходным положениям при этом не уделяется особое внимание. Относительно мгновенного просветления исследователя ничего нельзя утверждать»⁴⁹. Рело приводит пример о том, как Ньютон на вопрос, как он пришел к идее тяготения, ответил: «Потому что я думал над этим». Позже Гёте, как бы забывая последний гвоздь в этом рассуждении, сказал: «Что такое изобретение? Это завершение поисков».

Рассматривая одновременно развитие физики и связь науки с искусством, Рело стремится показать преемственность основных идей развития как в той, так и в другой области. По его мнению, в XVII веке развитие науки оживилось в Германии (точнее, в Бранденбурге). Изобретение паровой машины было начато опытом Отто фон Герике в 1650 г. в Магдебурге, когда было исследовано атмосферное давление. Д. Папен в Марбурге усовершенствовал идею Герике, построив в 1696 г. работающий вариант паровой машины по схеме: «цилиндр – поршень», но ему не удалось получить хороший результат. И только Т. Ньюконом и А. Коули в Англии в 1705 г. создали на базе цилиндра Папена паровую машину для откачки воды из шахт. Затем в 1784 г. Дж. Уатт своими гениальными решениями в краткий срок создал уже настоящую

⁴⁸ Reuleaux F. Theoretische Kinematik. S. 3.

⁴⁹ Vgl. d. S. 7–8.

паровую машину, которая приобрела функции фабричного универсального двигателя.

«Конечно, связь между отдельными мыслями, — пишет Рело, — остается для нас почти полностью скрытой. Мы видим, словно приблизительный эскиз, или наполовину смытый рисунок, и даже сам художник едва ли сможет пояснить нам более того, что мы можем видеть извне. В каждой новой области духовного творчества творит изобретатель подобно художнику. Легкими шагами преодолевает гений воздушные строения заключений, которые он затем увидит с новой точки зрения. От художника и изобретателя невозможно требовать точного расчета в их творении»⁵⁰.

Рассуждая относительно хода мыслей изобретателя, Рело сначала указывает на историю происхождения изобретения, а затем на логический ход мышления изобретателя.

В этих положениях Рело можно видеть и историю создания его теории: он сам очень любил и понимал искусство и постоянно искал параллели между техническим, научным и художественным творчеством. В 70-х годах XIX века во Франции возникло движение импрессионизма. Художники этого направления старались изобразить на двухмерном полотне картину трехмерного пространства, причем именно так, как они ее видели в определенный момент. В те же годы в Германии развивается движение «основателей», этапы которого действительно логически связаны между собой. В этом движении отразилась и политика Германии начала последней четверти века, идеологом которой был Бисмарк.

Особенно Рело останавливается на исторических корнях кинематики, увязывая ее с историей машин (мы кратко описали ее во введении). Он воспроизводит ее, отдавая дань основоположникам учения о машинах: Лейпольду, Монжу, Ашетту, Ланцу и Бетанкуру. Рело подчеркнул большую роль труда Ампера, который предложил для новой науки название «Кинематика», вернее, для новой отрасли науки, рассматривающей только геометрическую картину движения, игнорируя силы и массы. Он замечает, что предшественниками Ампера в геометрическом учении о механизмах были Ланц и Бетанкур, написавшие первый курс построения машин. Рисуя далее картину развития кинематики и связанной с ней теории механизмов, Рело останавливается на работе Ш. Лабулэ, который отказывается принять предложенное Р. Виллисом ограничение: учитывать только жесткие члены машин, и возражает против требования Ампера исключить из кинематики силу.

⁵⁰ Vgl. d. S. 8.

Лабулэ решил рассматривать механизмы с новой точки зрения. По его мнению, все детали машин можно разбить на три класса, которые он назвал следующим образом: система рычага; система вращения; система плоскости. Но он и сам не смог завершить эту свою идею, которая осталась неразработанной. Идея Лабулэ вводить в рассмотрение понятие силы затрудняла его последователям развивать кинематику механизмов.

Тем не менее во Франции в середине XIX века появились значительные достижения в развитии кинематики. Это сделали М. Шаль и его предшественники, в частности Л. Пуансо, которые начали рассматривать геометрическое исследование движения твердых тел. Действительно, разработанная Пуансо теория вращения тел и его теория вращающихся окружностей сообщили существенный импульс в развитии теории механизмов, указав на интерпретации аналитических результатов в кинематике. В этом духе, по мнению Рело, написаны три курса кинематики — Ш. Жиро, Ж.Б. Беланже, Ж.Н. Гатона де ла Гупийера.

При рассмотрении работ по кинематике Рело разделяет ее на чистую и прикладную. Трактат по чистой кинематике был опубликован А. Резалем в 1862 г.

Рело указывает также, что появляется еще одна кинематическая наука. Это, как он говорит, так называемая автоматика, т.е. учение об осуществлении задуманных и представленных математическими выражениями движений при помощи механизмов. Инженер Э. Штамм в 1863 г. издал эссе о чистой автоматике, где различает чистую и прикладную автоматическую науку. Рело утверждает, что идеи Штамма сводятся к положениям кинематики механизмов.

Изложив краткую историю развития идей кинематики, Рело приходит к выводу, что все существующие системы не решают задачу построения новых механизмов, а следовательно, реформирование кинематики и создание действительно теоретической кинематики в будущем станет необходимостью.

Даже классификация Монжа, — пишет Рело, — какой бы естественной она не казалась, все же не отвечает сущности вещей. Если бы она смогла выработать, подобно К. Линнею и Ж. Кювье, систему в ограниченном свете, такую же работу следовало бы провести и в машиностроении. Подразделение машин на классы по Монжу приводит к неоднозначности типов движения. Почти все механизмы в этом случае попали бы в несколько классов. Ничего положительного не дали и иные ученые, предлагавшие свои классификации. Поэтому очевидно вопрос лежит не в нахождении классификации. Значение кинематики в учении о механизмах

усилится лишь тогда, когда с ее помощью определенные механизмы будут выполнять заданные движения. Классификация не может прийти извне: она должна быть одним из результатов самого развития науки. В процессе построения основ науки могут быть обнаружены и основные ее законы.

В процессе развития машин изобретатели приходят постоянно к новым механизмам, и задачей науки является нахождение для них соответствующего места. Но любое изобретение является результатом мыслительного процесса и, если изобретатель получит от науки все необходимые ему материалы, то путь к изобретению тем самым будет существенно облегчен. Иначе говоря, Рело считает, что кинематика позволит построить синтез механизмов и машин.

По этому вопросу Рело приводит слова Гёте о том, что наши изобретения, которые мы считаем открытиями, являются озарением, рожденным продолжительными и плодотворными размышлениями. А. Шопенгауэр выражает подобное мнение такими словами: «Наши лучшие и глубокие мысли возникают внезапно в сознании, как вдохновение и часто даже в форме некоей полновесной сентенции. Очевидно все же, что они являются результатом длительных и несознаваемых размышлений и бесконечных, часто с очень давними корнями кое в чем забытых мыслей.... Отсюда следует, что мы часто не можем понять, как возникают наши глубочайшие мысли: они являются порождением нашего таинственного внутреннего осмысления. Решения возникают неожиданно и к нашему собственному удивлению из глубокого подсознания»⁵¹.

Совсем непросто обстоит дело с изобретением новых механизмов, которые должны удовлетворять определенным требованиям механики и математики. Процесс изобретения механизма происходит подобно математическому рассуждению. Иными словами, изобретение нового механизма для кинематика является синтетической задачей, которую он решает по установленным достаточно сложным методам. Квалифицированный специалист использует в этом случае все богатство науки, подобно тому, как творческий математик, работающий в направлении алгебры, оставит далеко позади начинающего алгебраиста, который владеет только выученными операциями.

Рело утверждает, что важнее, чем создание новых механизмов, является творческое понимание старых. Удивительно, как до сих пор мало знают о самых употребительных механизмах. Деятель-

⁵¹ *Reuleaux F. Theoretische Kinematik. S. 24.*

ный, думающий механик, серьезно относящийся к задаче, поставленной перед ним, использует с этой целью кинематическое учение, которое облегчает ему работу. Также и технолог, который до сих пор едва ли касался кинематики, найдет в ней удобное средство для понимания старых и новых машин и их действия. Из всего сказанного вытекает, что к кинематике надо относиться, как к точной науке.

Заключая свое введение, Рело указывает, что, подвергнув критике существовавшие до того времени системы кинематики и из приведенных философских рассуждений, следует, что наука о машинах должна строиться как дедуктивная. Значит, дело идет к тому, чтобы построить учебный курс, который бы покоился на прочных основаниях.

Каждая точная наука приходит иногда на своем пути к такому моменту, когда ее предмет достигает большого числа проблем, которые нужно выяснить. «Несомненно, что сейчас наступил этот момент и для кинематики, ибо число механизмов становится бесконечно большим и число их различных применений тоже не меньше. И нет такой нити, которая может провести через этот лабиринт. Естественно, что задача предстоит нелегкая, надо выяснить новые понятия и сделать их ясными. Есть и та трудность, что новинки не воспринимаются «с любовью», поэтому и путь, который я избираю, не является коротким, поэтому то, что я изложил в следующих главах, должно не увеличить объем знаний инженера, а научить его думать над тем, что он делает.

Здесь уместно еще раз обратиться к Гёте и вспомнить его слова: «То, что не понятно, тем не владеешь»⁵².

В своей теории кинематики Рело исходит из различия между движением планеты вокруг Солнца и вращением колеса вокруг своей оси. Движение это вызвано и сохраняется за счет таких внешних сил, как инерция, сила тяжести, центробежная сила и в любой момент может «нарушиться», например, другими планетами, кометой или сопротивлениями в космическом волновом пространстве, в то время как колесо принуждается к вращению валом, который жестко удерживается подшипниками. Космическая система в равновесии принуждается к движению исключительно внешними силами, машинная же или техническая система – внутренними силами сопротивления образующих ее тел, и это движение неизбежно. Оно подчиняется, по меткому выражению Рело, принудительному бегу – вот так Рело нашел и для кинематики термин «Теория принудительного движения».

⁵² *Reuleaux F. Theoretische Kinematik. S. 27.*

В первой главе Рело излагает основные принципы науки. По его предложению учение о машинах следует разделить на четыре части:

1) собственно науку о машинах, которая должна заниматься описанием существующих машин;

2) теорию машин, являющуюся применением механики к изучению машин и объектом изучения которой должны быть машины-двигатели, а отчасти и рабочие машины;

3) учение о построении машин и

4) кинематику как учение о механизмах.

Цель практической механики – определить взаимосвязь явлений, которые происходят в машине. Учение о машинах включает различные специальные учения: общее или описательное, специальное, теоретическое. Общее учение о машинах описывает все имеющиеся машины, оно указывает на то, какие машины существуют и как они устроены. Машины классифицируются при этом в соответствии с их назначением. При этом Рело указывает, для «современности»⁵³ достаточно полное описание машин невозможно, из-за постоянного возникновения новых машин. Поэтому для того, чтобы достигнуть общности при их исследовании, следует остановиться на изучении отдельных классов машин. Как правило, общее учение о машинах является и теоретическим, так как оно дает теорию изучаемых машин.

Существенное различие теоретического учения о машинах от общего заключается в том, что оно изучает устройство и цель машин в соответствии с имеющимися машинами. Поэтому теоретическое учение о машинах иначе можно назвать теорией машин. В Германии теория машин изучается в соответствии с их предназначением. Во Франции исходят из положения, что машины являются парадигмами прикладной механики. Если ближе подойти к сущности вопроса, то это есть приложение механики к машинам, как это сделал Понселе, что ему не удалось, так как для этого он должен был бы собрать все машины и изучить то общее, что имеется в них. От этой неясности первым освободил науку Редтенбахер.

Теоретическое учение о машинах занимается в основном силовыми машинами – машинами-двигателями, такими как паровые машины, турбины, водные и ветряные колеса, т.е. такими машинами, которые преобразуют естественные силы в необходимую

⁵³ То есть для последних лет третьей четверти XIX века, когда создавался трактат.

работу. Изучение же самих рабочих машин обычно относится к механической технологии.

Третья наука учения о машинах – это построение машин или учение о конструировании. Редтенбахер включил и это учение в прикладную механику. Это учение имеет целью обеспечить прочность частей машин и их устойчивость относительно всех сил, действующих на них. Это направление составляет настоящую техническую науку, которая должна учитывать как явно действующие, так и скрытые силы. Рело считает этот принцип основным в учении о машинах и подчеркивает, что до сих пор его признавали, но до сих пор теоретически не обосновывали.

Итак, определение машины должно учитывать еще одно ее свойство – это то, что машины являются приспособлениями для передачи движений. А поскольку движения определены силовыми воздействиями, то теоретическое учение о машинах включает такие силовые воздействия, которые приводят к перемене места. Группа задач относительно движений в машинах решается при помощи средств прикладной математики и механики. Они образуют отдельное научное направление, называемое кинематикой, или учением о приводе. Последнее учение так же важно для изучения машины, как и три первых. При этом начинать надо с кинематики, ибо отдельные ее вопросы проявляются во всех остальных направлениях.

Остановившись затем на примерах, которые показывают различие между методами механиков-теоретиков и методами исследователей действия машин, Рело приводит определение машины:

«Машина – есть соединение сопротивляющихся тел, устроенное так, чтобы понудить механические силы природы действовать для производства определенных движений»⁵⁴.

Далее излагается учение о кинематических парах и цепях.

«Попробуем теперь установить основные положения кинематики, чтобы иметь возможность перейти к решению конкретных задач. Движение в машинах передается при помощи соприкасающихся тел. Для простоты предположим, что эти тела жесткие и неизменные, их массой будем пренебрегать»⁵⁵. Предполагается, что из двух соприкасающихся тел одно – неподвижно, а другое – подвижно и при движении не теряет соприкосновения с первым. Для того чтобы возможно было лишь одно движение, необходимо, чтобы подвижное тело полностью заполняло паз в неподвижном теле. При этом возможно обращение обоих этих тел – не-

⁵⁴ Reuleaux F. Theoretische Kinematik. S. 38.

⁵⁵ Vgl. d. S. 44.

подвижное станет подвижным, и наоборот. Таким образом, при одном неподвижном теле необходимо, по крайней мере, одно подвижное. Итак, машина состоит из пар соприкасающихся тел. Они называются *кинематическими элементами машины*. Примерами могут служить: цапфа и подшипник, винт и гайка. Таким образом, элементы машин входят в их состав не по одиночке, а парами. С помощью заданной кинематической элементарной пары можно получить относительное движение. При помощи пар можно воспроизвести большое число различных движений. Для того чтобы осуществить движение, нужно связать пары элементов между собой.

При этом связь не должна быть жесткой, иначе движения не получится. Соединение пар элементов, обеспечивающее их взаимную подвижность, мы называем *кинематической цепью*. Каждый член цепи состоит из двух элементов, таким образом, цепь имеет столько элементов, сколько пар. Два члена цепи имеют относительное движение. Если же связать парой два крайних члена цепи, то получим *замкнутую кинематическую цепь*. Может случиться, что при движении одного из членов замкнутой цепи все другие члены будут выполнять определенные относительные движения. Такая цепь называется *замкнутой цепью принужденного движения*. Одно из звеньев замкнутой цепи может быть связано с жестким основанием, в таком случае движение одного из членов цепи определяет движения всех прочих ее членов.

Цепь принужденного движения Рело называет десмодромной цепью (от греческих слов $\delta\tau\omicron\mu\sigma$ – связь, $\delta\rho\omicron\mu\sigma$ – путь).

«Машина, – пишет он, – состоит из пар элементов. Соединение двух элементов называется кинематической парой. Элементы (больше двух), соединенные друг с другом, образуют кинематическую цепь. Цепи могут быть разомкнутые и замкнутые. *Замкнутая кинематическая цепь, одно из звеньев которой жестко закреплено, называется механизмом или приводом*»⁵⁶. Следовательно, из одной цепи можно получить столько механизмов, сколько звеньев она имеет. Форма основания для механизма не имеет принципиального значения. Жестко закрепленные части машин изучаются наравне с подвижными. Иногда различают «активные», т.е. подвижные, и «пассивные» члены машин. Но они могут быть одними и теми же, так как роль их поясняется их местом в кинематической цепи. Из одной цепи можно получить несколько механизмов, в зависимости от того, какое звено

⁵⁶ Речь идет о плоских механизмах. Vgl. d. S. 53.

закреплено. Итак, механизмы есть замкнутая кинематическая цепь; кинематическая цепь может быть сложной и простой, состоит она из пар элементов. Соприкасающиеся элементы допускают лишь те движения, которые воспроизводятся механизмом. Иные движения в механизме исключаются. Механизм приходит в движение, если на одно из его подвижных звеньев действует сила. Сила производит некоторую механическую работу, которая выполняется в результате определенных движений. Все это и есть машина. Устройство, с помощью которого сила понуждается к действию, соответствует конкретной цели машины.

Связь между понятиями машины и механизма у Рело принимает следующую форму: если мы понудим одно из звеньев механизма с помощью некоторой силы изменить первоначальное положение, то получим машину. Таким образом, определение машины у Рело в корне отличается от того определения, которое было общепринятым в науке: до него существование машины определялось наличием некоторого числа частей, в частности двигателя, передачи и орудия. Иначе говоря, машина определялась аналитически. Рело же исходит из синтеза: он исходит из понятия звеньев, соединенных парой и связанных между собой в кинематическую цепь. Он переходит к понятию машины, исходя из понятия механизма.

Вместе с тем определение Рело оказывается неполным, под него подходят и весы, и теодолит и другие подобные приборы, с чем, впрочем, соглашался и сам Рело.

Он говорит, что понятие машины включает силу и движение. Поэтому, например, весы являются машиной, так как здесь есть наличие действующей силы и движение, хотя и в ограниченных пределах. «Многие возражают и считают, что весы нельзя назвать машиной по причине краткости движения. По той же причине измерительные приборы геодезиста, такие как теодолит, нельзя назвать машиной. Может случиться, что действующие силы малы и механизм действует в течение небольшого отрезка времени. Такое устройство, удовлетворяющее этим требованиям, обычно называют инструментом. Но отрицать здесь название машины также нельзя, — примером может служить большой английский телескоп с его сложной установочной аппаратурой»⁵⁷.

Рело рассматривает далее некоторые приспособления, которые, по его мнению, также заслуживают наименования машины. Но в его рассуждениях, очевидно, не все было ясно и для него са-

⁵⁷ Reuleaux F. Theoretische Kinematik. S. 54.

мого, и, как мы увидим далее, критики его системы не упустили этого из виду.

Возвращаясь к анализу машины, он указывает, что машина состоит из одного или нескольких механизмов (в этом ее кинематическая сущность). Противоположным анализу является синтез. Из этих двух операций синтез является наиболее трудным. Обычно он производится эмпирически, т.е. путем длительных проб обычно добиваются поставленной цели. Поэтому при построении машины большую роль играет опыт. Научное абстрагирование пытается дать критерий того, будет ли машина «практической» или «непрактической». Иногда это обстоятельство вспоминают, чтобы подчеркнуть недостаточность теории, но при этом игнорируют и то, что действительно сделано. Поэтому надо обращать особое внимание на правильное соотношение теории и практики при изучении машин.

Вторая глава монографии Рело посвящена основным положениям форономии. Учение о механизмах представляет собой отдельную науку, которая пользуется результатами математики и прикладной механики. Геометрические теории, составляющие часть механики, лучше всего назвать форономией. Можно назвать их и кинематикой, хотя, как уже было указано, в этом случае возникает некоторая неопределенность, связанная с введением этого понятия Ампером. По мнению Рело, в этом случае не следует применять термин «кинематика», так как термин «форономия» вполне соответствует содержанию науки. Действительно, форономия является учением о мерах движений тел, а именно тел любого вида.

Под этим термином, заимствованным у Аронгорльда, Рело понимает кинематическую геометрию. Он определяет ее так: форономия есть учение о способах геометрического представления движения. Здесь он исследует плоские движения элементов механизма, относительное движение в плоскости, понятия мгновенного центра вращения, построение полоиды. Исследованию полоид он посвящает несколько параграфов главы (§ 35–39). Изучая случай плоского движения звена механизма, он вводит понятие аксоидов.

Таким образом, к форономии Рело относит всю геометрию движений тел, которые входят в состав машины или являются составными частями механизмов.

Третья глава посвящена изучению пар. Здесь Рело рассматривает и классифицирует пары: различает пары низшие, или облекающие, и пары высшие. Облекающие пары допускают один из трех видов движения:

- 1) поступательное движение – призматическая пара,
- 2) вращательная пара – цилиндр в подшипнике и
- 3) винтовая пара – винт в гайке.

Пары этого типа требуют ограничения взаимного движения. Поступательная пара должна иметь ограничители хода, а вращательная пара – ограничители скольжения.

Высшими Рело называет такие пары элементов, которые образуются элементами, могущими вращаться около мгновенной оси, непрерывно изменяющей свое положение. Высшие пары получаются путем синтеза. Для этого существует несколько способов:

1. Произвольное выполнение первого звена и поиски соответствующего профиля на втором звене, т.е. профилирование второго звена по первому.

2. Использование вспомогательной полоиды. Рело указывает, что этот способ является очень старым и его использовали геометры при применении роликов в передвижении грузов. Ш. Камю в 1733 г. описывает построение, позже выведенное Виллисом и носящее его имя. Но такое же построение вспомогательной полоиды (мцс) значительно раньше применял Лагир, который основывался на работе Дезарга. Последний использовал зубчатые колеса с эпициклоидальными профилями, поэтому его следует считать изобретателем этого вида зацепления.

3. Вторичные полюсные кривые как производители профилей.

4. Точечные пути элементов в качестве профилей элементов.

5. Параллели или эквидистанты от путей роликов в качестве профилей.

6. Построение приближенных профилей с помощью дуг круга – метод Виллиса.

7. Использование самих полоид (мцс) в качестве пар элементов.

Рело проводит затем сравнение описанных способов профилирования пар элементов. Затем он анализирует условия соприкосновения элементов пары, при которых не возникают нежелательные сдвиги. Далее детально рассматриваются различные варианты использования геометрических фигур для построения элементов кинематической пары и исследуются условия соприкосновения этих элементов. Он исследует затем возможные случаи построения соприкасающихся профилей и их построение. В отдельных параграфах рассматривается построение профилей по точкам, а также построение приближенных профилей с помощью дуг круга. Глава завершается обобщением изложенного.

Четвертая глава посвящена разбору несамостоятельных пар элементов.

К этим парам он относит такие, которые замыкаются при помощи действия сил, исследует виды силового замыкания, а также замыкание при помощи кинематической цепи. В этой же главе он изучает такие элементы машин, как пружины и рессоры и полное кинематическое замыкание при помощи элементов, не имеющих постоянной формы, такие как гибкие передачи, гидравлические передачи и подобное.

В этой главе Рело рассматривает несамостоятельные пары, так он называет те пары, которые понуждаются к соприкосновению не по кинематическим причинам, а по динамическим. Пары с силовым замыканием часто применяются в машиностроении. В качестве примера Рело приводит шип и подшипник водяного колеса, в котором замыкание пары производится весом самого колеса. В этом и в других подобных примерах замыкающая препятствует разъединению элементов пары. В ином положении оказывается пара, замыкание в которой осуществляется при помощи трения. Примером может служить пара, осуществляемая взаимным трением двух соприкасающихся дисков. При этом сила должна действовать так, чтобы обеспечить непрерывное прижатие обоих колес. В этом случае сущность пары составляет качение двух аксидов. Рело относит сюда же и пару, образующую муфту для передачи движения. Он указывает, что пары с силовым замыканием являются нередкими в машиностроении. Силовое замыкание применяется при передаче вращения при помощи двух цилиндрических дисков, при соприкосновении которых возникает трение. Соприкосновение ободов цилиндрических колес при этом достигается с помощью достаточного нажатия. Однако следует учесть, что такое силовое замыкание может служить и муфтой.

Как правило, машина составляется из деталей, построенных из материалов, сопротивляющихся силам, приложенным во всех направлениях. Однако в состав машин входят и такие части, которые сопротивляются лишь в одном направлении. Например, канаты, ремни, цепи, сопротивляющиеся лишь на растяжение. Эти детали также образуют с обычными деталями кинематические пары. Подобные пары удовлетворяют требованию полного соприкосновения.

Однако есть и такие части тел, которые сопротивляются только на сжатие: вода, пар, газы. Органы, работающие на сжатие, подобны низшим парам, так как обладают свойствами включения, но благодаря подвижности их мелких частиц их следует отнести к высшим парам.

Очевидно, что оба эти вида пар являются лишь односторонними замкнутыми, иначе говоря, монокинематическими. Впрочем,

это последнее свойство принадлежит также и некоторым другим видам пар.

В машинах встречается еще один вид элементов, не подходящих под структуру кинематических пар. Это – пружины и рессоры, имеющие различные формы и многочисленные применения.

Кинематические пары могут замыкаться, также и находясь в составе кинематической цепи. В качестве примера Рело приводит зацепление двух зубчатых колес. В качестве замыкаемых кинематической цепью Рело рассматривает также винтовую пару в ее двух вариантах – движение винта и движение гайки, а также некоторые другие.

Выше было показано, что пластические элементы замыкаются с помощью кинематической пары или с помощью цепи.

В последнем параграфе главы рассматривается полное кинематическое замыкание гибких, жидких и газообразных элементов пар. В качестве примеров рассматриваются гибкая передача

между двумя шкивами разного диаметра. В этом случае речь не может идти о силовом замыкании, так как движение передается и при натяжении ремня. Показывается также (рис. 1), что кинематическое замыкание можно получить и при гидравлической передаче. Подобную кинематическую цепь можно получить и со сжатым воздухом.

Следующая, пятая глава посвящена исследованию кинематических цепей. Здесь исследуются преобразование цепей в механизмы, появление в замкнутой цепи мертвых положений и вывод из таких положений с помощью воздействия сил, и с помощью кинематического построения.

Вывод механизма из мертвого положения можно выполнить с помощью действия силы. В качестве примера приводится кривошипно-шатунный механизм, ведущим звеном которого является кривошип. Так как сила всегда направлена перпендикулярно кривошипу в любом его положении, то механизм выводится из мертвых положений. Следовательно, если ведущим звеном является ползунок, то для вывода механизма из мертвых положений надо обеспечить наличие некоторой силы, приложенной к криво-

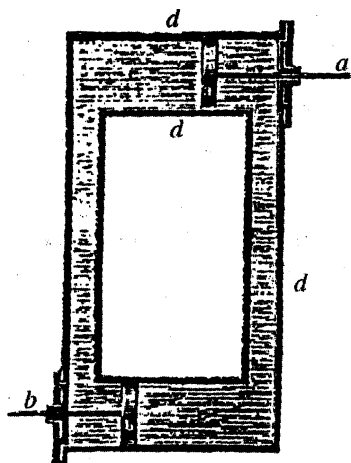


Рис. 1

шпиу. Понятие о мертвом положении ввел Уатт и в качестве средства вывода механизма из такого положения указал на маховик.

Рело указывает, что существуют многие средства вывода механизмов из мертвых положений. В частности, в паровых машинах не всегда можно использовать для этой цели маховик, в этих случаях применяют вторичную кинематическую цепь, которая устроена таким образом, что соответствующее звено, когда оно в основном механизме находится в мертвом положении, во вторичной цепи продолжает движение. Рело указывает на два типа подобных цепей – в одном случае (рис. 2) оба кривошипа имеют общую ось и при параллельном движении ползунков располагаются под прямым углом. Этот метод применяется в локомотивах. Вывод из мертвого положения осуществляется благодаря тому, что действующая сила (давление пара) действует попеременно на один и на второй поршень. Второй способ – конструктивный – цилиндры располагаются под углом один к другому. Такое расположение цилиндров также обеспечивает выход из мертвого положения. Рело приводит затем еще несколько примеров кинематического вывода механизма из мертвого положения.

Далее автор рассматривает замыкание кинематических цепей парами. Рело указывает, что в определенных случаях элементарные пары замыкаются кинематическими цепями, это уже было показано выше. Возможен и противоположный случай, когда кинематические цепи замыкаются элементарными парами. Проводится эта операция с целью вывода механизмов из мертвых положений. На рис. 3 и 4 приведены такие примеры.

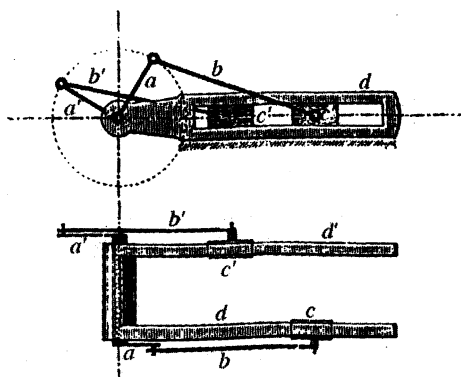


Рис. 2

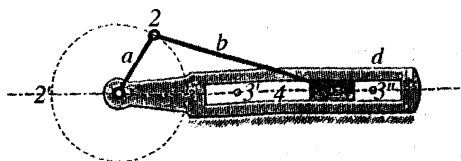


Рис. 3

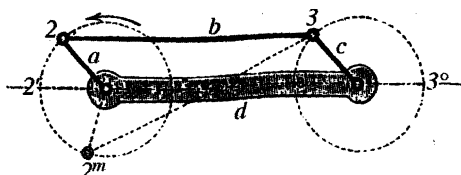


Рис. 4

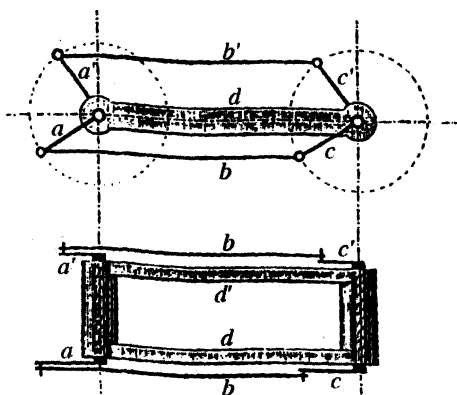


Рис. 5

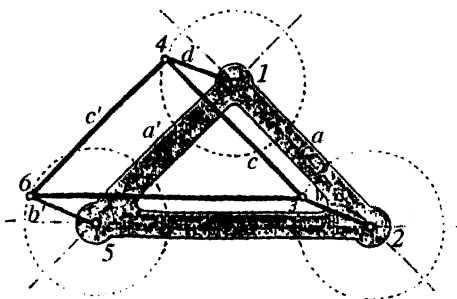


Рис. 6

В мертвых положениях механизма, в случае отсутствия замыкания, возможна перемена направления вращения ведомого звена. Соответствующее положение звеньев механизма Рело называет переменным положением, а соответствующую точку, точкой обращения или перемены.

Замыкание цепью, показанное на рис. 5 и 6, служит для того, чтобы при правильном движении ведущего кривошипа обеспечить необходимое вращение ведомого кривошипа.

Замыкание можно выполнить так, чтобы оба кривошипа вращались не в одном направлении, а в противоположных направлениях. Подобное замыкание можно выполнить в любых цепях, которые

имеют точки обращения. Рело разбирает геометрическую задачу для этого случая (рис. 7). Если между двумя противоположными звеньями для сменного положения установлена пара, то эта пара обязательно должна быть высшей, так как она должна допускать только незначительный участок конических сечений, катящихся друг по другу в месте перемены. Рело рассматривает здесь некоторые типы построения механизма для обращения вращения. На рис. 8 рассмотрен один из таких механизмов, в котором приводится качение друг по другу кардановых кругов. Соответствующее движение можно осуществить с помощью небольшого зацепления. Подобный механизм известен издавна. В 1816 г. Г. Доуз⁵⁸ установил его с небольшими изменениями на паровой машине.

⁵⁸ Reuleaux F. Theoretische Kinematik. S. 190.

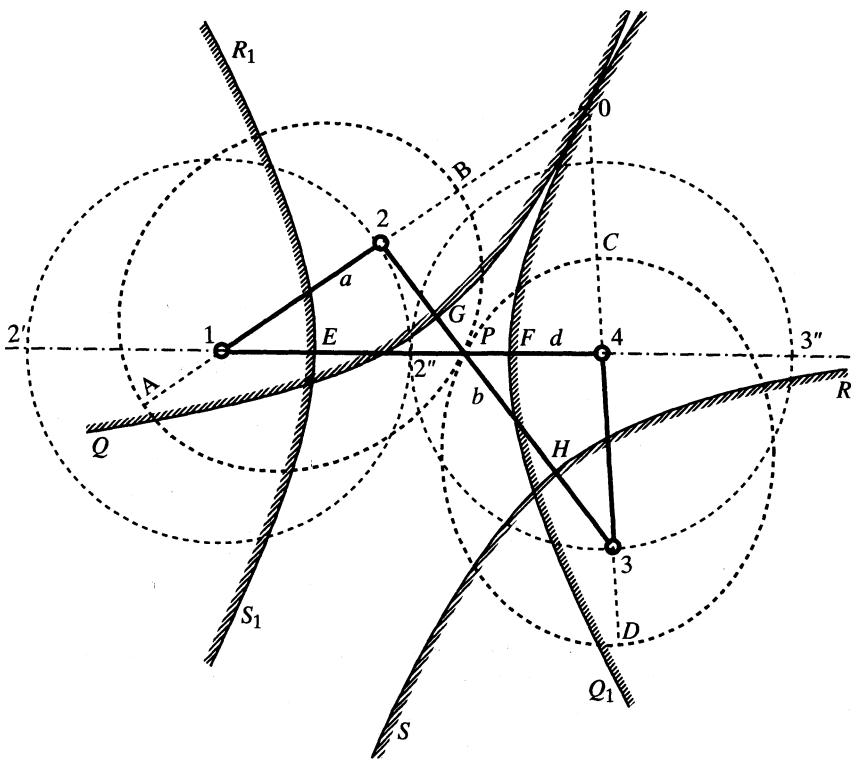


Рис. 7

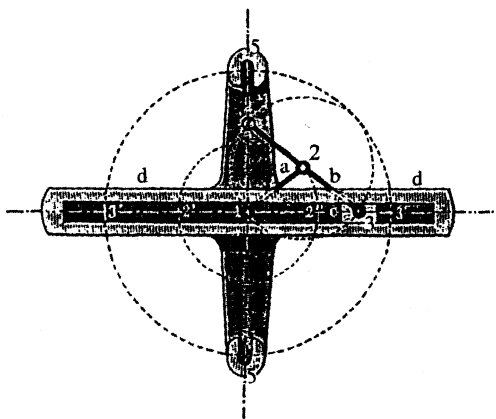


Рис. 8

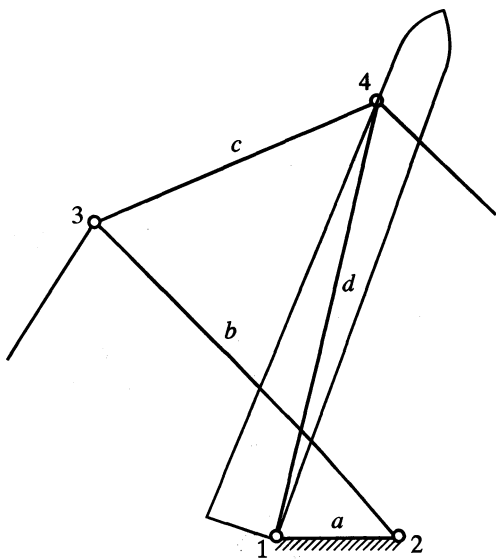


Рис. 9

Вообще преодоление мертвого положения при помощи высшей пары возможно лишь в тех случаях, когда полоиды имеют подходящий вид.

Есть еще один интересный механизм, изображенный на рис. 9, он имеет две точки обращения. Этот механизм был впервые построен Галлоуэйем⁵⁹, причем предполагается динамический вывод из мертвого положения при помощи маховика. Механизм этот имеет скорее теоретический интерес, чем практический.

Рело указывает, что существуют еще многие способы вывода механизма из мертвого положения с помощью пружин, паровых насосов и ряда других приспособлений. Но вообще в практике вывод из мертвых и переменных положений применяется в основном с помощью динамических способов. Несомненно, существует ясно выраженная склонность в машиностроении покончить со старыми формами и перейти к таким, которые обеспечивают лучшее решение поставленной задачи.

Некоторым отступлением от излагаемой теории являются две следующих главы – шестая и седьмая. Шестая глава посвящена истории развития машин. При этом, замечает Рело, не следует путать историю возникновения машин с общей историей. История дает в историческом временном порядке индивидуальные события, которые могут включать также отсталость и поворот к прежнему. История развития общества пытается отыскать все ступени, ведущие к настоящему положению, она указывает на роль в этом каждой индивидуальной личности. По мнению Рело, для полного понимания теории машин совершенно необходимо ознакомиться с историей возникновения машин. При этом он указывает, что предлагает читателям только самое элементарное ознакомление с этой областью знания. В отличие от истории общества, история

⁵⁹ Vgl. d. S. 191.

возникновения машин показывает, как машины пришли к их современному состоянию. Изучение этой истории невозможно без предварительного ознакомления с элементами теории машин и принципов их построения. При этом не следует обращать внимание на качество выполненного продукта. Некоторые индийские ткани отличаются своей красотой, но выполнены они с помощью ручного труда на самых элементарных ткацких станках. Поэтому мы должны обратить внимание только на улучшение машин в процессе их развития.

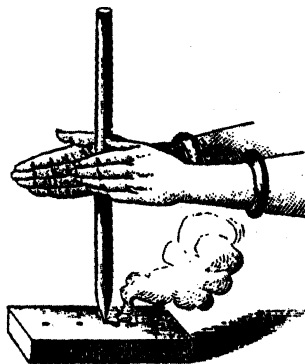


Рис. 10

Если мы будем стремиться найти начало машин, то мы должны обратиться к изучению прошлых времен. С этой целью рассмотрим возможности в этом отношении тех народов, которые переживают сейчас тот же период своего развития, который культурные нации давно прошли. Следует обратиться также к изучению языковой археологии, чтобы найти в языке следы тех умений, которыми обладали

наши предки. Так, в древности огонь получался в результате трения при помощи несложного приспособления (рис. 10). В дальнейшем действие рук заменено было шнуром, который был натянут на вращающуюся деталь, при быстром раскручивании шнура получается тот же эффект (рис. 11). Интересно, что подобное приспособление применялось в древности для сверления. При этом просверливались даже очень твердые ценные камни. Но следует признать, что понятие сверления с этим процессом не связано, ибо здесь имеет место исключительно результат трения.

«Первыми предками современных машин были несомненно нижнебойные водяные колеса. Некоторые древние модели этого типа дожили до настоящего



Рис. 11

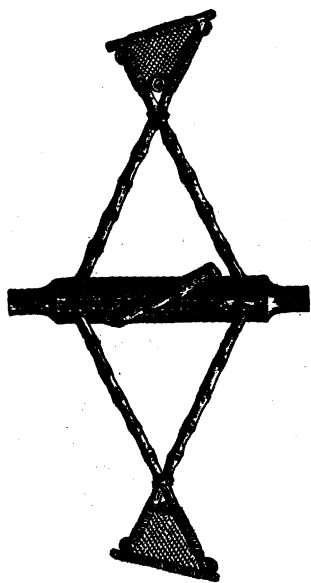


Рис. 12

времени. Так, очень древний тип водяного колеса и сейчас применяется в Китае (рис. 12)»⁶⁰.

Гончарные станки произошли, по-видимому, позже водяных колес, хотя в них используется подобный способ вращения. Очень интересным является происхождение колес для повозок и самих повозок. Это изобретение вызвало к жизни дальнейшие примеры использования вращения. Повозка была известна грекам, египтянам и жителям Малой Азии. По-видимому, использование лошадей началось с повозок. Так, гомеровские герои сражались на колесницах, а не верхом, им была известна еще верховая езда. Однако, если судить по изображениям, ассирийцы уже имели кавалерию. Таким образом, направление изобретений шло с востока на запад. В древ-

ности боевая повозка была очень мощным военным приспособлением. Ассирийцы и египтяне применяли для таких повозок колеса большого диаметра с восемью, десятью, даже с двенадцатью спицами, тогда как греки применяли только четыре спицы. Из Библии известно, что евреи, овладевая Палестиной, чувствовали нехватку повозок (Судьи. I. 19). Когда иудеи овладели возвышенностями, они не могли оккупировать долин, так как жители долин имели железные колесницы (Судьи. IV. Победа Деворы). Построение военных машин сначала выполнялось из дерева, затем из дерева и металла, и позже целиком из металла (из бронзы). Если судить по индийским источникам, то в Индии повозки были известны издавна. Таким образом, изобретение повозки уходит в доисторические времена. При этом повозка произошла не от саней, а от колеса: начальным и в этом случае было вращение.

Сверление имеет древнюю историю. Уже Гомер говорит, что при изготовлении кораблей барки просверливались. По-видимому, сначала была изобретена сверлящая шайба, что-то вроде фрезы,

⁶⁰ Vgl. d. S. 201.

а значительно позже был изобретен станок для сверления (рис. 13).

Римские сверловщики усовершенствовали свое искусство. Они умели просверливать отверстия в тонкостенных каменных сосудах, умели сверлить стекло. Римские техники умели на своих токарных

станках вытачивать из камня колонны. Токарное искусство было известно еще египтянам. Схема египетского токарного станка приводится на рис. 14. В средние века пользовались токарными станками, выполненными по образцу античных. Привод подобных станков осуществлялся шнуром, который тянули один-два человека.

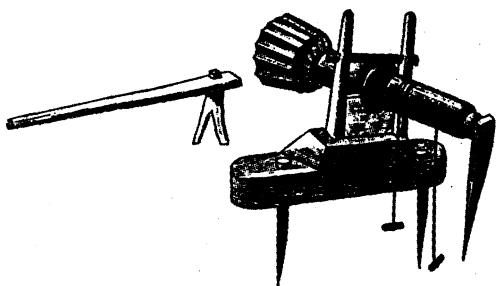


Рис. 13

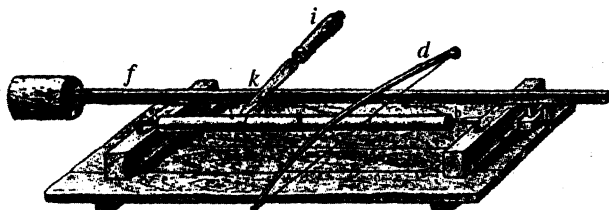


Рис. 14

В своем очерке Рело ссылается на различные приспособления, применяемые разными народами для обработки дерева. В частности, он утверждает, что ременный привод является древнейшим изобретением человечества. Ручные шпиндели применялись, по его мнению, уже в каменный период для прядения. Достаточно древним является также производство канатов (здесь также применялось вращение).

Ткацкий станок прошел длительную историю от конструкции, на которой работали несколько человек, укладывая вручную нити.

Рело рассматривает затем применение прямолинейного и винтового движения при создании первых машин. По мнению Рело, ручные приспособления становятся машинами при осуществлении следующего условия: силовое замыкание пар заменяется ки-

нематическим замыканием пар. За этим следует возникновение замкнутой кинематической цепи. Он приводит ряд примеров из практики различных народов.

Возникновение современного машиностроения автор связывает с изобретением паровой машины. Он разбирает различные схемы передачи от паровой машины к рабочей машине, предложенные различными изобретателями.

Изобретение токарного станка он относит к Древнему Египту. При усовершенствовании машин основную роль, по мнению Рело, должен играть кинематический подход (анализ движения, скоростей, ускорений).

Несколько параграфов он посвящает развитию современного машиностроения. Он указывает, что до Уатта господствовало силовое замыкание цепей. Уатт ввел замыкание при помощи пары и при помощи кинематических цепей.

Отдельный параграф Рело посвящает интересному вопросу причин возникновения машин: «Я прекрасно понимаю, — пишет он, — традиционное и очень распространенное, даже можно сказать, противоположное господствующему мнению, что будто бы машины произошли от потребности в мощности, и я показал, что это мнение следует оставить по ряду внутренних причин.... Мы не хотим возражать, что в получении энергии и мощности машин не было необходимости. Наоборот, вопрос о силе является решающим в истории развития машин, так как сила связана с кинематическими понятиями.

Итак, существуют две линии, которые оказывают значительное влияние на развитие машины. Первая, и самая ранняя, соответствует необходимости в движении, а вторая — это та, которая вызвана потребностью энергии. Эти два направления развиваются одновременно, объединяются там и тут, чтобы затем опять разделиться, причем оба действуют на усовершенствование машины. Война, строительство, перевозка грузов понуждают увеличивать потребности силовых установок. Со времен мануфактур многие приборы и приспособления обогащают изобретение транспортных средств. Сегодня при использовании абстрактного подхода применяются два пути: один при изучении двигателя, где в центре внимания вопрос о силах и их передаче, другой — при рассмотрении исполнительного механизма, где изучаются скорости и ускорения. Различным является также мыслительный процесс, в котором развивается методология этих двух направлений, в связи с этим вырабатывается и своеобразная методика изучения машин»⁶¹.

⁶¹ *Reuleaux F. Theoretische Kinematik. S. 238–239.*

Приведенная выдержка лучше всего характеризует направленность идей Рело относительно кинематики в развитии машин и в их синтезе.

В целом шестая глава представляет интерес как один из первых очерков генезиса современной техники и ее первых шагов. Как мы видели, Рело здесь обращает внимание на характер движения.

Седьмая глава посвящена описанию условного языка обозначений, с помощью которого, по мнению Рело, можно было описать машину и ее работу.

Систематика и анализ облегчаются благодаря символическому языку, предложенному Рело, который, как в химии, устанавливает краткие символы для кинематических элементов и их отношений друг к другу. Так, цилиндрическая пара обозначается как C , призматическая пара как P , винтовая пара как S . Четырехцилиндровая цепь, установленная на звено d и приводимое в движение звеном b , записывается так: $(C_4^{\parallel} P \perp)_d^b$, где обе параллельные черты обозначают параллельное положение четырех осей цилиндров. Кривошипно-ползунный механизм соответственно записывается как $(C_3^{\parallel} P \perp)_c^d$, так как призматическая пара расположена вертикально по отношению к осям трех цилиндров. Соответственно качающийся кривошипно-кулисный механизм, также состоящий из трех параллельных цилиндрических пар и одной вертикальной по отношению к ним призматической пары, но у которой звено b неподвижно, в то время как весь привод в целом, приводимый звеном d (шатунном осциллирующей паровой машины), символически записывается так: $(C_4^{\parallel} P \perp)_d^b$.

Если машину анализировать таким образом, то она раскладывается на отдельные приводы и элементарные пары, что дает возможность искусственно, переставляя их в той или иной последовательности, создавать новые приводы и машины, при помощи правил кинематики дополнения цапфы, кинематической реверсии, замены силового замыкания на замыкание пары и цепи. Но Рело особо подчеркивает, что подобный синтез не заменяет изобретательского творчества, основанного на интуиции, а должен лишь поддерживать или дополнять это творчество.

Однако разработанный им символический язык кинематики оказался таким же нежизненным, как и предложенный его предшественниками. Попытки изобрести «язык знаков» ни к какому результату не привели и имеют только историческое значение.

Восьмая глава монографии содержит кинематический анализ; она является одной из важнейших в трактате Рело. Под этим тер-

мином Рело понимает разложение механизма на цепи и пары, т.е. то, что теперь называется структурным анализом. «Анализ кинематической системы, – пишет он, – состоит в ее разложении на такие части, которые с кинематической точки зрения являются ее элементами, и в установлении порядка, в котором они входят в кинематические пары и кинематические цепи. Все конструктивные характеристики при этом остаются без внимания»⁶².

Рело начинает свой анализ с исследования «простых машин»: рычага, наклонной плоскости, клина, блока, полиспаста, винта. Он указывает, что в различных учебниках эти приспособления именуются по-разному. Но с кинематической точки зрения они не являются машинами, а только приспособлениями; в некоторых случаях они могут входить в состав цепи как элементы пар. Например, клин может входить в состав пары, обеспечивающей поступательное движение, винт входит в состав винтовой пары и т.д. Только полиспаст является замкнутой кинематической цепью. Рело приходит к заключению, что они представляют собой смесь кинематических задач. Среди них есть замкнутые пары и пары с силовым замыканием (рычаг является примером вращательной пары с силовым замыканием; наклонная плоскость – призматическая пара, также с силовым замыканием; винт – винтовая пара; клин – (двух) трехзвенная призматическая цепь; подвижный блок – трехзвенный механизм с неопределенным движением). Для того чтобы понять простые машины, следует обратиться к истории становления машин. К тому же понятие простых пар статическое и не имеет отношения к кинематике. Затем Рело переходит к рассмотрению некоторых важных кинематических цепей.

Он рассматривает четырехзвенный механизм с цилиндрическими парами, параллельный шатунный механизм, антипараллельный шатунный механизм, а также различные шатунные и кулисные механизмы.

Рело начинает анализ с четырехсторонника, включающего четыре параллельные цилиндрические пары. При закреплении одного из звеньев этой кинематической цепи получается механизм, характеристика которого зависит от размеров звеньев и от той роли, которую выполняют кривошипы. Рассматриваются все возможные случаи такой цепи: звенья разной величины, при различных закрепленных звеньях; ведущие звенья могут быть кривошипами или производить качательное движение. В случае равенства попарно двух противоположных звеньев получаются

⁶² Vgl.d. S. 272.

цепи с двумя равными кривошипами. При этом для вывода соответствующего механизма из мертвого положения предлагаются конструктивные варианты: например силовое замыкание с помощью второй подобной цепи.

При помощи замыкания пар кривошипный параллелограмм можно перевести в антипараллелограмм, который может принимать любые положения, не теряя принудительности движения. Из кривошипного параллелограмма так можно получить механизм антипараллельный кривошипный, в зависимости от закрепленного звена могут получиться разные механизмы.

Рело указывает, что теоретически можно получить очень интересный механизм, если величина кривошипа равна величине закрепленного звена, а два противоположных звена также равны между собой (рис. 15). Из этой цепи можно получить два типа механизмов, закрепляя или одно из меньших звеньев, или одно из больших.

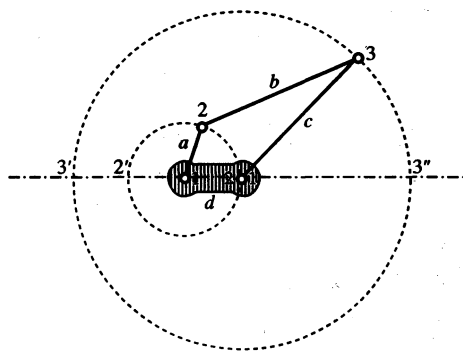


Рис. 15

Далее Рело переходит к построению кривошипно-ползунного механизма. Чтобы показать, как он образуется из шарнирного четырехсторонника, он заменяет один из кривошипов двухкривошипного механизма ползунком, движущимся в круговом пазе, центр которого совпадает с центром заменяемого кривошипа. Тогда, перенося этот центр на бесконечность, мы получим кривошипно-ползунный механизм. При перемене закрепленного звена из этого механизма можно получить кулисный механизм, а также механизм с качающимся ползунком, применяемый на паровых машинах. Рело рассматривает здесь варианты механизмов, получаемых из такой кинематической цепи. Всего в зависимости от закрепленного звена можно получить четыре разных механизма.

Если мы вернемся к цепи с попарно равными противоположными парами звеньев и сделаем пару больших звеньев бесконеч-

но длинными, то получим механизм (рис. 16). Рассматриваются также варианты такой цепи. Далее Рело говорит: «До сих пор мы не рассматривали диаметры цилиндрических пар, которые входят в шарнирный четырехзвенник. Но в действительности иногда приходится прибегать к изменению диаметра цилиндрических пар»⁶³. Все же в этом случае кинематика по-

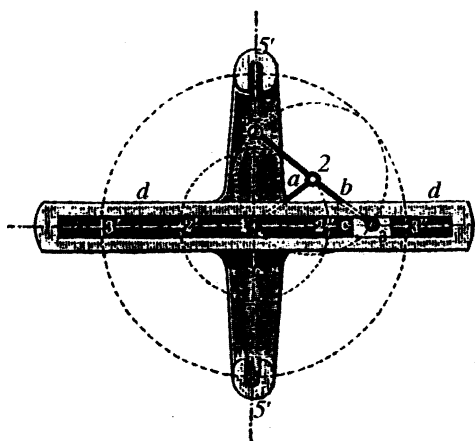


Рис. 16

лученного механизма оказывается не совсем ясной (рис. 17, 18). Конструктивно подобные механизмы можно выполнить в различных вариантах. При этом увеличиваться может как диаметр пары сочленения с основанием, так и диаметр цапфы. Рело рассматривает различные механизмы, получаемые таким образом.

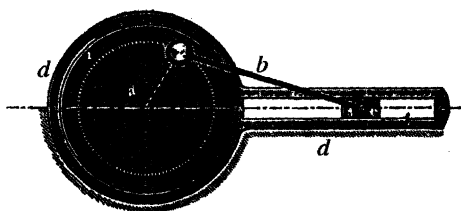


Рис. 17

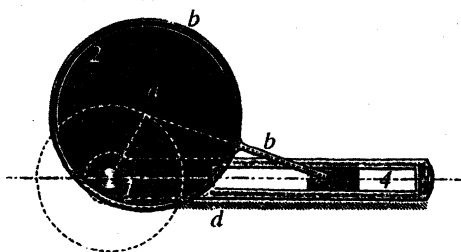


Рис. 18

Далее он переходит к анализу случая, когда направляющие ползунков расположены под прямым углом друг к другу. Некоторые варианты этого механизма применяются при конструировании муфт сцепления.

Если возвратиться к исследованию шарнирного четырехзвенника с заменой второго кривошипа ползунком, движущимся по окружности, то можно сдвинуть центр этой окружности, который ранее был на продолжении закрепленного

Если возвратиться к исследованию шарнирного четырехзвенника с заменой второго кривошипа ползунком, движущимся по окружности, то можно сдвинуть центр этой окружности, который ранее был на продолжении закрепленного

⁶³ Reuleaux F. Theoretische Kinematik. S. 303.

звена. Относя затем его на бесконечность, получим кривошипно-ползунный механизм, у которого направляющая ползунка проходит через цилиндрическую пару закрепления кривошипа. Таким образом, разнообразие кривошипно-ползунных механизмов еще более увеличивается.

Рело разбирает затем те механизмы, которые можно получить из этой цепи, поочередно закрепляя одно из звеньев. Интересными оказываются особые случаи, когда бесконечно большими станут два звена, а не одно звено четырехзвенника. Пример такого механизма показан на рис. 19. При этом крестообразная муфта становится X-образной. Из такой цепи можно получить механизм с вращающимся или качающимся кривошипом.

Далее Рело сводит все разработанные им механизмы в семь таблиц⁶⁴, обозначаемых буквами алфавита. В каждой таблице

приводится наименование механизма, его шифр на языке знаков Рело и схема механизма. Первая таблица (А) посвящена механизмам шарнирного четырехзвенника, приведены схемы восьми механизмов. В следующей таблице (В) приведены схемы шести

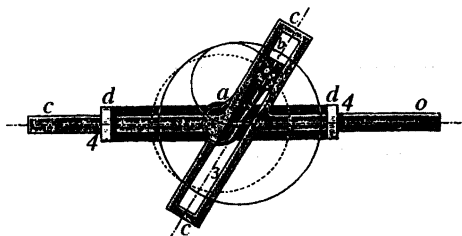


Рис. 19

кривошипно-ползунных механизмов. В третьей таблице (С) приводятся схемы трех кулисных механизмов с двумя направляющими. В четвертой таблице (D) приводятся схемы четырех механизмов кривошипно-ползунных с отклонением. Пятая таблица (Е) включает схемы трех кулисных механизмов с двумя направляющими, расположенными под углом. Шестая таблица (F) включает четыре механизма трехзвенных кулисно-рычажных механизмов и последняя (G) – два механизма с подвешенной кулисой. Таким образом, в этих таблицах включено тридцать схем механизмов.

Особое внимание Рело уделяет шатунным механизмам. Он приводит их разновидности и на этом примере доказывает важность кинематического анализа, ибо с его помощью мы можем из одного механизма получить несколько новых. Затем он рассматривает уменьшение и увеличение числа звеньев в кинематической цепи.

Следующие параграфы содержат описание сферических механизмов. Рело рассматривает эти механизмы, как подобные

⁶⁴ Vgl.d. S. 323–325.

А. Шарнирные четырехзвенники (C_4'').

1) Кривошипно-коромысловый механизм (C_4'')^{d=b}



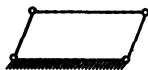
2) Двухкривошипный четырехзвенный механизм (C_4'')^a



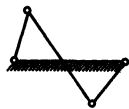
3) Двухкоромысловый механизм (C_4'')^c



4) Параллелограмм ($C_2'' \parallel C_2''$)^{d=b=a=c}



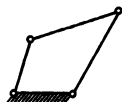
5) Антипараллелограмм с кривошипами, вращающимися в противоположных направлениях ($C_2'' \geq C_2''$)^{d=b}



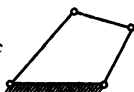
6) Четырехшарнирный антипараллелограмм ($C_2'' \geq C_2''$)^{a=c}



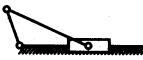



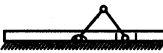
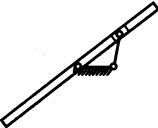
7) Двухкривошипный механизм ($C_2'' \square C_2''$)^{d=a}



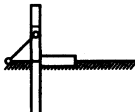

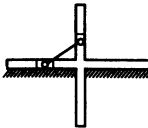
8) Двухкривошипный равнобедренный механизм ($C_2'' \geq C_2''$)^{b=c}



Кинематический анализ
В. Кривошипно-ползунные механизмы ($C_3''P^\perp$).





9) Кривошипно-ползунный центральный ($C_3''P^\perp$) ^d	
10) Кривошипно-кулисный с качающейся кулисой ($C_3''P^\perp$) ^b	
11) Кулисный с вращающейся кулисой ($C_3''P^\perp$) ^a	
12) Четырехзвенный с поступательным ведущим звеном ($C_3''P^\perp$) ^c	
13) Двухшатунный механизм ($C_2'' \leq C''P^\perp$) ^{a = b}	
14) Синусный механизм ($C_2'' \leq C''P^\perp$) ^{a = b}	

С. Механизм с крестообразными звеньями ($C_2''P_2^\perp$).

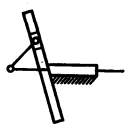

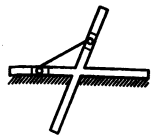
15) Синусный механизм ($C_2''P_2^\perp$) ^{d = b}	
16) Механизм с вращающимся крестом ($C_2''P_2^\perp$) ^a	
17) Механизм эллипсографа ($C_2''P_2^\perp$) ^c	

Кривошипно-ползунные механизмы с отклонением

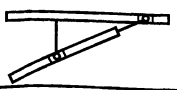
D. Механизмы с поступательной парой ($C_3^{\prime\prime}P^+$).

18) Кривошипно-ползунный с эксцентриситетом ($C_3^{\prime\prime}P^+$) ^d	
19) Кривошипно-кулисный с качающейся кулисой ($C_3^{\prime\prime}P^+$) ^b	
20) Кулисный с вращающейся кулисой ($C_3^{\prime\prime}P^+$) ^a	
21) Кривошипный с поступательной парой ($C_3^{\prime\prime}P^+$) ^c	

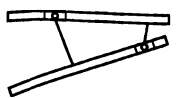
E. Механизмы с крестообразными звеньями ($C_2^{\prime\prime}P_2^{\square}$).

22) Синусный с наклонной шайбой ($C_2^{\prime\prime}P_2^{\square}$) ^{d=b}	
23) Эллипсограф ($C_2^{\prime\prime}P_2^{\square}$) ^a	
24) Эллипсограф ($C_2^{\prime\prime}P_2^{\square}$) ^c	

F. Простейшие цепи с перекрестными звеньями (CP^+CP^{\perp}).

25) по 28) Кинематические четырехзвенные цепи	
---	---

G. Механизмы с подвешенной кулисой (CP^+)₂.

29) по 30) Механизмы с двумя поступательными звеньями	
---	---

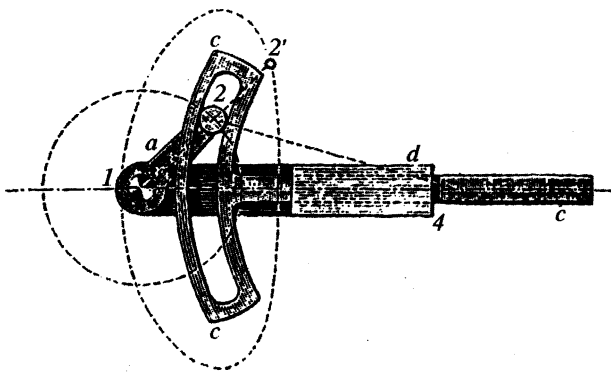


Рис. 20

плоским механизмам. Так, он строит шарнирный четырехзвено-ник, у которого оси всех четырех шарниров пересекаются в одной точке. Здесь Рело излагает элементы теории пространственных механизмов. Последний раздел посвящен вопросам уменьшения числа звеньев в кинематической цепи. Как указывает Рело, если имеется полная кинематическая цепь и необходимо, чтобы ее часть произвела определенное движение так, чтобы не использовать все движения, заключенные в цепи, то можно одно звено изъять из цепи, так что она все же сможет произвести нужное движение. При этом пару образуют соседние из изъятых звенья. Такая цепь будет иметь на одно звено меньше исходной.

В качестве примера Рело производит подобное преобразование с кривошипно-ползунным механизмом. В случае, если необходимо оставить только движение ползунка, можно изъять шатун и присоединить парой ползунок непосредственно к кривошипу. Это можно выполнить, как показано на рис. 20, связав ползунок с полый дугой, в полости которой ходит ползун, жестко скрепленный с кривошипом. Теперь цепь имеет только три звена, но необходимое движение ползунка остается выполнимым.

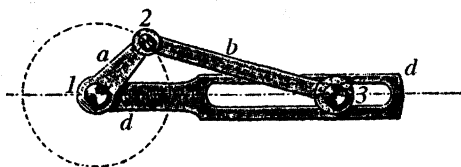


Рис. 21

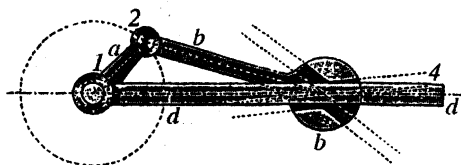


Рис. 22

На рис. 21–28 показаны дальнейшие примеры подобной операции.

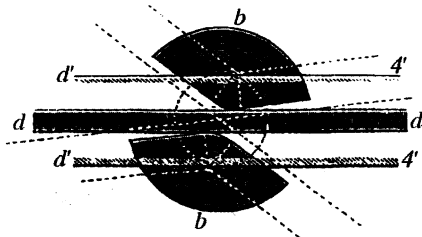


Рис. 23

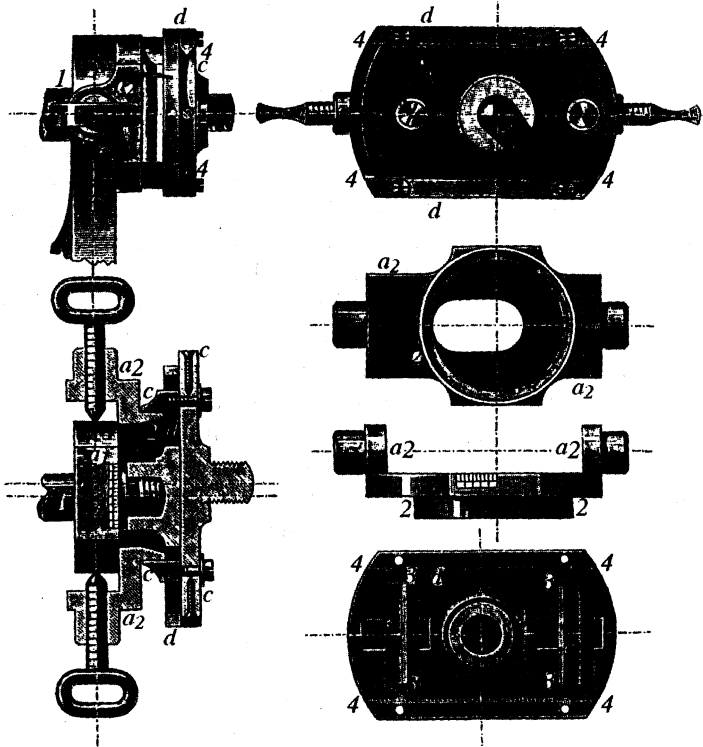


Рис. 24

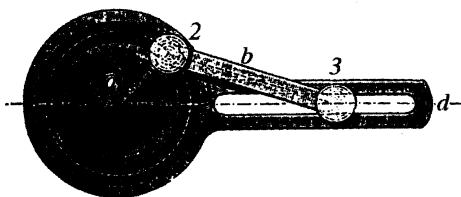


Рис. 25

И, наконец, можно увеличить число звеньев кинематической цепи. Это можно выполнить, включая новое звено в кинематическую цепь, которое не изменит движений.

Девятая глава монографии посвящена анализу механизмов, которые получают от сочетания кривошипно-ползунного механизма с жидкостью или газом, заключенным в определенной емкости.

Как указывает автор, после того, как в предыдущей главе досконально был изучен анализ всех модификаций кривошипно-ползунных механизмов, следует произвести анализ механизмов того же класса, делая еще один шаг в область их практического применения. Это следует сделать, чтобы показать, какое значение имеет такой анализ для практического машиностроения.

Кривошипно-шатунные механизмы в их различных модификациях имеют широкое применение на практике. Особую роль из них играют те, в которых в кинематическую цепь с кривошипно-ползунным механизмом входят в контакт вода, сжатый воздух, водяной пар и т.п. жидкости и газы, которые оказывают на механизм силовое воздействие, например, типа насоса. Так получается силовая машина. При этом можно обнаружить много комбинаций, использование которых обогащает машиностроение.

Таким образом, следует кинематически изучить те механизмы, которые получаются, когда кривошипно-ползунный механизм входит в кинематическую пару со средой, оказывающей на него силовое воздействие. Операция при составлении подобной машины распадается на две части: первая состоит в образовании сосуда или кожуха из одного из элементов рассматриваемой цепи. Затем следует заменить один или даже два других звена

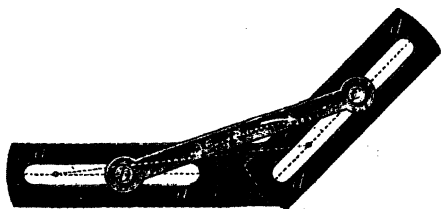


Рис. 26

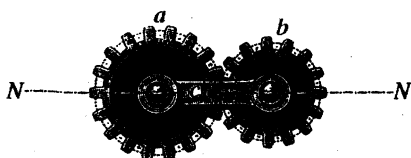


Рис. 27

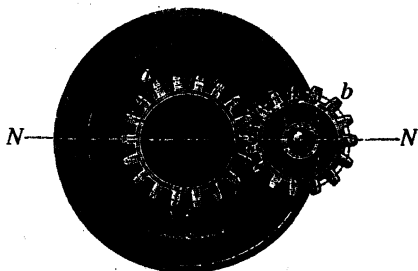


Рис. 28

цепи поршнем, который может двигаться в кожухе. Вторая часть операции состоит в нахождении таких кинематических приспособлений, которые могут обеспечить периодическое открытие, а затем замыкание этого кожуха или сосуда. В паровой машине такого типа приспособления вводятся под общим названием регуляторов. Сосуд и ползунок или поршень образуют тогда с поступающей жидкостью или газом кинематическую пару.

Рело приводит описание некоторых машин, построенных по этому принципу; в основном, это различные насосы.

Десятая глава называется «Анализ картерно-колесных установок». Открывает главу параграф о зацеплении колес с жидкостными органами. Как указывает Рело, после ознакомления с принципиальной возможностью использовать жидкий элемент в качестве силового звена в кривошипно-шатунном механизме, он хочет показать, что жидкие силовые звенья можно применять и в механизмах другой структуры. В этом случае мы заменяем одно из звеньев механизма жидкостным элементом. Таким образом, картерно-колесная установка состоит из цепи, образованной колесным приводом. При этом одно из звеньев заменяется картером, жидкость поступает под давлением в зазоры между зубцами колес и таким образом вступает с колесом в зацепление. В качестве картера выступает одно из колес или же оба колеса остаются на месте, а в качестве картера выступает жесткое звено. Эта задача получила большое число различных решений. Полученный механизм может быть применен для движения жидкости как насос или же в качестве привода для машины-двигателя.

Рело начинает здесь с цилиндрического зацепления. Он рассматривает применение этого зацепления, помещенного в картер и наполненного водой, в качестве насоса. При этом количество подаваемой воды зависит от зазора между зубцами, находящимися в зацеплении. Он останавливается на истории полученной машины и указывает, что очевидно она была изобретена в первой половине XVII столетия, поскольку Лейпольд в своем «Театре машин» отзывается о ней, как о весьма старом изобретении. Рело не приводит здесь правил построения зацепления, ссылаясь на свою книгу «Конструктор», где этот вопрос рассмотрен с достаточной полнотой. Эта же машина может применяться для подачи газа. Ее можно использовать и как обращенный механизм, заставив воду или газ вращать колеса. В этом случае мы получаем силовую водяную установку, или в случае, если активным веществом будет служить пар, — паровую машину для непосредственного вращения. В последнем случае машина была построена Мэрдоком, современником Уатта. При этом ему пришлось строить машину так,

чтобы зазор между плоскостями колес и стенками картера был минимальный, что все же ему удавалось плохо.

Еще одно применение, которое имеет эта машина, — это измерение количества воды, пропускаемой через насос. Количество воды устанавливается пропорционально числу оборотов колес.

И наконец, применением является подсоединение машины к суженному каналу подачи воды или масла, в этом случае она применяется для торможения потока. Для включения в этом случае к ней подсоединяется вентиль, машина подобной структуры может служить в качестве вентилятора⁶⁵.

В этой главе рассматривается еще несколько машин подобного типа и сообщаются сведения из истории техники.

Если мы остановимся на примере вращающегося в опоре колеса, то уже в цапфах и подшипнике вращающегося колеса мы узнаем принципиальную элементарную пару, один элемент которой — подшипник — неподвижен в пространстве, другой — принуждает цапфу к определенному движению, к вращательному движению, и только к нему. Эта цилиндрическая пара (рис. 30)⁶⁶, состоящая из полностью и вокруг обхватывающего полого цилиндра, переходит в призматическую пару (рис. 31), если диаметр цапфы становится бесконечно большим, т.е. принудительное движение становится прямолинейным путем. Третья элементарная пара — резьбовая пара (рис. 32), состоящая из ходового винта и гайки, которая кроме вращательного движения допускает также перемещение по прямой в направлении оси винта. По нему можно без труда рассчитать оба других путем снижения движения до нуля. Эти три элементарные пары Рело называет *нижними элементарными парами*, которые можно обнаружить в технике сотни тысяч раз. Элементы этих пар — чаще всего неподвижные тела. Но они могут спариваться также с нежесткими элементами, которые Рело делит на тянущие элементы (такие как трос, цепь и т.п.) и давящие элементы (вода, газ, пар, песок и т.п.). Трос наматывается на барабан или пропускается через катушку, давящий элемент помещается в трубы, цилиндры, футляры, образуя с ними также пару. Между тянущим и давящим элементами, названными Рело «*Track*» — гибкая тяга (рис. 32) и «*Flud*» (рис. 33), пружины стоят так же, как и «образующие органы», которые могут противостоят как тяговой силе, так и силам давления.

⁶⁵ В конце т. I «Теоретической кинематики» Рело приводит ряд таблиц с различными машинами.

⁶⁶ В данной таблице удачно систематизируются основные типы, описанные Ф. Рело в главах 8–10. *Weihe C. Franz Reuleaux und die Grundlagen seiner Kinematik. Berlin, 1942. Jahrgang 14. Heft 4. S. 98.*

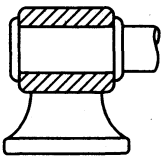


Рис. 29

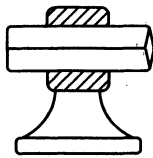


Рис. 30

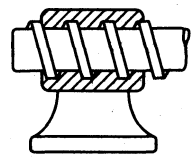


Рис. 31

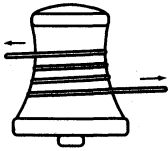


Рис. 32

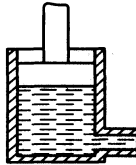


Рис. 33

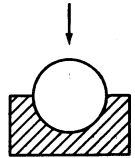


Рис. 34

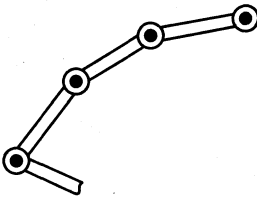


Рис. 35

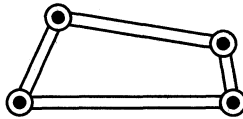


Рис. 36

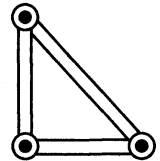


Рис. 37

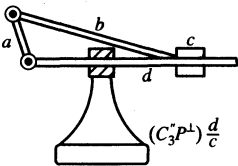


Рис. 38

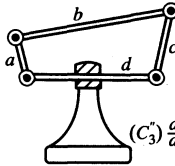


Рис. 44

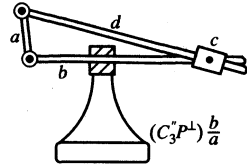


Рис. 42

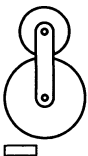


Рис. 39

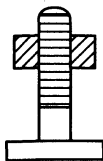


Рис. 40

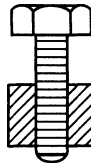


Рис. 41

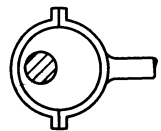


Рис. 43

Задача элементарных пар заключается в принуждении одного желаемого движения и исключении любого другого. Этого можно добиться также с помощью внешних сил. Цапфы водяного колеса держатся в основном только в полузакрытых опорах и удерживаются в них за счет веса колеса. Осевая опора железнодорожного вагона также имеет только половину вкладыша опоры, которая прижимается сверху к цапфе весом вагона. Для этой цели можно использовать также пружины и при тросе, проходящем через катушку тали удерживать его в контакте с катушкой за счет натяжения троса. Этот способ смычки Рело назвал силовым замыканием (рис. 34); он представляет собой противоположность парному замыканию, но при этом оба являются принудительными.

Элементы из двух и более пар могут теперь соединяться друг с другом в *кинематические цепи* (рис. 35), не создавая помех их относительному движению. Например, с одной стороны стержня можно расположить отверстие под подшипник, с другой – цапфу и этот стержень с несколькими такими же соединить, втыкая цапфы в отверстия соседних стержней. Такие кинематические цепи замыкаются (рис. 36), если они, так сказать, стыкуются сами с собой в одну бесконечную цепь. Далее, если изменение расположения одного звена цепи вызывает изменение расположения всех других звеньев, то такая цепь называется принудительно замкнутой. Если же только одно звено неподвижно удерживается в пространстве (рис. 37), например один из стержней жестко затянут тисками, то все это вместе называется *механизмом* или *приводом*.

Примером такого привода может служить так называемый кривошипно-ползунный механизм (рис. 38), который можно найти в любой паровой машине. Он имеет три цилиндрические пары, по одной на каждом коленчатом валу, на каждой шатунной шейке и на ползуне, и одну призматическую пару, которую образует ползун со своей направляющей скольжения. Неподвижное звено цепи – это рама машины, с которой жестко соединены направляющая скольжения и подшипник вала. Его движения не принудительны, потому любому положению вала соответствует одно и единственное положение кривошипа и соединенного с ползуном шатуна.

Вот из таких приводов, часть которых могут быть соединены друг с другом, и состоит машина. Рело дает точное и до сих пор еще не устаревшее определение понятия машины: «*Машина – это комбинация тел, способных оказывать сопротивление, устроен-*

ная так, что посредством их (механических) естественных сил они могут принуждаться оказывать определенное действие путем определенных движений»⁶⁷.

Слово «механические» сознательно опускается, так как возможно использование также электрических и химических естественных сил. При таком подходе машина аналитически распадается на приводы, те – на кинематические цепи, а цепи – на элементарные пары.

Низшие элементарные пары – это охватывающие пары, т.е. один элемент более или менее полностью охватывает другой. Но есть также *высшие элементарные пары*, у которых это не так. Два накатывающиеся друг на друга фрикционные колеса (рис. 39), два заходящие друг в друга фрикционные колеса, движущееся по рельсу колесо локомотива, которое удерживается на нем за счет силового замыкания, а именно весом вагона, – все это примеры высших элементарных пар, которые показывают, что и они широко распространены в машиностроении.

В высших элементарных парах оба элемента соприкасаются друг с другом только в одной точке, соответственно на одной прямой, в то время как у низших имеет место соприкосновение поверхностями.

Из этого следует, что для целенаправленного движения не безразлично, какой из двух элементов высшей пары будет неподвижен, в то время как у низшей пары ролики (катушки) обоих элементов могут меняться положением друг с другом, без ущерба для встречного принудительного движения. Если, например, взять винтовую пару, то здесь все равно, что гайка крутится, а болт неподвижен (болт, рис. 40), или болт крутится, а гайка неподвижна (винт с головкой, рис. 41). Такая перемена возможна и у звеньев кинематической цепи. Например, в вышеупомянутом кривошипно-ползунном механизме шатун можно сделать неподвижным, а неподвижную до этого соединительную тягу подшипника коленчатого вала и направляющей ползуна, наоборот, сделать подвижной. В этом случае говорят уже о кинематической реверсии, и привод называется *осциллирующим или качающимся кривошипно-кулисным механизмом* (рис. 42).

Паровая машина парохода с качающимся цилиндром – пример этому. Кинематическая реверсия приводит очень часто к новым видам применения уже известных приводов и позволя-

⁶⁷ Reuleaux F. Theoretische Kinematik. S. 38.

ет при изучении новых приводов вернуть их обратно к известным. Если цепочка цилиндров имеет только три звена, то она становится неподвижной, и ее называют *слишком закрытой* (см. рис. 37). Такие неподвижные цепи находят применение в железнодорожных конструкциях, например в строительстве мостов и стропильных ферм. Здесь подвижная машина превращается в жесткую строительную конструкцию, о чем можно судить по тому, что при расчете таких конструкций нередко (по так называемому кинематическому методу) звенья в их цилиндрических парах (узловых точках) условно принимаются как чуть подвижные. И из возникающих вследствие этого смещений звеньев замыкают на действующие в них силы тяги и давления.

Стоит упомянуть еще цапфы с дополнением. Две цапфы необходимо прижать друг к другу настолько плотно, чтобы они перекрывали друг друга, что делает невозможным исполнение, тогда одну из них можно сделать настолько большой, чтобы другая полностью уходила в нее, так что в пропорциональности движений ничего не нужно было менять. Так возникает эксцентрик (рис. 43), который используется для управления паровой машиной; роль необходимого элемента – полого цилиндра – выполняет тогда хомут вокруг эксцентрика. Одновременно возможны сразу несколько таких дополнений цапфы, их можно встретить в так называемых регуляторах оси. Дополнение цапфы показало себя как чрезвычайно полезное средство при отработке конструкций и при анализе приводов.

Рело весьма подробно проводит анализ шарнирного четырехзвенника и его вариантов. После того как в предыдущей главе были исследованы шарнирные механизмы с точки зрения их происхождения, в этой главе он рассматривает эти механизмы с точки зрения их использования в практике машиностроения. Он считал шарнирный четырехзвенник основным механизмом, из которого можно получить все другие. Исследовав преобразования в плоскости, Рело переходит к сферическим механизмам и к преобразованиям на сфере. При этом он указывает на родство обеих задач, так как если центр сферы уходит в бесконечность, то в предельном случае сфера обращается в плоскость. Преобразуя сферический четырехзвенник по аналогии с плоским, Рело получает 24, а вместе с плоскими преобразованиями – 54 различных механизма, которые он разделяет на 12 классов. Анализируя затем полученные механизмы, он приходит к выводу, что путем

преобразований можно получать новые механизмы, тем самым решая задачу синтеза.

В частности, он описывает ряд интересных механизмов паровых машин с колебательным и вращательным движениями поршня. Примером может служить механизм, изображенный на рис. 44, его описание дано в § 86.

Далее он приводит еще несколько интересных механизмов, применяемых в технике.

Рело завершает эту главу рядом выводов: он утверждает, что, используя изложенные им принципы, можно получить большое количество различных форм машин; кроме того, и что весьма существенно, можно сделать оценку качества машин и отбросить те из них, которые не могут обеспечить хороших результатов. «Одновременно найденные нами закономерности облегчают точную оценку значимости отдельных машин. Некоторые из большого числа вариантов оказываются практически полезными, напротив, многие оказываются непригодными для того назначения, для которого они предназначены, или же могут быть использованы для иных практических целей. Но даже и практически бесполезные машины могут сослужить службу научной кинематике, а следовательно, и машиностроению»⁶⁸.

Одиннадцатая глава посвящена анализу конструктивных элементов машин. Она является скорее эскизом исследования, чем самим исследованием. Содержание этой главы частично относится к области деталей машин, частично – к строительной механике машин. Как говорит Рело, ознакомившись в предыдущих главах с механизмами, нам предстоит теперь познакомиться с теми частями, из которых строятся машины. Это необходимо для того, чтобы понять сущность машины. Так, как в химии ищут элементы, из которых построены вещества, точно так же в кинематике следует ознакомиться и с теми элементами, из которых строится машина. На тему деталей машин написано много работ, но до сих пор неясно, какие детали следует вносить в этот курс. Только инстинкт, говорит Рело, заставляет ограничивать число изучаемых таким образом элементов машин.

Рело начинает с того, что указывает, какие элементы можно считать органами машин. Он классифицирует эти элементы, исходя из их кинематической сущности, следующим образом:

⁶⁸ Vgl.d. S. 388.

Негибкие элементы

- а) Соединения заклепки и заклепочные соединения, болты и болтовые соединения.
- б) Парные элементы и их соединения в органы винт и гайка (для передачи движения), подшипники и оси, валы, муфты, зубчатые колеса, маховики.

Гибкие элементы

- а) Органы, работающие с натяжением и их применение с замыканием в цепях ремни и ременные трансмиссии, канаты и трансмиссии.
- б) Органы с элементами давления поршни, насосные цилиндры паровые

в) Пружины

Рело указывает, что имеются еще многие части машин, которые применяются для построения различных технологических машин, о которых в курсах деталей ничего не говорится. В этой главе читатель знакомится с составными частями машин и с их кинематическим значением.

Так, разбирая сущность пары «винт-гайка», Рело указывает на их значение для крепления, но и для движения в виде кинематической пары. То же самое он производит с клиновым соединением, рассматривая его так же, как кинематическую пару. Он рассматривает также цапфы, оси, валы, муфты.

В состав машин могут входить в качестве элементов и целые механизмы, образованные более или менее сложными цепями (остановочные тормоза, муфты и подобные).

Содержание этой главы, по мнению Рело, вводит читателя в практику машиностроения.

Двенадцатая глава носит название «Анализ полной машины». Эта глава является очень важной, так как в ней приводятся мысли Рело о сущности машины и трактуется само это понятие.

После того как проведен кинематический анализ машины, а также изучены все составные части ее, следует перейти к изучению машины как целого. Тем самым будет замкнут круг, начатый в первой главе. Там Рело, исходя из целой машины, начал ее разложение на составляющие элементы. Производя такой анализ, он, в сущности, познакомил читателя и с характеристикой машины как целого. Рело говорит, что, таким образом, исходя из всего предыдущего анализа, он предпринимает теперь попытку ознакомления с машиной как с целым объектом.

Идеи Рело, изложенные в этой главе, послужили основанием для дискуссии, которая развернулась вскоре после выхода книги

в свет. Но это еще не все. Спор о машине и о ее сущности, начатый Рело, значительно повлиял на развитие механики машин, и дискуссии о машине не утихали и в XX веке. Можно утверждать, что это понятие остается невыясненным и в настоящее время. Рело начинает с критики концепции французских машиноведов, главным представителем которых был Ж.-В. Понселе. Согласно Понселе⁶⁹, машина обязательно включает три части: приемник или двигатель, передачу или трансмиссию и исполнительный механизм. Надо сказать, что механики, описывая машину, и задолго до Понселе, склонялись к тому, что машина имеет эти три составные части. В частности, такое мнение высказывает и Эйлер. Рело приводит ряд примеров, которые, по его мнению, доказывают недостаточность рассуждений Понселе о составе машины. Так, в прядильном станке нить, изготовляемая на станке, одновременно служит и для передачи движения. Но в то же время нить является обрабатываемым материалом. Станок, приводимый трансмиссией, не имеет двигателя⁷⁰. Двигатель, взятый сам по себе, не имеет органа для производства работы, т.е. лишен орудия. Действительно, целая группа технологических машин текстильной промышленности не может быть причислена к машинам. Возьмите далее паровую машину. Где у нее орудие? Значит, паровая машина тоже не целая машина, а только часть ее.

В качестве другого примера Рело приводит описание гидравлического барабана или стержневого подъемника. Напор воды прогоняет здесь часть своей собственной массы (после того, как она подействовала) через трубу и поднимает ее вверх. Что здесь будет приемником, рабочим органом, передачей? Подобный вопрос можно задать и относительно изобретения воздушного шара Монгольфье.

Рело исследует далее понятие орудия, рассматривает кинематическую сущность как орудия, так и машины в целом.

«Мы показали, – продолжает свои рассуждения Рело, – что «орудие», которое принято считать существенной составляющей каждой машины, отсутствует у значительной части машин. Затем мы убедились, что вторая существенная составная часть машины, «приемник», также во многих случаях отсутствует. То же можно сказать и относительно «передачи», которая считается существенной составной машины. В действительности в ряде случаев указывают, что простая передача движения является единствен-

⁶⁹ *Poncelet J.-V. Mécanique industrielle, exposant les principes de statique et de dynamique, les organes mécaniques et les moteurs. Bruxelles, 1839, § 11.*

⁷⁰ Рело игнорирует вопрос о двигателе.

ной целью отдельных агрегатов. Но ведь все члены кинематической цепи переносят более или менее силы от одной точки машины к другой, и все они могут рассматриваться как посредники между приводящей силой и сопротивлением. При этом нет никакой возможности установить, где начинается или заканчивается передача. Поэтому нельзя точно установить и третью часть машины (орудие). Все эти три категории – приемник, трансмиссия и орудие – могут существовать в одних машинах и отсутствовать в других, а следовательно, логически не могут считаться обязательными частями машины... Но все, что наши исследования нашли, сводится к тому, что основным качеством машины является следующее: полная машина является замкнутой кинематической цепью. В нее входит, как приводящая система, мотор или «привод», как мы его можем называть – один из членов цепи, по меньшей мере – кинематический элемент, а также обрабатываемое тело.

Законы, в соответствии с которыми привод передает свое движение машине для осуществления контакта между заготовкой и инструментом, являются теми же самыми, по которым все относительные движения осуществляются между кинематическими элементами и членами цепи машины»⁷¹.

Рассуждая так, Рело решает рассмотреть по очереди эти три части. Исследуя понятие орудия относительно машин разного рода, Рело указывает, что в токарном станке это – резец, в прокатном стане – вальцы, а в кране локомотива орудия нет. Следовательно, приходит он к выводу, есть два класса машин⁷²:

1) машины для перемены места – транспортирующие машины;

2) машины для изменения формы – преобразующие машины.

Наличие орудия, стало быть, не является необходимым для целой (полной) машины.

«То, что между ними существует принципиальное различие, доказывает следующее испытание. Мы нашли, что образование пары или замыкания между инструментом (в формоизменяющих машинах) и заготовкой является таким, что инструмент вместе с заготовкой образуют обволакивающую пару во взаимном движении, в результате работы машины образуется форма; совершенно то же самое получается в случае, в котором мотор подключен к формообразующей машине. Рассмотрим теперь в подобном положении произвольную элементарную пару, низшего или высшего рода, пусть это будет цапфа в подшипнике, винт в гайке или

⁷¹ Reuleaux F. Theoretische Kinematik. S. 476.

⁷² Vgl.d. S. 480.

поршень в цилиндре, мы везде заметим, что при взаимодействии элементов, образующих пару, изменение формы может быть на одном из элементов, но может происходить и на обоих»⁷³.

Далее Рело ставит вопрос, какое кинематическое значение имеет инструмент в классе преобразующих машин. Рассмотрим обычный сверлильный станок. Пусть надо просверлить стальной брусок. Относительное движение сверла воспроизводит точно такое же движение, как винт с гайкой. Следовательно, мы имеем в этом случае кинематическую пару винта с гайкой, которая находится в стадии возникновения. Можно показать, что любое обрабатываемое тело вступает с инструментом в кинематическую пару. Обратимся теперь к обработке железа на прокатном стане. Обрабатываемый материал образует с валками высшую кинематическую пару.

Таким образом, видно, что кинематическая цепь машины не прерывается в обрабатываемой точке, а образует кинематическую пару.

Если рассмотреть теперь прядильную машину и здесь можно обнаружить то же самое — нить образует с веретеном высшую пару. В данном случае даже волокна, образующие нить, действуют как орудие, каждое волокно относительно другого является инструментом, «винтовая» форма каждого волокна образует облекающую форму для другого. То же самое можно сказать и относительно транспортирующих машин. Здесь можно найти кинематическую пару, замыкающую цепь машины.

Итак, инструмент не есть общая категория для всех машин. Он ясно виден в рабочих машинах, а в транспортных его иногда трудно найти. Иногда же его вообще нет.

Рело указывает далее, что подобные формообразования или изменения формы происходят как между инструментом и заготовкой, так и между элементами всех остальных пар. Дело идет не о характере деформации, а о ее величине.

Таким образом, двигатель или ведущее звено, как его предлагает называть Рело, является звеном, или, по крайней мере, кинематическим элементом, так же, как и обрабатываемое тело. Законы, по которым ведущее звено свое движение передает в машину, те же самые, по которым осуществляется обработка материала инструментом.

Есть, однако, различие между формообразующими машинами и машинами местоизменяющими. Выше показано, что пара

⁷³ Vgl.d. S. 490–491.

между обрабатываемым материалом и инструментом такова, что в результате их относительного движения получается необходимая форма. То же самое происходит и со всеми другими парами, только если в первом случае формообразование является необходимым, то во втором – оно вредно и его следует избегать.

«Таким образом, мы видим, что все машины без исключения подчиняются одному и тому же закону. И мы приходим к тому же определению машины, с которого началось исследование.

Машина является соединением сопротивляющихся тел, которое устроено так, что с его помощью механические природные силы побуждаются действовать при определенных движениях»⁷⁴.

В машине отдельные детали соединены в кинематическую цепь. Движение в машине осуществляется потому, что звенья кинематической цепи находятся в положении, позволяющем использовать действие механически приложенных сил. Поэтому движение оказывается определенным. Это происходит как в машинах для изменения формы, так и в машинах для изменения положения тел.

Далее Рело переходит к анализу рецептора. Этот анализ относится к более ограниченному числу машин, чем анализ инструмента, ибо число машин-двигателей весьма ограничено. До сих пор бытовало мнение, что полная машина обязательно имеет в своем составе приемник, с помощью которого перерабатываются движущие силы природного происхождения. Очень важно, каким образом мотор подсоединяется к приемнику. Если мы рассмотрим, например, водяное колесо или турбину, то увидим, что в обоих случаях приемником являются лопатки. Но это еще не все, с одной стороны, лопатки образуют с водой кинематическую пару, а с другой – вода образует пару с водопроводящей трубой. Таким образом, действующее тело является здесь членом кинематической пары. Такое же замечание можно высказать и относительно других машин, приводимых в движение водой. Подобное происходит и в насосах: здесь вода, направляемая тормозным вентилем, вступает в соприкосновение с поршнем и с цилиндром.

Что касается водяного пара и других газообразных тел, то они применяются или в поршневых машинах, или же, как действующая сила, в турбодвигателях. Здесь также действующее тело образует с приемником кинематическую цепь.

⁷⁴ Reuleaux F. Theoretische Kinematik. S. 492.

Вода, ветер, пар и газы имеют между собой общим то, что они всегда являются силовым давящим органом. Есть еще одно обстоятельство, которое следует рассмотреть. В построении двигателя мы различаем два вида силовых машин: поршневые машины, которые воспроизводят возвратно-поступательное движение, а также водяные колеса, турбины и подобные машины непрерывного вращения. В этих последних вода — действующее тело.

Оба эти вида машин могут служить в противоположных направлениях: поршневая машина (двигатель в обратном движении) может служить насосом, то же можно получить, обернув силовую машину непрерывного вращения. Если мы подвергнем это положение анализу, то обнаружим, что рецептор и рабочий орган могут меняться местами, и, следовательно, для того, чтобы обнаружить сущность продуцируемого движения, следует установить сущность кинематической цепи и ее составляющих.

Учитывая все это, мы могли бы подойти к исследованию иначе и обнаружить иное разделение машин на два класса. К одному

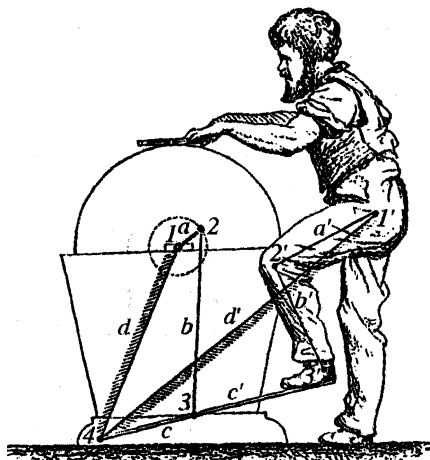


Рис. 45

классу относятся машины, которые производят преобразование формы, другой класс образуют меняющие место машины. При этом как те, так и другие могут иметь также функции иного класса. Рело указывает затем, что иногда при анализе машин следует принимать во внимание и работающего на ней человека. Таким образом, его тело входит в кинематическую цепь машины. В качестве примера Рело приводит (рис. 45) точильщика, работающего на точиле, которое он сам приводит

во вращение. В этом случае положение рецептора также является неопределенным: это доказывает, что понятие рецептора не является основным для полной машины.

Он заключает, что орудие, которое до сих пор считалось необходимой составляющей каждой машины, в значительной части машин вообще отсутствует; более того, в большом числе машин местоположение рецептора не является определенным. Таким образом, нельзя считать, что некоторые части машин имеют своим

назначением только передачу движения. В действительности все члены кинематической цепи в большей или меньшей степени испытывают силовые воздействия от одних точек машины к другим, все они могут служить передачей от действующей силы к сопротивлению.

Все эти три категории – рецептор, передача и орудие, могут присутствовать в машине, но логически их нельзя определить как ее существенные части.

Рело говорит, что проведенное исследование приводит к такому выводу: полная машина является замкнутой кинематической цепью.

В § 134 Рело анализирует свойства силовых и рабочих машин. Он говорит, что если мы рассмотрим водяное колесо, турбину, паровую машину, а затем токарный станок, строгальную машину, прядильную машину, кран, то обнаружим, что каждая из них является полной машиной. Три первых представляют собой местоизменяющие машины (машины, производящие движение). При установке машины-двигателя на фабрике можно заменить ее другой, с тем, чтобы она давала необходимую работу. Такая машина исполняет роль ведущего звена всей установки. Рело рассматривает также машины, приводимые в движение силой человека или животных. Он доказывает, что подобные машины являются полными машинами и замкнутыми кинематическими цепями.

Далее Рело рассматривает (§ 135) особенные части полных машин и дает их описательный анализ. Он пишет о том, что принятый анализ тех категорий, которые преподаются в школах механиков, показал, что с ними нельзя согласиться. Он обращает внимание на то, что каждая полная машина является замкнутой кинематической цепью, однако предлагаемая схема машины как замкнутой кинематической цепи, естественно, является абстрактной и мало что дает практическому механику. Необходимо иметь строгое определение, под которое подпадают все полные машины. В этом отношении три старые категории казались более очевидными. Если мы еще раз исследуем этот вопрос, то увидим, что две части ясно присутствуют в большинстве машин: это водитель и инструмент, они обычно находятся вне машины. Например, в паровой машине это – пар или давление пара. Труднее найти в этом случае инструмент, это – маховик или закрепленное на валу зубчатое колесо, или же шкив для ремня. Наоборот, в случае токарного станка, изделие (инструмент) легко различимо, а определить водитель – затруднительно. Вообще в силовых машинах легко различим водитель, а в рабочих машинах – обрабатываемое

изделие. Это обстоятельство отражается и в названии: паровая машина, водяное колесо, «бумагодеятельная» машина, гвоздильный станок. Следует заметить, что практика работы с машинами всегда причисляет к ним как силу, приводящую ее в действие, так и обрабатываемую заготовку, вопреки существовавшей до сих пор теории, по которой эти составляющие к машине не относились.

Далее, важной частью машины, или, точнее, группой частей, служат те приводы, которые производят на «водитель» или на обрабатываемый материал предусмотренное изменение формы или места. Поэтому мы отличаем *поршневую* паровую машину от парового *реактивного* колеса и т.д.

Привод, который играет в машине основную роль, будем называть *главным приводом*. На него обращает особое внимание практика машиностроения. Именно с главным приводом связан рецептор или орудие, и поэтому это положение следует теоретически обосновать. Например, в обычной паровой машине главный привод состоит из цилиндра и поршня с соответствующими кранами и кривошипно-шатунными механизмами.

Есть примеры, когда машина имеет в своем составе несколько главных приводов, которые периодически заменяют друг друга; в этом случае в составе машины есть управляющие механизмы, которые управляют этой сменой. В состав управляющих механизмов зачастую входят определенные устройства, которые обеспечивают равномерную подачу материала (заготовок). Можно их назвать *механизмами питания*. В ряде машин есть также группы механизмов, транспортирующие готовую продукцию и выводящие ее за пределы машины.

Наряду с управляющими механизмами, многие машины имеют еще один вид приспособлений, который регулирует подачу движущегося или обрабатываемого материала. Эти механизмы называются *регуляторами*. Часто управление и регулировка связаны между собой. В этих случаях есть части привода, которые служат для передачи движения, они зачастую служат для связи между двигателем и рабочей машиной.

Возвращаясь к понятию «полной машины», Рело рассматривает ее составные части. Так, во многих машинах основной передаточный механизм может быть сложным и состоять из нескольких частей, при этом промежуточные передаточные механизмы включаются в действие один после другого, и это включение повторяется периодически. Однако иногда даже и простой передаточный механизм часто имеет периодическое включение своих составных органов, в таком случае в состав передаточного

механизма включается распределительное устройство. При этом внутри распределительного устройства часто бывают механизмы питания. В противоположность механизмам питания часто встречается другое приспособление для переноса, которое из рабочей машины захватывает обработанную заготовку и выводит ее из машины. Эти механизмы можно назвать механизмами подачи или выдачи. Вместе с распределительными механизмами многие машины имеют еще один род механизмов, которые служат для прочности при передвижке обрабатываемого материала.

Таким образом, не учитывая механизмов, управляющих скоростью, мы получим такую схему состава полной машины (движитель и заготовка):

- а) главный привод, в который могут входить рецептор и инструмент;
- б) управление с механизмами питания и вывода продукции;
- в) регулятор, с подчиненным ему переключателем и выключателем;
- г) система привода или трансмиссия как отдельный обособленный механизм⁷⁵.

Подобный анализ будем называть *описательным анализом машины*.

Очевидно, что учету значения машин способствует упомянутое выше деление их на формообразующие и местоменяющие машины. При исследовании машин следует использовать описательный анализ, а затем абстрактный анализ механизма. При этом следует учесть, что описанные категории не являются обязательными и, кроме упомянутых частей, могут существовать еще некоторые специальные устройства.

Отдельный параграф Рело посвящает ряду примеров *описательного анализа полной машины* (§ 136).

Последняя часть этой большой главы посвящена важному принципиальному вопросу – значению машины для общества (§ 137). Автор утверждает, что несомненно то, что становление индустрии культурных народов обусловлено изобретением и введением паровой машины.

Народы, оказавшиеся в стороне от быстрого потока современной культуры, и сейчас пользуются силой воды, например в строительстве мостов. У них распространено ремесленное производство стекла, ткацких и других товаров. В старину мебель, замки, посуда производились поштучно, и ремесленник заботился о

⁷⁵ Reuleaux F. Theoretische Kinematik. S. 505.

красоте форм. Сейчас, с развитием фабричного производства, все изделия и товары производятся при помощи механизмов.

Паровая машина помогла также горному делу тем, что приняла на себя подъем и спуск рабочих, выкачку воды, дала возможность работать на больших глубинах.

При помощи паровой машины возникло текстильное производство. Она помогла также созданию других направлений индустрии. При этом происходит концентрация труда, замена мелких разбросанных точек ремесленников организованными фабриками.

Рело обращает также внимание и на постоянный рост мастерства среди рабочих.

Очень важным является и производство машин при помощи машин. Именно этому процессу мы обязаны, например, большим распространением швейных машин. Вообще фабричное производство культурных государств стремительно переходит к машинному производству машин – это, отмечает Рело, показали международные выставки.

Таким образом, в самое ближайшее время производство машин приведет к созданию новых машин, и вся машинная техника получит быстрое развитие.

Фабричное производство развивается в направлении всеобъемлющего машиностроения. Рело пишет о машинах с таким воодушевлением, что его можно признать поэтом машинной техники: «Существенно то, что польза машинного производства выясняется из приведенных рассуждений: при этом часто не учитывают энергетический ресурс, что является неудобством вышеприведенного подхода. При избегании этого недостатка достигается такой уровень производительности рабочей машины, при котором она будет соответствовать силовой установке»⁷⁶.

Рело отмечает при этом, что в народном хозяйстве машинный фактор не служит к улучшению условий труда: рабочий вопрос и машины находятся «на противоположных позициях». Современный рабочий становится в сущности лишь придатком машины, которая принимает на себя большую часть исполняемой работы. Развитие машин направлено в сторону полной замены человека машиной: ловкость изобретателя заставляет «одушевляться» части машины и, печальная ирония, – человек становится лишь слугой машины. Но помимо большой индустрии, могут быть и малые машины, которые смогут поднять производительность труда

⁷⁶ Vgl.d. S. 506–523.

ремесленников, не зависящих от крупного капитала. Основное направление развития машин в идеале – чтобы они работали без людей.

Он предсказывает появление новых видов транспорта. Кроме того, появятся и дешевые малые двигатели, которые облегчат труд ремесленника.

Так Рело набрасывает эскиз развития машинного производства в будущем, и, как мы теперь знаем, великий машиностроитель во многом не ошибался, и его прогнозы оказались достаточно реалистичными.

Последняя, тринадцатая глава монографии посвящена кинематическому синтезу.

Кинематический анализ, который был рассмотрен, имеет в качестве своей противоположности кинематический синтез. Анализ знакомит со свойствами принужденного движения, осуществляемого с помощью элементарных пар, кинематических цепей и механизмов. Основной задачей синтеза при построении машин является найти такие пары, кинематические цепи и механизмы, с помощью которых может быть осуществлено необходимое принужденное движение. Будем различать, говорит Рело, два направления синтеза, которые назовем прямым и непрямым синтезом; каждый из них распадается на два направления: общий и специальный.

Прямому кинематическому синтезу Рело посвящает § 139.

Прямой, и к тому же общий, синтез служит для решения, какие механизмы в каждом конкретном случае необходимы для требуемого изменения места или формы, заготовки, подлежащей обработке, или для использования в машине некоторой природной силы. В качестве примера можно привести зубчатое зацепление и кулачковый механизм. Даже самый поверхностный взгляд показывает, что этот путь не является легким. Ибо анализ уже показал, что одно и то же движение может быть получено при помощи самых разнообразных механизмов. Таким образом, синтез может дать большое количество различных вариантов, но не обнаружит лучшего из них. Последнее невыполнимо из-за того, что практическая сторона отдельных решений зависит не от кинематических условий. Так, две паровые машины различной конструкции могут быть при определенных условиях равноценными, равнопригодными, хотя кинематически они будут различными.

Таким образом, можно прийти к заключению, что прямой метод синтеза практически не применим.

Что касается специального прямого синтеза, то он сводится к выбору подходящей для конкретного случая кинематической пары. Несмотря на то, что это возможно, Рело считает, что дальнейшее исследование проводить не рационально, так как ранее было доказано, что практически более приемлемым является решение не с помощью пар, а с помощью цепей. Но и в этом случае метод практически не дает хороших результатов.

Затем Рело переходит к непрямому кинематическому синтезу. Этот метод состоит в том, что мы заранее предусматриваем возможное решение. Задача кажется затруднительной, но нужно учесть то, что количество различных пар и количество различных цепей не велико и поэтому практически обозримо. Что касается непрямого специального синтеза, то он приводит к обозримому количеству решений. Из анализа известно, что число различных элементов является обозримым и, очевидно, в этом направлении синтез может развиваться.

В таком случае задачей общего непрямого синтеза является: провести с кинематическими цепями такую же операцию, какая выполняется в специальном синтезе для кинематических пар. Число простейших кинематических цепей, каждый элемент которых входит только в две пары, не является большим, и обозрение возможных цепей вполне возможно. Таким образом, Рело приходит к заключению, что не прямой метод синтеза может привести к практически приемлемому результату.

Следует отметить, что Рело в своих рассуждениях не отличает синтез механизмов от синтеза машин, и его рассуждения больше относятся к возможности синтеза машин, чем к синтезу механизмов.

Общему обозрению методов синтеза посвящен § 141 его фундаментального труда.

Рело указывает, что надо дать читателю ознакомление со всеми возможностями синтеза. Кинематический синтез распадается на прямой и не прямой, из которого каждый может быть общим или специальным. Прямой синтез должен выбрать из круга приемлемых кинематически воспринимаемых тел по законам цепей парообразования подходящие цепи и пары. Но тут мы сталкиваемся с большими затруднениями, которые приводят к выводу, что метод практически неприменим. Непрямой синтез образует и подбирает в качестве специального синтеза возможные элементарные пары и связывает полученные кинематические пары в кинематические цепи. Из расположенных планомерно областей пар и цепей выбирают решение, пригодное для конкретного случая.

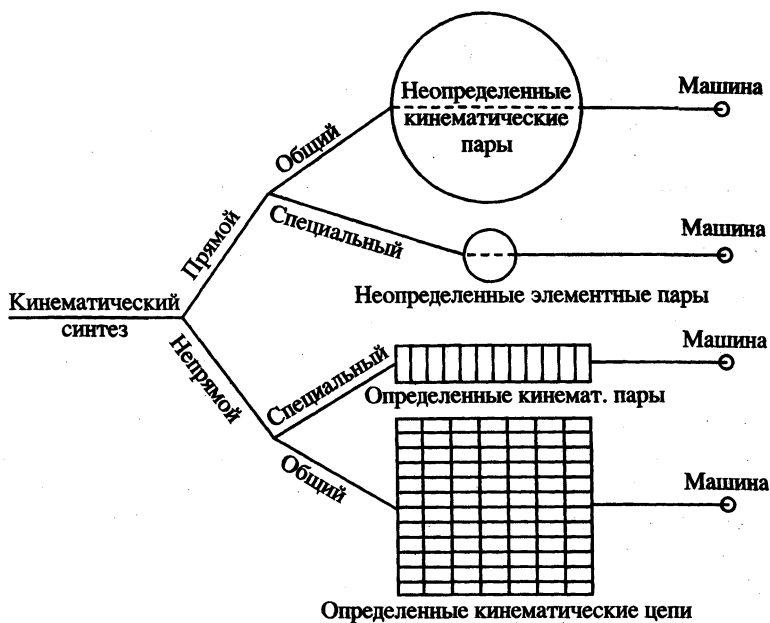


Рис. 46

С помощью найденного решения строят механизм, а затем машину. При рассмотрении предложенных решений основную роль играет интуиция.

Затем Рело переходит к рассмотрению возможных результатов, получаемых этим способом (изложенное поясняется рассмотрением схемы на рис. 46).

Рело начинает это рассмотрение с синтеза низших элементарных пар. Для упрощения он вводит разработанный им графический метод и начинает с того, что каждому виду пары присваивает буквенное обозначение. Он также обозначает отдельными значками органы, работающие на растяжение (ремни, цепи и т.п.) и на сжатие (воду, газ, пар).

Снова рассматриваются жесткие элементы и соответственно их соединения в пары. Замечаем, что элемент «сосуд» входит в пару с наполнителем, действующим на сжатие; их мы исключаем из числа рассматриваемых. Исключаем также орган, распадающийся на растяжение и парный к нему жесткий элемент. Остается, по мнению Рело, семь возможных элементов: винт, вращательная пара, призма, гиперболоид, конус, цилиндр, зубец. Эти элементы и поступают на рассмотрение синтеза. Из соответствующих пар

хорошо известны – винтовая, цилиндрическая и призма. Рело замечает при этом, что низшие пары в действительности таковыми не являются и нужные пары приходится подбирать. Он рекомендует действовать при помощи введенных им обозначений.

В параграфе § 143 Рело подобным образом рассматривает высшие кинематические пары, получаемые при возможных соединениях их элементов в пары.

В § 144 он рассматривает синтез зубчатых колес, но подбирает соответствующие пары лишь по их форме. Рассмотрев затем кулачковые механизмы и аналогичные им механизмы торможения, Рело переходит к общему рассмотрению пар из жестких элементов.

У Рело получается 7 классов пар из жестких элементов, представляемых неопределенным числом видов и неопределенным числом типов зависимостей от того, как сочетаются элементы в пары и какие формы при этом они принимают. При отбрасывании неподходящих пар, по мнению Рело, остается небольшое их число, из которого уже не трудно сделать выбор.

Подобную же операцию он производит с теми парами, которые включают элементы, работающие на растяжение, и элементарные пары, включающие в свой состав элементы, работающие на сжатие. При рассмотрении каждого из семи классов пар из жестких элементов рассматриваются пары с растяжимыми или сжимаемыми элементами. Все возможные подборы пар он производит с помощью введенных им обозначений.

После обозрения полученных кинематических пар, отбраковки тех, которые не подходят для конкретного случая, по его мнению, остается немного возможностей для построения кинематических цепей.

Некоторые предлагаемые им решения весьма интересны, но для использования его советов следует быть таким же квалифицированным конструктором, каким был сам Рело, чтобы выбрать даже из ограниченного числа кинематических цепей необходимую для конкретного случая цепь. И опять-таки, он не различает кинематического синтеза механизмов и синтеза машин, в своих рекомендациях применяя и те и другие возможности. Рассматривая цепи с поступательными элементами, он находит некоторые конструктивно достаточно сложные механизмы.

После рассмотрения возможных цепей с низшими парами он переходит к рассмотрению цепей с высшими парами: это, главным образом, различные формы кулачковых механизмов.

Затем Рело переходит к рассмотрению цепей, включающих зубчатые механизмы. Начинает он с цилиндрических колес, кото-

рые прижимаются друг к другу, и образование пары происходит в результате возникающего на сопротивлении ободов трения. Рело указывает, что используются также гиперболоидные колеса. Есть и более сложные пары. В качестве примера он приводит передачу трением, установленную на прессах Дика: она состоит из некруглых колес, трущиеся поверхности которых очерчены по спирали. Здесь нужно обратить внимание на приводы прокатных станков, в которых применяются передачи трением. Зубчатые колеса и соответствующие пары имеют различную форму в зависимости от их применения. Он описывает далее различные зубчатые передачи, применяемые в машиностроении.

Далее рассматриваются ременные передачи, разнообразие форм которых более ограничено. Затем он переходит к парам, включающим жидкое или газообразное звено, разнообразие которых так же ограничено, как и формы жестких звеньев.

Параграф 160 посвящен описанию сложных цепей. Как Рело указывает, после рассмотрения простых цепей, следует обратить внимание на сложные составные цепи. Их нельзя пропускать, так как они зачастую имеют важное практическое значение. Далее он приводит несколько примеров таких цепей из практики машиностроения. Последний параграф (§ 161) посвящен описанию примеров сложных цепей, соединяющих восемь отдельных цепей. В частности, сюда же он относит и планетарные механизмы.

Произведенный обзор различных способов синтеза приводит к совершенно иным результатам, чем те, которые до сих пор принимались на веру машиностроителями.

«Важнейшее из моих открытий, – говорит Рело, – это то, что область кинематических связей является более ограниченной, чем это предполагалось ранее. Из этого вытекает, что синтез может иметь значительный успех, как я, полагаю, доказал в предыдущей главе.

Весьма замечательно с точки зрения машинной практики, а также высшего и низшего образования, что главный успех машиностроения основан на очень малом числе кинематических цепей. Это есть: винтовая цепь, колесные цепи, кривошипная цепь, кулачковая цепь, цепи включения, роликовые цепи.

И, наконец, путем введения изображающих гибких элементов в замене ими жестких элементов к гибким цепям. Иные имеют большее или меньшее значение. Здесь следует вспомнить замечание, сделанное ранее в § 92. Я отметил там причину того, что вращающиеся паровые машины и насосы в своем большинстве включают кривошипные механизмы, поскольку они зачастую за-

ключены в картеры». Это поясняется следующим образом: среди кинематических цепей, а именно тех, которые в этих случаях применяются, кривошипная цепь является такой, которая работает в картере и может включать пары, имеющие возможность уплотняющего действия, а именно цилиндрическая и поступательная пары. Следовательно, изобретение инстинктивно приводит к такой цепи.

Мы видим также, что совершенно необходимо распространить синтез на всю область, по возможности последовательно действуя, так как это приведет к новым результатам. Возникает вопрос, каким путем это происходит? То, что изложено в этой книге, в этом отношении уже дает нам основные указания. Возникает мысль, что лучше было бы всю эту область рассмотреть полностью, пару за парой, цепь за цепью, избрав таким образом «кинематический синтез» в качестве учебного курса или темы отдельного исследования.

«Я все же не считаю такой путь правильным. Мне представляется более приемлемым в «Прикладной кинематике» рассмотреть аналитически и синтетически те механизмы, которые расположены по их значению. Здесь синтез, как мне это представляется, послужит одним из способов исследования, но не как обязательный, он должен использоваться с другими методами, чтобы осветить решение конкретного случая».

Следует сделать еще одно замечание. Рядом с успокаивающим чувством, что мы работаем не над безграничным множеством идей, занимаясь кинематикой, может возникнуть и противоположная мысль: не будет ли материал, излагаемый по новым принципам, скоро исчерпан? Не подобна ли эта область выработанной шахте, т.е. с научной точки зрения скоро ли она будет завершенной? Чем более мы стараемся упростить предмет нашего исследования, тем более этот вопрос обоснован. Тем не менее, это сомнение следует отбросить.

Ясная высота, на которую поднимает синтез, дает возможность как продвигаться вперед, так и возвращаться назад, чтобы пересмотреть те вопросы, которые остались неизученными. И тут видно, что возникает огромное количество неисследованных проблем. «Это, например, показывает попытка, когда мы пытались изучить планетарное движение: мы видим, что область сложных цепей далека от завершения. Обратим внимание на то, что при этом был рассмотрен только механизм с жесткими звеньями. Если мы попытаемся заменить в нужных местах элементы (подобные тем, которые выступают в машине в качестве обрабатываемых загото-

вок), имеющие особенности, какие природа предоставляет своим творениям, то мы обнаружим множество требований, которые направят абстрактную схему на новую доработку. Для практики с ее бесконечными требованиями, наоборот, скептицизм сразу же отклоняет благодушные и приводит к ясному пониманию, которое содержит признание простоты наших вспомогательных средств.

Я хотел бы коснуться еще одного вопроса, который я уже затронул во введении. В сущности, ему посвящена вся эта глава, — дело идет об изобретении механизмов. Я считаю, что изобретение механизмов искусно и научно выполнимо, в особенности на основе синтеза».

Рело считает, что это можно доказать. В действительности кинематический синтез облегчает нахождение механизмов лишь тем, кто изучил предмет с научной точки зрения: в этом случае ищущий сможет проникнуть глубже и точнее в поставленную себе задачу. Следовательно, кинематический синтез способствует умственной деятельности изобретателя, просветлению его идей. При помощи синтеза он скорее придет к поставленной цели.

Некоторые замечания автора, вынесенные им в примечания, имеют большое значение для установления генезиса его идей. Так, к своему определению понятия «машина» Рело приводит целый ряд определений этого понятия, высказанных машиноведами до него. Приведем эти определения.

Вейсбах: «Машинами называют все искусственные приспособления, при помощи которых силы производят действие, отличающееся от того, которое они могли бы произвести без них». Рело отмечает, что под это определение попадают, например, иголка, карандаш, палка, которые, очевидно, следует считать машинами.

Понселе: «Индустриальные или технические машины имеют целью производить работы с помощью двигателей или движущих сил, которые нам доставляет природа». В этом определении, замечает Рело, указано лишь одно из назначений машины.

Брессон: «Машина есть инструмент, имеющий общее назначение: действие некоей силы от точки ее приложения перенести туда, где она будет действовать, чтобы преодолеть сопротивление и произвести действие, выполнение которого при помощи непосредственно приложенной силы было бы затруднительным, а иногда невозможным». Что же такое инструмент? И как можно в научном определении пользоваться словом «иногда»? — Ставит вопросы Рело.

Рюльман: «Под названием машины мы понимаем соединение жестких, подвижных и неподвижных тел в одну неподвиж-

ную, неизменяющуюся, свободную систему, при помощи которой силы, при изменении их направления и величины, могут удерживаться в равновесии». Рело говорит, что по этому определению подвешенная железная цепь является машиной, а гидравлический пресс не является ею, ибо вода – не жесткое тело. В другом месте Рюльман почти повторяет определение Вейсбаха. В своем курсе «Общее машиноведение» он пишет, что машина есть соединение подвижных и неподвижных (почти исключительно) жестких тел, которое предназначено для восприятия физических сил, их переноса или по направлению, или по величине, и преобразования таким образом, что они могут выполнять определенные механические работы. Рело отмечает, что здесь приводится три различных определения – которому из них следует верить?

Кайзер: «Машины есть приспособления, служащие для переноса сил, для того, чтобы другие силы уравновесить или преодолеть и произвести движения с определенной целью». Рело замечает, что под это определение подпадает, например, канат корабля!

Шрадер: «Машина – это приспособление для изменения некоторой данной силы». Комментарий Рело: «Кратко и ясно, но совершенно непонятно, что такое изменение силы?»

Верникке: «Машина есть соединение тел, имеющее целью при помощи некоторой располагаемой силы выполнение некоторой работы». Рело пишет: «Здесь начало определенное, а продолжение непонятное».

Поппе: «Машинами мы называем все искусственные приспособления, при помощи которых движения вводятся по необходимости, преобразуются и переносятся в нужных направлениях». Рело возмущается: «При помощи «приспособлений» нельзя переносить движения и т.д.».

У Делоне в «Аналитической механике» (1868) дается такое определение: «Машины есть аппараты, предназначенные для переноса работы сил или также заставить побудить силу действовать на точку, не лежащую в ее направлении», – опять только свойства, нет пояснения и твердого определения.

Виллис: «Машина есть инструмент, при помощи которого можно выполнить некоторое отношение между двумя телами». Рело отмечает, что это определение можно назвать уравнением с двумя неизвестными, причем в дальнейшем стало ясно, что оно не удовлетворило последователей Виллиса.

Джулио: «Машиной называют каждое приспособление, которое предназначено для того, чтобы с помощью двигателя производить движение, изменять это движение и переносить измененное

движение на инструмент, который предназначен для выполнения некоторой работы». Рело комментирует: «Указываются свойства машины, но не говорится, что такое машина».

Лабулэ: «Имя машины придает каждой системе тел, которая предназначена для переноса сил». «Также и химических? – замечает Рело. – И при этом эти силы в отношении их интенсивности изменять и вызванное движение в отношении скорости и направления, преобразовывать в соответствии с ее назначением. А что такое система тел? Для чего она назначена и т.д.».

Беланже: «Машина – это одно тело или совокупность тел, которая предназначена для снятия с одного из тел определенных сил; и переносит на другие точки системы воздействие сил, которые вообще будут отличаться от исходных как интенсивностью и направлением, так и скоростью точек приложения». Рело говорит: «Опять – «определенные». Все это лишь описание, а не определение».

Гатон: «Каждая машина является приспособлением, которое предназначено для того, чтобы ввести двигатель в соотношение с обрабатываемым материалом». Рело не удовлетворен: «Приспособление, двигатель, обрабатываемый материал, отношение, – с логической точки зрения, сколько загадок!»

Наконец, универсальный лексикон Пьеррера: «Машина есть приспособление, при помощи которого выполняется движение, т.е. изменение места, или изменение формы тела, или вообще производится работа или механическое действие». И это описательное определение не удовлетворяет Рело, так как под него попадают многие объекты, не являющиеся машинами.

«Читатель может заметить, – замечает Рело, – что я пропускаю многие важные имена, такие как Мосли, Редтенбахер, Джолли, Кармарш, Хольцманн, а из других авторов пропущены Лангсдорф, Айтельвайн и другие. Однако и эти авторы не дают определения машины, они приводят лишь описание и классификацию».

Из старых ученых Рело приводит определения, данные Лейпольдом, Цайзингом, Витрувием.

Все эти определения, по его мнению, в основном являются описательными, о существенно-важном в них умалчивается.

«Теоретическая кинематика» Рело произвела на машиностроителей большое впечатление. Уже через два-три года она была переведена на французский и английский языки, в России В.Н. Лигин издал ее изложение. Во многих высших технических школах перешли на преподавание кинематики машин по Рело. Вместе с тем целый ряд идей Рело оказались недостаточно обоснованными

и вызвали возражения. Дискуссию по этому поводу развязал Т. Риттерсхаус статьей, опубликованной в журнале «Civilingenieur» («Гражданском инженерере») в 1875 г., признавая, правда, что до Рело в Германии не занимались кинематикой. «Только когда Рело в Цюрихе (если не ошибаюсь, в 1868 г.) в своих лекциях по машиностроению, а затем в Берлине, изложил новую систему кинематики, а Аронгольд также в 1866–1868 гг. начал читать лекции по кинематической геометрии, где изложил специальную математическую часть задачи, система Рело начала распространяться по всей Германии»⁷⁷. При этом Риттерсхаус отмечает, что Рело слишком сузил понятие облекающих пар, так как не учел, что, кроме отмеченных им, элементами пар могут быть шар, цилиндр без заплечиков и плоскость. Рело только излагает свои положения, но не доказывает их. Например, рассматривая задачу о сведении движения в общем случае к поступательному и вращательному, он не приводит необходимого доказательства. Возражает Риттерсхаус также против введения в число звеньев жидких и газообразных элементов: они встречаются редко, и, кроме того, вступая в пару, теряют свои особенности. Так, жидкая призма, в сущности, представляет собой только удлинение твердого звена. Поэтому, следуя Виллису, лучше было бы совсем опустить эти звенья.

Особенно сильное возражение встретила трактовка Рело понятия машины. По мнению Риттерсхауса, в этом вопросе Рело зашел слишком далеко: не следует перегружать кинематику исследованием приемника и орудия, оставив первый – физикам, а второй – технологам. Установить, что сегнерово колесо вступает с водой в кинематическую пару нетрудно, однако это не помогает решить кинематическую задачу. Достаточно будет, если кинематика поможет решить чисто кинематические задачи, входящие в проблемы двигателя и орудия. Риттерсхаус указывает также, что нельзя согласиться с рассуждениями Рело относительно синтеза механизмов, так как здесь отсутствуют какие-либо доказательства. В 1876 г. Риттерсхаус опубликовал статью о подвижности и принужденном движении кинематической цепи, основываясь на двух теоремах Мангейма. Однако Риттерсхаус все же высказывается в пользу «Кинематики» Рело, в которой, как он считает, подняты многие важные вопросы теоретического машиностроения.

В течение 1876 и 1877 гг. несколько статей опубликовал Теодор Бек (1839–1917), ученик Редтенбахера по Политехникуму

⁷⁷ *Rittershaus T. Zur heutigen Schule der Kinematik zugleich kritische Besprechung von Reuleaux's «Theoretische Kinematik» // Civilingenieur. 1875. Bd. XXI. S. 425.*

в Карлсруэ, видный историк техники⁷⁸. Он продолжил критику Риттерсхауса идеей Рело, но в более резких тонах. В первой статье он рассматривает введенное Рело понятие закрепленного звена кинематической цепи и приходит к выводу, что эти положения неприемлемы для практики. В частности, он указывает, что Рело, рассматривая некоторый механизм в плоскости, впадает при этом в абстракцию. Значительная часть статьи Бека состоит из подобных замечаний, в большинстве своем несправедливых.

Более серьезной была вторая статья Бека, посвященная анализу понятия машины. В этом определении Рело действительно допустил ряд спорных утверждений. Бек начинает с анализа самого слова «машина» и связанных с ним словами «механизм», «механика». Все они происходят от часто повторяющегося у Гомера слова *μηχανα* – «вспомогательное средство». Следовательно, первоначальное значение слова «машина», т.е. латинского *machine* и греческого *μηχανη* – «умело задуманное и искусно изготовленное вспомогательное средство». Понятие это непростое и поэтому некоторые механики, в частности Понселе, уклоняются от его определения, предлагая вместо этого чистое описание. Рело предложил определение, но совершенно недостаточное: под него попадают и некоторые природные образования, например источники, что признает и он сам⁷⁹.

Это произошло потому, что определение, предложенное им, не включает понятие искусственности, т.е. изготовления машины человеком. Далее, Рело указывает, что целью машины является выполнение «определенного движения», тогда как в действительности ее сущностью является выполнение определенной механико-технической работы. Таким образом, в определении, предложенном Рело, снимается различие между механизмом и машиной, а это ведет к смешению обоих понятий. Рело относит к машинам также весы и различные измерительные приборы. При чем критерием служит лишь признак определенности движения. Однако в этих приборах определенность движений служит не для производства механической работы, а для достижения других (различных) целей. Например, движущее устройство телескопа может быть механизмом или машиной, но сам телескоп остается

⁷⁸ *Beck Th. Bemerkungen zu F. Reuleaux's Kinematik über Stützung // Civilingenieur. 1876. Bd. XXII. S. 571–594; Über den Begriff «Maschine» // Bemerkungen zu F. Reuleaux's Kinematik. 1877. Bd. XXIII. S. 411–416; Noch ein Wort über den Begriff «Maschine». 1877. Bd. XXIII. S. 653–656.*

⁷⁹ *Reuleaux F. Theoretische Kinematik. Bd. I. S. 55.*

прибором. Поэтому подобные устройства нелогично относить к машинам.

Бек предлагает такое определение: «Машиной называется искусственное соединение сопротивляющихся тел, которое служит для выполнения определенной механико-технической работы и устроено с этой целью таким образом, чтобы механические силы, действуя с его помощью, производили определенное движение»⁸⁰.

На страницах того же журнала Рело выступил с возражениями против критики Бека⁸¹. Настаивая на правильности и точности своего определения, Рело ставит в упрек Беку то, что у него выпадают из рассмотрения такие важные приборы, как часы и весы. «Весы – это не механизм, а целый ряд таковых, и они составляют машину или, если хотите, аппарат, приспособление». Ведь называют же счетную машину Томаса машиной, пишет Рело, ибо она является таковой и по имени, и по существу, так как состоит из целого ряда соединенных между собой механизмов. Что касается понятий машины и механизма, то, по мнению Рело, он достаточно ясно осветил этот вопрос: задачей механизма является преобразование движений, поэтому он – составляющая машины, но не сама машина.

В третьей статье Бек опять настаивает на необходимости уточнений определений. Он утверждает, что в любом определении каждое слово имеет значение и поэтому слова следует подбирать так, чтобы избежать возможности двусмысленного толкования их механической сущности. Наибольшего напряжения спор достиг относительно часов, весов и теодолитов. Бек считает, что их все же следует считать не машинами, а измерительными инструментами, как это делает Редтенбахер. Тогда они найдут себе место и в научных исследованиях, ибо их теория частично относится к геометрии, а частично – к механике.

В 1877 г. профессор М. Ниман⁸² опубликовал в Берлине свой разбор труда Рело. В своем анализе он частично поддерживает возражения Риттерсхауса и Бека, но выдвинул и собственные. Ниман предлагает, например, определить кинематику в следующей форме: «Кинематика есть учение о взаимном движении поверхностей, не проникающих друг в друга». Определение, сводящее содержание кинематики только к учению о механизмах,

⁸⁰ *Beck Th.* Über den Begriff «Maschine» // *Civilingenieur*. 1877. Bd. XXIII. S. 416.

⁸¹ *Reuleaux F.* Über die Definition der Maschine. Als Beantwortung der Bemerkung des Hn Th. Beck // *Civilingenieur*. 1878. Bd. XXIV. S. 563.

⁸² *Niemann M.* Erläuterungen und Zusätze zu F. Reuleaux's Kinematik. Berlin, 1877.

оправдано ее историческим развитием. Однако это не увеличивает достоинств самого определения. Возражая Рело по поводу его определения машины, Ниман утверждает, что сущность машины заключается в передаче силы, поэтому наличие приемника и орудия в каждой машине совершенно обязательно: приемник и орудие являются органами приложения и получения силы. Как известно, эта мысль не нова.

Надо отметить, что все предлагаемые поправки и критические замечания относились, в сущности, к второстепенным вопросам, не задевая основных положений кинематики Рело. Однако важным было не только внесение в исследование вопроса о кинематической цепи и о ее составляющих, но и то, что впервые была указана важность кинематики для развития теории машин в целом. А слабые места в рассуждениях Рело заставили ученых исследовать именно эти неясные вопросы.

Так, в 1888 г. геометр Людвиг Бурместер (1840–1927), профессор Мюнхенской высшей технической школы, опубликовал «Учебник кинематики»⁸³.

Этот труд был, в сущности, полной сводкой всего того, что было известно к концу XIX столетия по кинематике, кинематической геометрии и по теории механизмов. Свое сочинение Бурместер назвал «Плоское движение», т. I; он предполагал выпустить и второй том, посвященный пространственному движению, но это ему не удалось. Бурместер считал, что в его учебнике представлены все возможности слияния теории и практики в машиностроении на основе геометрии. Он принимал геометрию движения как основу анализа механизмов и как средство для их синтеза. В отношении синтеза он считал, что аналитическая теория П.Л. Чебышева (работа 1854 г.) сложна для практического использования. В своих исследованиях Бурместер разработал новый раздел кинематической геометрии – кинематическую геометрию конечно удаленных положений плоской фигуры, совершающей движение в своей плоскости, и нашел две кривые, важные для геометрического синтеза: кривую круговых точек и кривую центров. Кривая круговых точек – это геометрическое место таких точек плоской фигуры, четыре положения которых лежат на одной окружности, а кривая центров – это геометрическое место центров этих окружностей. С помощью этих кривых Бурместер дал решение задачи об интерполяционном приближении с четырьмя, пятью и шестью узлами шатунной кривой четырехзвенного механизма к прямой

⁸³ *Burmester L. Lehrbuch der Kinematik. Leipzig, 1888.*

линии. В отличие от Чебышева, Бурместер не ставит вопрос о численной оценке полученных приближений шатунной кривой к прямой линии.

Можно сказать, что эти два великих механика заложили основания для создания современной кинематики: один – машиностроитель, а другой – геометр. Но они не понимали друг друга.

В 1889 г. Мартин Грюблер (1851–1935)⁸⁴, профессор Рижского политехнического института, опубликовал статью «Преобразования кинематики в современности». Он установил, что понятие кинематики в те годы не было вполне определенным, ибо Ампер, давая новой науке о движении такое название, объединил под одним наименованием две отрасли наук – кинематическую геометрию, т.е. геометрическое учение о движении, и учение о механизмах. Так как ученые, развивающие кинематику, работали или в той или в другой области, то наука разделилась на две части: теоретическую и практическую. «Последнее не только противоречит Амперову определению этой науки, но не является ни необходимым, ни полезным. Нетрудно доказать, что требования, поставленные Ампером науке, названной им кинематикой, имеют свое внутреннее оправдание, и что только тогда, когда кинематика удовлетворяет этим требованиям, она в состоянии действительно удовлетворить уже давно возникшую потребность в полной теории механизмов»⁸⁵.

Грюблер отмечал, что большая заслуга Рело заключалась в том, что он сделал решающий шаг при создании современной кинематики. Его совершенно новая точка зрения в этом отношении заключается в том, что он, не обращая внимания на назначение и форму конкретных механизмов, рассматривал их как соединения тел, взаимные движения которых определяются родом и расположением связей между ними. Это положение является одним из важнейших в теории Рело.

Таким образом, появление трактата Рело послужило важным основанием для развития мысли в области кинематики и теории механизмов. Ученые вспомнили тогда и про теорию П.Л. Чебышева и ее значение для развития науки, и на базе учения Рело о парах и о кинематической цепи было создано учение об определении степени подвижности цепи. Рело обратил внимание на те критические замечания, которые были опубликованы в печати, и частично учел их при подготовке второго тома своего сочинения.

⁸⁴ Grubler M. Wandlungen der Kinematik in der Gegenwart // Civilingenieur. 1889. Bd. XXXV. S. 219–286.

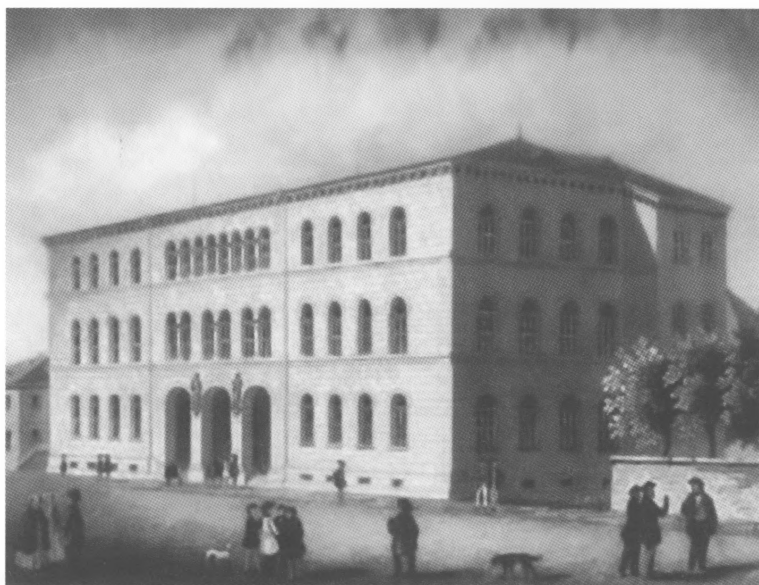
⁸⁵ Vgl. d. S. 219.



Франц Рело
1850-е годы

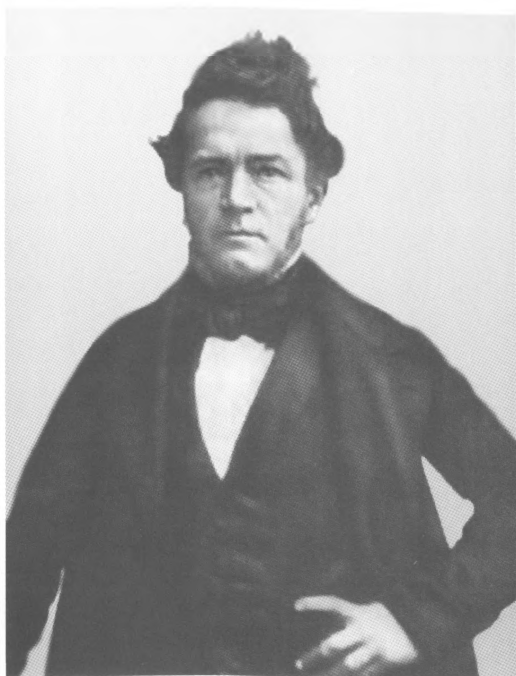


Кобленц. Церковь Санкт-Кластер.
Построена в 1200-е годы



Карлсруэ. Первое здание Политехнической школы.
Построена по проекту Г. Хюбша. 1836 г.

Фердинанд Якоб
Редтенбахер (1809–1863)



Титульный лист
книги Ф. Редтенбахера
«Принципы механики».
1852 г.

**DIE
BEWEGUNGS-MECHANISMEN**

Darstellung und Beschreibung eines Theiles der
MASCHINEN-MODELL-SAMMLUNG
der polytechnischen Schule in Carlsruhe.

F. REDTENBACHER

Großherzoglich Badischer Hofrath u. Director an der polytechnischen Schule in Carlsruhe.

Neue Auflage.

Mit 80 lithographirten Tafeln.

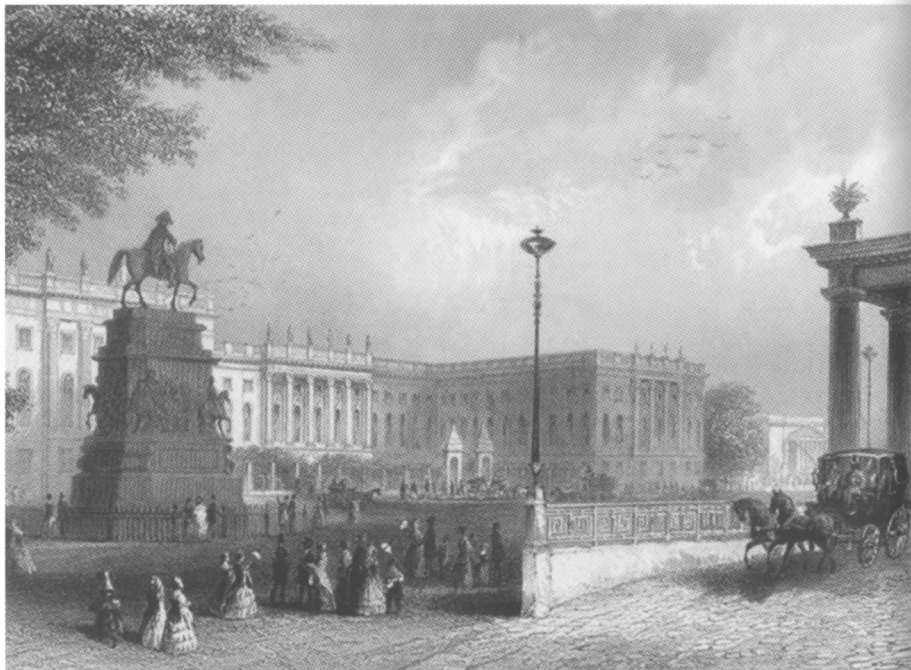
HEIDELBERG

VERLAGSBÜCHHANDLUNG VON FRIEDRICH BASSERMAXX



Основатель
университета в Берлине
Вильгельм фон Гумбольдт
(1767–1835)

Берлинский университет
им. Гумбольдта.
1842 г.

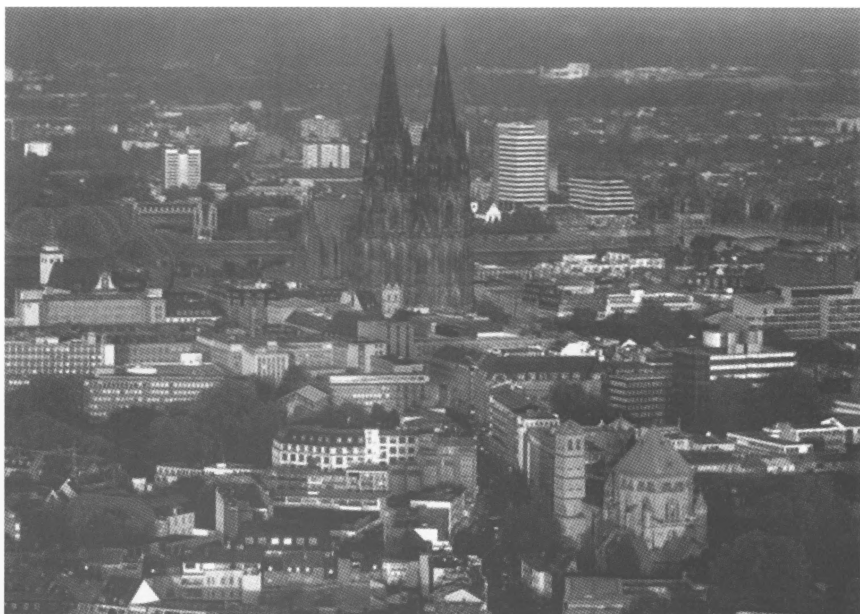




Берлинский университет. Современный вид



Боннский университет

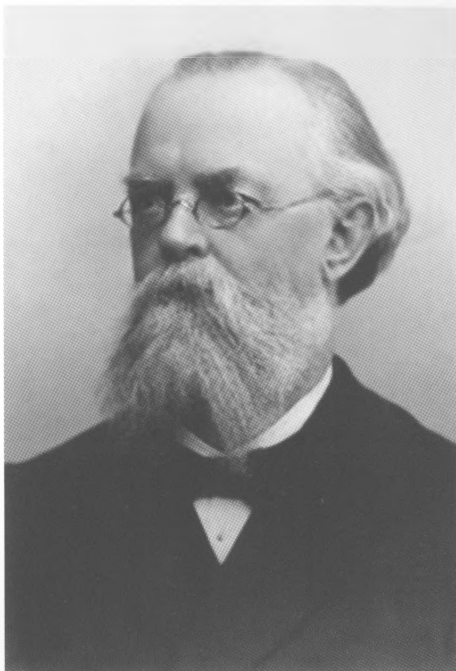


Кёльн.
В центре – Кёльнский собор.
Современный вид

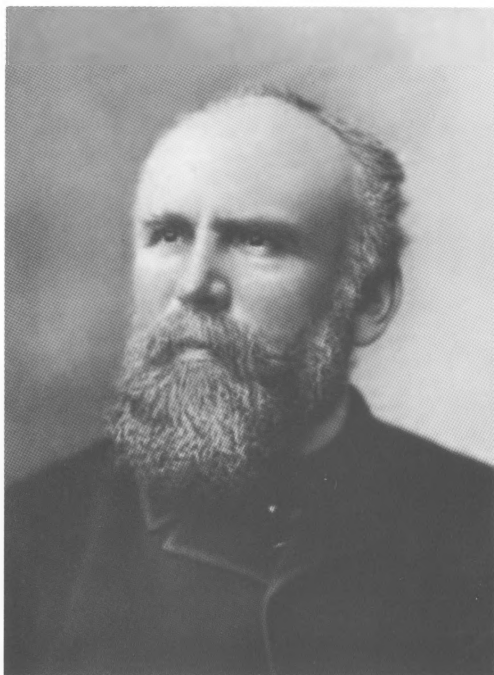


Германская фабрика.
Середина XIX века

Густав Цейнер
(1828–1907)

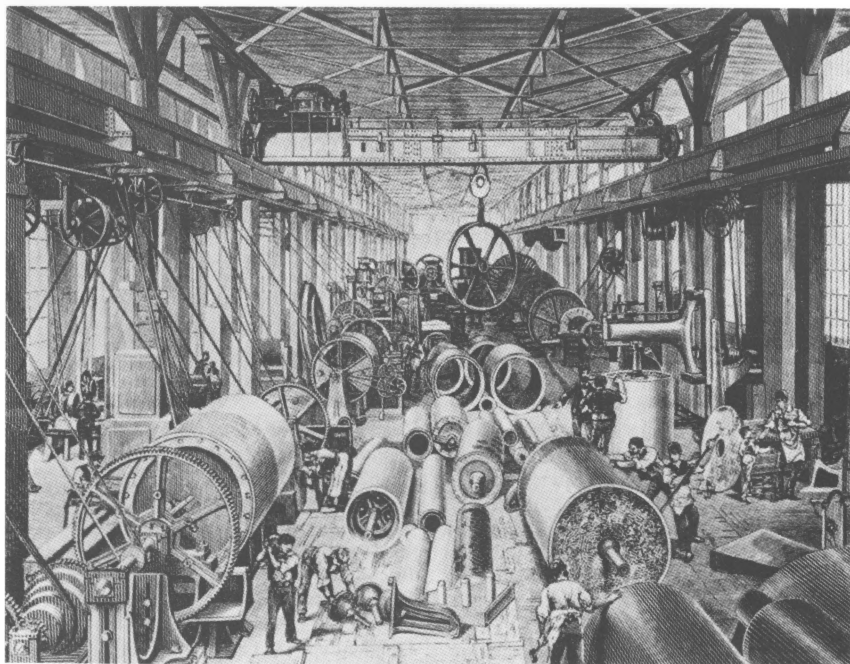


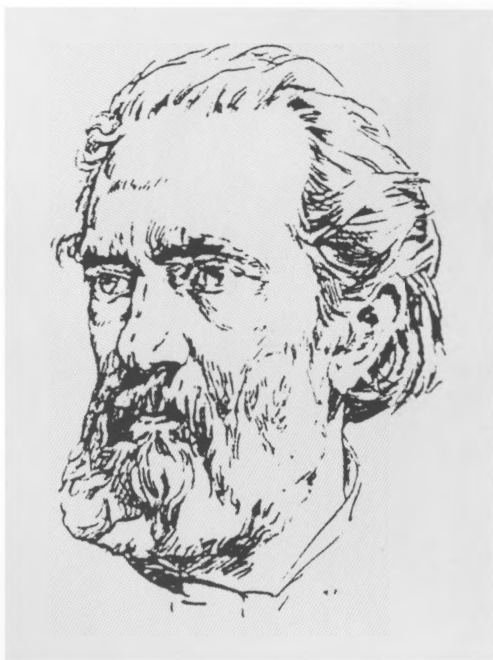
Университет в Цюрихе



Евгений Ланген
(1833–1893)

Завод «Эшер и Висе».
1903 г.





THE
CONSTRUCTOR
A HANDBOOK
OF
MACHINE DESIGN

F. REULEAUX

Professor at the Royal Technical High School at Berlin, Royal Privy Councillor,
Member of the Royal Technical Deputation,
Corresponding Member of the Institute of Locomotives and the Swedish Technical Society,
Foreign Member of the Royal Academy of Sciences at Stockholm,
Honorary Member of the Technical Societies of Riga and Berlin,
of the Technical Society of Frankfurt a. M., of the Society of Arts of Geneva,
of the Fluvial Society of Cologne, of the American Philosophical Society
and of the American Society of Mechanical Engineers.

WILEY PUBLISHERS 475 NASSAU ST. N. Y. U.S.A.

AUTHORIZED TRANSLATION
COMPLETE AND UNABRIDGED
FROM THE FOURTH ENLARGED GERMAN EDITION

BY
HENRY HARRISON SUPLEE, B. S.
Member of the American Society of Mechanical Engineers,
Member of the Franklin Institute

PHILADELPHIA
H. H. SUPLEE
WEST CHELSTEN AVENUE
1894

Титульный лист
книги Ф. Рело
«Конструктор».
Филадельфия.
1894 г.



Федор Евплович
Орлов
(1843–1892)

Lieber Freund!

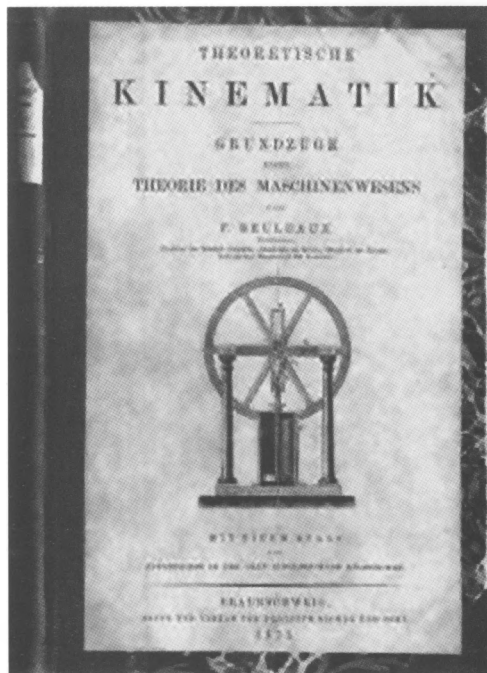
Herr L. Drlow, der seine mathematischen Studien in Rußland gemacht hat, war seit einem Jahre hier und hat fast ausschließlich meine Vorlesungen gehört. Derselbe wendet um auf meinem Rath nach Berlin, um speziell bei dir seine mechan. Studien zu vollenden. Ich erlaube mir, dir Herrn Drlow angelegentlich zu empfehlen, du wirst in ihm einen dankbaren Schüler finden; auch Tschebischeff schätzt ihn sehr.

Ich bin im Begriff, mit meiner Frau und den zwei jüngsten Kindern nach Sachsen abzureisen, um einige Wochen bei meinen Eltern in Döbeln zu verleben und freue mich unendlich, gerade jetzt in die Heimath zurückkommen zu können — zu Deutschlands herrlicher Auferstehung! Mit freundschaftlichem Gruß

Dein ergebener
Gustav Zeuner.

Zürich 26. Aug. 1870.

Политехническая школа.
Шарлоттенбург



«Теоретическая
кинематика».
1875 г.

THE
KINEMATICS OF MACHINERY.

OUTLINES
OF A
THEORY OF MACHINES.

BY
F. REULEAUX.

*Director of and Professor in the École Polytechnique, Directeur-Général de l'École
Membre of the Académie, etc., etc.*

TRANSLATED AND EDITED BY
ALEX. R. W. KENNEDY, C.E.

Professor of Civil and Mechanical Engineering in University College, London.

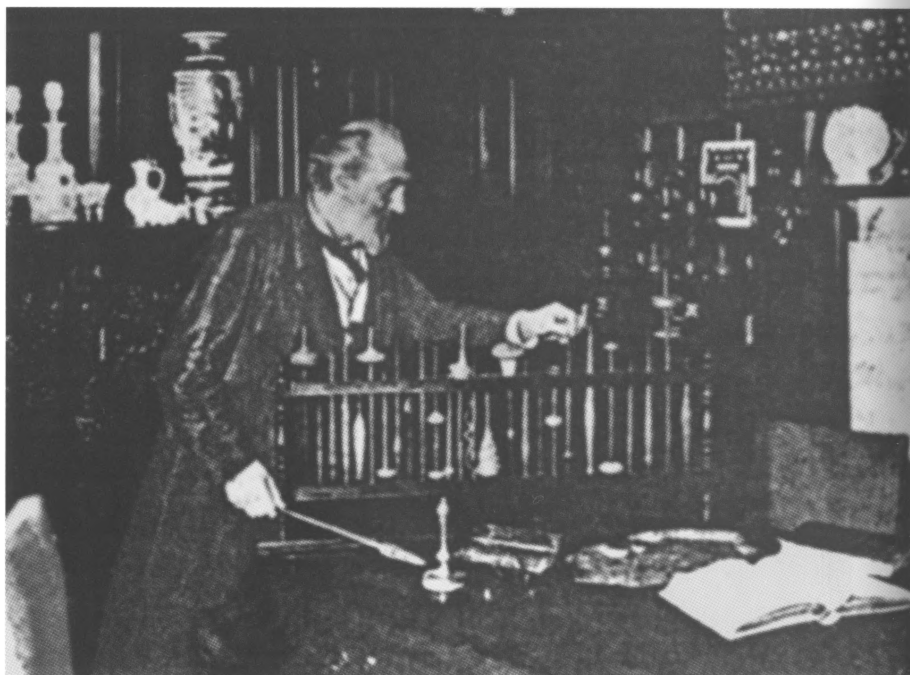
WITH NUMEROUS ILLUSTRATIONS.

London:
MACMILLAN AND CO.
1876.

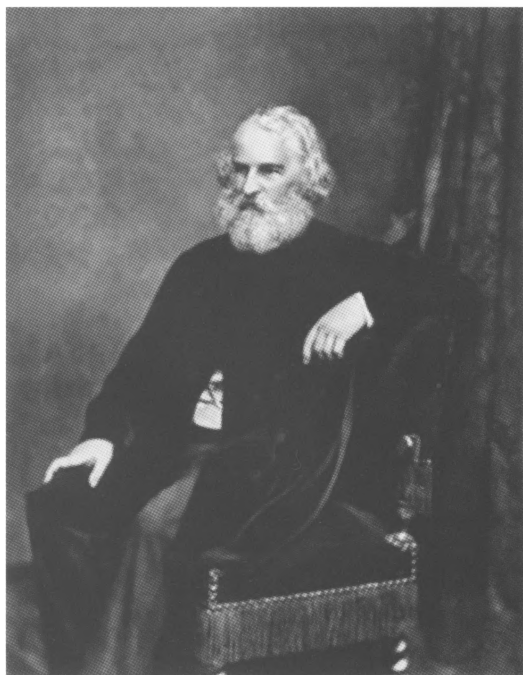
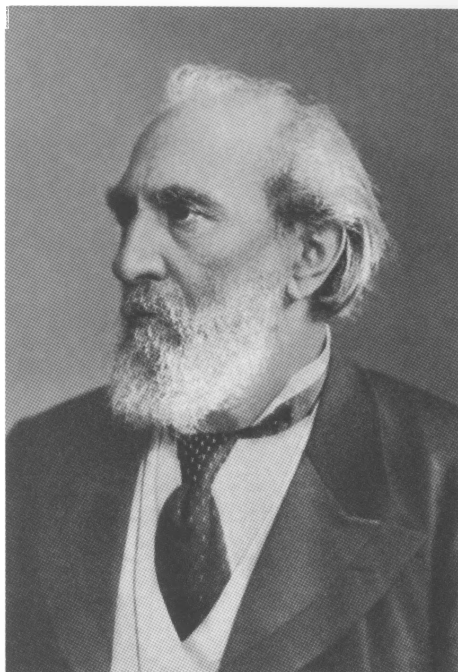
[The Right of Translation and Reproduction is Reserved.]

Титульный лист
книги Ф. Рело
«Кинематика машин».
1876 г.

Рело в лаборатории



Франц Рело



Генри Уодсворт
Лонгфелло
(1807–1882)

BRIEFE
AUS
PHILADELPHIA

VON
F. REULEAUX
PROFESSOR

VOM VERFASSER DURCHGESEHENE UND DURCH ZUSATZE
VERMEHRTE AUSGABE

BRAUNSCHWEIG.
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN,
1877.

Титульный лист
книги Ф. Рело
«Письма из
Филадельфии».
1877 г.

LEHRBUCH
DER
KINEMATIK

VON
PROF. DR. F. REULEAUX

GER. HOCHSCHULE-RATH
1868. MITGLIED DER LOWLANDSCHEN INSTITUTES UND DER SCHWEDISCHEN GENVERSEAMING
1878. MITGLIED DER AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN IN STOKHOLM
E. C. D. SOC. DES ARTS CIVILS, D. NAT. DES METIERS, D. AN. STRICKS, SOC.
U. D. AN. SOC. OF MECHANICAL KNOWLEDGE
DES GEN.-VEREINS IN BRUXELLES 1864. FRANKFURT A. M. U. DER GEN. FLORA KULM

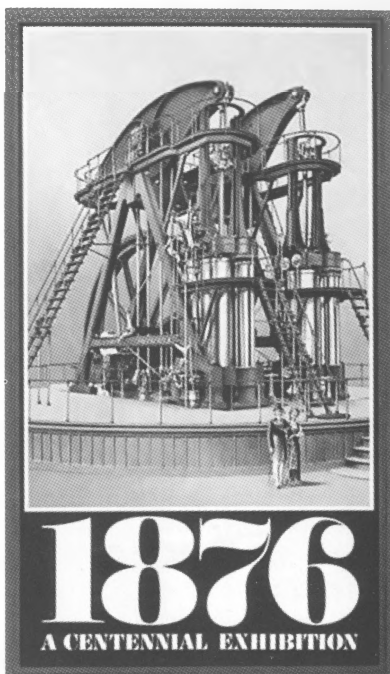
ZWEITER BAND
DIE PRAKTISCHEN BEZIEHUNGEN
DER
KINEMATIK ZU GEOMETRIE UND MECHANIK

MIT 670 EINGEDRUCKTEN ABBILDUNGEN UND ZWEI
ANGEHÄNGTEN TAFELN

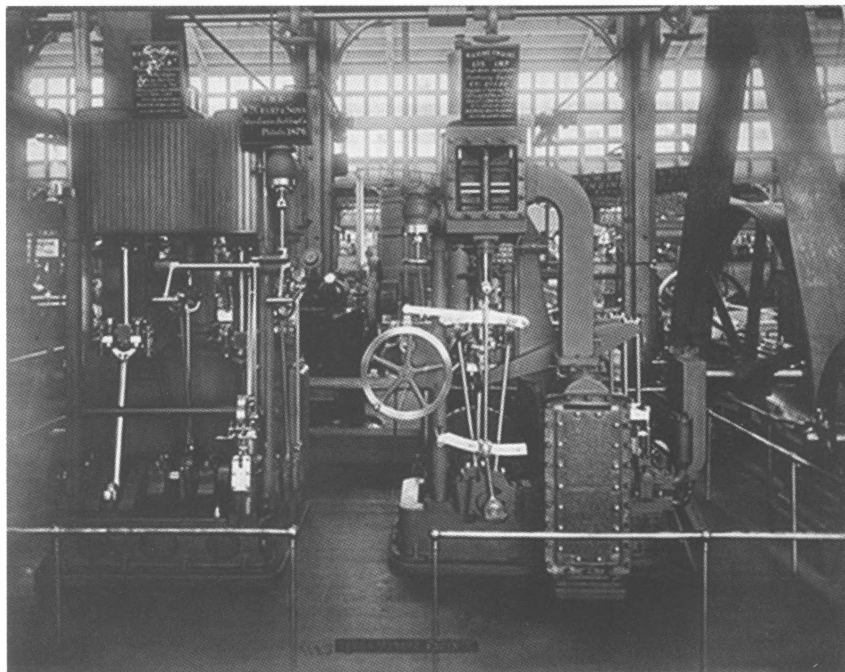
BRAUNSCHWEIG
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN
1900

Учебник
кинематики. Т. 2
1900 г.

Афиша
Всемирной выставки
в Филадельфии (США)



Всемирная
выставка
в Филадельфии





Мемориальная доска, посвященная Ф. Рело,
на территории Берлинского технического университета

Педагог, теоретик, практик. Отклики на труд Рело в Англии и России

Жизнь и деятельность Рело на протяжении последней четверти XIX века была связана с германским машиностроением и с развитием высшего технического образования. Промышленный переворот в Германии происходил позже, чем в Англии и Франции, и завершился к 70-м годам века. Этому способствовали разгром Франции в результате Франко-Прусской войны и последующее затем объединение немецких государств в Германскую империю, руководящую роль в которой играла Пруссия. Прусский король был избран императором Германии.

В результате войны Франция уплатила Германии большую контрибуцию, а кроме того, Германия получила от Франции две провинции, Эльзас и Лотарингию, обладавшие запасами полезных ископаемых, в первую очередь железной руды и каменного угля. Тем самым германская металлургия получила очень существенное подспорье. Промышленность начала развиваться очень быстрыми темпами, и в экономическом развитии Европы Германия выдвинулась вперед, значительно обогнав Англию и Францию и оставив далеко позади все прочие страны. На протяжении 1871–1914 гг. происходил бурный рост немецкой промышленности, в результате чего соотношение сил изменилось в пользу Германии. Немецкая промышленность, еще незадолго до этого отстававшая по всем основным показателям от английской и французской, начала оставлять их позади.

Одной из причин этого положения, и отнюдь не маловажной, было то, что оборудование английских фабрик и заводов, построенное еще в конце предыдущего XVIII века, и оборудование французской промышленности, имевшее за своими плечами больше полувека, морально износились и требовали замены, тогда как немецкая индустрия работала на новом оборудовании, на новых моделях, зачастую лишь недавно изобретенных. Естественно, что Германия начала отвоевывать у своих соперников рынки сбыта; кроме того, что было весьма существенно, Германия начала развивать очень мощную военную промышлен-

ность. Фирма Крупа стала в этом отношении одной из ведущих в мире.

Вместе с развитием промышленности развивалось и техническое образование. Как мы видели, оно возникло из ремесленных школ. Дело в том, что первоначально высшее техническое образование имело исключительно государственное назначение: оно готовило инженеров для «коронной службы» – военных инженеров, горных инженеров и путейцев. Все эти отрасли состояли на государственной службе и зачастую, как, например, во Франции и в России, были военизированными. А промышленность, возникшая в основном по частной инициативе, обслуживалась главным образом мастерами-практиками. Постепенно в европейских странах приступили к обучению и мастеров – начали возникать ремесленные училища. Таково было происхождение и Берлинского ремесленного института, в котором начал свою берлинскую деятельность Рело. Франц пришел в Ремесленный институт осенью 1864 г., который был преобразован в Ремесленную академию 14 апреля 1866 г. В 1868–1879 гг. Рело был директором Академии. В 1890 г. Ремесленная академия была преобразована в Высшую техническую школу, получив, таким образом, все права высшего учебного заведения, а Рело был избран ректором Школы. К своему пятидесятилетию это учебное заведение получило новый устав, в соответствии с которым ректор должен быть избираем из членов учебной коллегии, а четыре отделения – машиностроения и инженерного дела, химии, металлургии и кораблестроения – получили деканов. Были введены дипломы для студентов, завершивших курс обучения.

Вновь Рело был переизбран на этот пост ректора в 1891 г., но в 1896 г., после сорокалетней преподавательской деятельности, не выдержав нападков недоброжелателей, которые не обошли стороной даже его, который постоянно стремился к новым изобретениям и усовершенствованиям, подал в отставку.

Ему оставалось еще девять лет до кончины, но он, и на пороге старости, не проводил время в праздности, а так же, как и раньше, пребывал в трудах и работе, полный юношеской бодрости, о чем свидетельствуют, прежде всего, объем и богатое содержание второго тома его основного произведения о кинематике.

Семидесятые и восьмидесятые годы XIX века были для Рело временем наибольшего творческого подъема и интенсивной научной деятельности. За эти годы он довел Ремесленный институт до положения высшей школы университетского типа. Достаточно сказать, что на кафедре математики здесь работали К. Вей-

ерштрасс и Э. Кристоффель. Рело везде, где это было возможно, пропагандировал технику и ее развитие, направлял молодежь на технические изыскания. Как писала тогда «Хроника Высшей технической школы», захватывающий, остроумный способ преподавания Рело воодушевил многих молодых людей в первые годы развития научного машиностроения и привлек их к научной работе. Его «Учение о конструкциях для машиностроения» и его «Конструктор» действовали десятки лет как образец, а своей главной работой, «Теоретической кинематикой», он заложил основы технической терминологии и образования понятий. Его исследования в этом направлении были признаны всеми инженерами и преподавались во всех технических школах⁸⁶. За это время Рело опубликовал целый ряд мемуаров и статей; он принимал участие в деятельности многих технических обществ и союзов, а также в Обществе немецкого языка. В течение десяти лет Рело руководил журналом общества поощрения развития ремесел в Пруссии, в котором он впервые опубликовал свои изыскания из области кинематики под названием «Кинематические сообщения». Он принимал деятельное участие во многих международных выставках и конгрессах: сообщения о них он публиковал в различных журналах и газетах.

В парке Технической высшей школы в 1912 г. друзья и благодарные ученики установили памятную доску с его барельефом и надписью: «Францу Рело, исследователю и учителю, открывшему взаимосвязь техники с наукой и жизнью».

«С наукой и жизнью». Вероятно, тесную взаимосвязь техники с ними великий исследователь и учитель открыл и передал своим последователям для дальнейшего изучения по обоим направлениям. Строго научный подход, без которого сегодняшняя техника с ее грандиозными успехами была бы невысказима, зиждется на научных и преподавательских трудах Рело и ясном понимании, что техника образует существенный культурный фактор нашей жизни. Однажды высказав это вслух, он всегда, так или иначе, не уставал повторять это вновь и вновь.

Помимо крупных трудов, таких как «Конструктор» и «Кинематика», Рело написал еще целый ряд трактатов и сочинений, и выступил с еще большим количеством докладов в технических и других обществах, в которых нередко содержалось принципиально новое о давно известном. Он также живо включился в защиту маннесманновского способа прокатки труб, который в начале

⁸⁶ *Weihe C. Franz Reuleaux und seine Kinematik. Berlin, 1925. S.18.*

страшно критиковали. Теорию этого способа он рассмотрел в своих кинематических трактатах.

Особое пристрастие он испытывал к часам, чьи разнообразные спусковые регуляторы также дали ему материал для его кинематики.

Рело был не только теоретиком машиностроения: во многих случаях он проявил себя также как очень талантливый инженер-практик. Так, на протяжении 1864–1879 гг. он уделял много времени созданию малоразмерного двигателя, что соответствовало его идеям о необходимости развивать ремесло и малые предприятия с небольшим числом рабочих. Кроме того, Рело был связан узами дружбы с одним из изобретателей мотора Евгением (Эженом) Лангеном еще со студенческих лет в Карлсруэ. Он посоветовал своему другу заниматься развитием такого двигателя и посоветовал ему в этом отношении положиться на молчаливого, замкнутого и упорно работающего над созданием четырехтактного двигателя Николауса Отто (1832–1891). Это было в 1876 г. И когда предприниматель Ланген пригласил изобретателя Отто принять участие в руководстве его предприятием в должности технического руководителя, они добились очень больших успехов. При этом они постоянно пользовались советами Рело. С Н. Отто и его проектом двигателя Франц Рело познакомился в 1864 г., когда он, во время своего перехода из Цюриха в Берлин, посетил Ремесленную выставку в Дублине, а затем, вместе со своими студентами, посетил мастерскую Отто в Кёльне. Тогда же, по просьбе Лангена, он консультировал конструкцию одного из первых образцов роликового движителя Лангена. Рело поручил своему ученику Гюнтерсбергеру в 1865 г. произвести для Лангена термодинамическое исследование мотора Отто, ибо тогда этот двигатель был на исследовании у Густава Цейнера в Цюрихе.

Как научный консультант фирмы Лангена и как член Технического совета в Берлине Рело оказал помощь при получении Отто его патента на «атмосферный двигатель» в марте 1866 г. После получения патента надо было обеспечить спрос на двигатель, а следовательно, и его производство. В этом отношении Рело также оказал существенную помощь. На Парижской Всемирной выставке в 1867 г. разгорелся спор между двумя изобретателями, Отто и Ленуаром, которого поддерживала французская часть выставки. Были произведены тщательные исследования обоих двигателей в процессе работы по деталям их конструкции. Сначала Отто было отказано в премии Выставки, но тогда вмешался Рело, как представитель Пруссии. Были произведены более тщательные

исследования, и оказалось, что двигатель Отто превосходит своего соперника по всем показателям. В результате этого Отто была присуждена высшая награда Выставки – золотая медаль.

Как машиностроитель, Рело внимательно исследовал конструкцию двигателя Отто и сравнил ее в основных частях с конструкцией паровой машины. В своей статье, опубликованной в журнале «Сообщения союза поощрения ремесленной деятельности в Пруссии» за 1867 г.⁸⁷, он указал на ее преимущества, но остановился также на недостатках в конструктивном исполнении. Сравнивая этот двигатель с паровой машиной, Рело указал, что для небольших установок двигатель Отто имеет все преимущества и с точки зрения быстроты запуска и с точки зрения безопасности, так как при этом отсутствовал паровой котел. В дальнейшем Ланген и его технический консультант Ф. Рело выступали за улучшения двигателя Отто, который оказался чересчур слабым даже для небольших предприятий, так как мощность его не превышала трех лошадиных сил. В начале 70-х годов финский инженер Штенберг, также ученик Рело, сконструировал двигатель, работавший сжатым воздухом; его мощность была доведена до 9–10 л.с., однако и он не смог обеспечить достаточное уплотнение в своем двигателе.

Через несколько лет, когда четырехтактный мотор Отто уже находился в производстве, Рело и Ланген получили предложение Э. Дизеля строить двигатель его конструкции, но отклонили его. Вместо того чтобы предпринять необходимые исследования в области термодинамических процессов, происходящих в двигателе Дизеля, Рело порекомендовал Лангену взять лицензию на производство паровой турбины по патенту шведского инженера Лавалья.

Всячески помогая Отто совершенствовать его изобретение и доведя его до схемы двигателя внутреннего сгорания, четырехтактного двигателя, Рело мечтал тем самым внести вклад в разрешение важного социального вопроса – поддержать развитие ремесел. Но, как оказалось, мотор Отто в этом отношении не оказал той помощи, которую от него ожидали. Более подходящим двигателем для мелких производств оказался изобретенный позже электромотор⁸⁸.

⁸⁷ *Releaux F.* Atonospharische Gaskraftmaschine von N.A. Otto und Eugen Langen in Koln. Verhandlungen des Vereins zur Beforderung des Geberbfeisses in Preussen. 46. 1867. S. 198–209.

⁸⁸ По материалам статьи: *Braun H.J.* und *Weber W.* Ingenieurwissenschaft und Gesellschaftspolitik Das Wirken von Franz Reuleaux // Wissenschaft und Gessellschaft, Beihage zur Geschernte der Techn. Universitat Berlin, 1879–1979, Berlin, 1979. B. I. S. 290–291.

Рело оказал большую поддержку еще одной технической новинке-производству бесшовных труб. Трубы такого типа были необходимы для передачи и распределения энергии сжатой воды или газа.

Рело был хорошо знаком с семьей Маннесманнов: два брата, Райнгард и Макс, были его учениками. В 1884 г. Маннесманн пригласил его принять участие в их изобретении в качестве технического консультанта и конструктора. Рело выступил в качестве их научного представителя. Употребив все свое научное влияние, он заинтересовал этой проблемой Вернера фон Сименса и своего старого друга Лангена: они внесли в это дело существенные капиталы. Однако выполнение изобретенных для этой цели вальцев к прокатным станам затянулось. Рело пришлось пережить много неприятностей, связанных с этим делом, которое оказалось значительно более трудным, чем это казалось вначале.

Дело заключалось в следующем: семья Маннесманн – отец (Рейнгард) и сыновья (Альфред, Макс, Райнгард и Карл), занимающаяся производством напильников, провели ряд экспериментов для получения нужной структуры железа. Используя результаты собственных экспериментов, а также приобретя патент инженера Кегеля, они разработали способ производства из железа бесшовных труб, прокатывая их с помощью наклонно установленных вальцев.

При определенном отношении между наклоном вальцев, длиной и конвергенцией обрабатываемых поверхностей и вращательной скоростью возникает удивительное явление: плотная круглая штанга вдоль своей геометрической оси раздирается изнутри так, что она образует замкнутую трубку.

Силовая обработка внешней поверхности раскаленной плотной железной или латунной штанги приводит к образованию трубки с уплотненной стенкой и разрыхленной сердцевинной. Как оказалось, этим методом можно из доведенных до нужной температуры штанг из железа, меди и латуни прокатывать бесшовные трубы, пригодные для газа, воды, пара, нефти и других веществ. Такие трубы нашли широкое применение в строительстве и, в особенности, в военном деле.

Важной составляющей проекта было конструирование вальцев для прокатных станов, что оказалось весьма сложным. Как позже вспоминал Рело, задача оказалась одной из самых сложных, какие ему приходилось решать на протяжении всей его творческой жизни.

Эти эксперименты не привели к успеху, и Рело также не решил эту задачу, несмотря на то что с технической точки зрения он нашел необходимые для технологического процесса механизмы. В 1890 г. Рело прочитал целую серию докладов, посвященных технологии производства бесшовных труб. Вместе с Вернером фон Сименсом он успешно пытался привлечь внимание общественности и финансистов к этой новой технологии. Однако здесь повторился старый конфликт между изобретателем и предпринимателем. Рело пишет: «Кажется, что Маннесманны также поняли теперь, что с изобретением не все обстоит в порядке, и при так задуманном предприятии предусмотрительный и опытный предприниматель должен руководить изобретателем, а никак не наоборот. Ведь волосы становятся дыбом, с какой фатальной верой в возможности собственного руководства проводится ими [братьями Маннесманн] все дело. Каждая наполовину продуманная идея принимается как неоспоримый факт. Если же затем обнаруживается недостаток, быстро предлагается новое изобретение, которое объявляется полным решением задачи»⁸⁹.

Во всяком случае, трубы, полученные этим способом, имели грубую внутреннюю поверхность, которую надо было дополнительно обрабатывать.

Несмотря на эти свои недоработки и ошибки в практическом выполнении механизмов, Рело продолжал работать над совершенствованием своей теории. Мы видели, что в Германии он подвергся существенной критике. Не то было в зарубежных странах. Теории Рело широко распространились.

«Теоретическая кинематика» Рело явилась для своего времени событием большого значения. Впервые с такой ясностью и отчетливостью была изложена прикладная механика в применении к машинам. Более того, впервые после 1808 г., когда появился труд Бетанкура и Ланца, была сделана попытка исследовать машину как вполне самостоятельный объект, резко отличающийся от других объектов человеческой деятельности. К последней четверти XIX века значение машин для человечества уже определилось, машины появились в разных отраслях промышленности, они постоянно совершенствовались и видоизменялись. Увеличивалась и литература о машинах, но она сводилась к описанию отдельных машин или типов машин. Выход в свет «Теоретической кинематики» сразу же стал событием не только немецкого, но и между-

⁸⁹ Vgl. d. S. 292.

народного значения. В книге было поставлено много животрепещущих проблем, над которыми задумывались машиностроители. По выходе в свет книга была переведена на английский и французский языки. Возникла научная школа Рело, и его последователи в разных странах начинают разрабатывать идеи, высказанные или только намеченные учителем. Одновременно вспыхнула дискуссия относительно справедливости некоторых утверждений Рело, принимавшая иногда острые формы личных нападок. Наконец, в 1900 году, на рубеже столетия, выходит в свет второй том «Теоретической кинематики», в котором Рело постарался обобщить свои исследования, наметить пути их дальнейшего развития и, в определенной степени, ответить своим критикам и скептикам.

Победоносная война с Австрией в 1866 г., победа над Францией в войне 1870–1871 гг. и последовавшее за ней становление Германской империи резко ускорили процесс индустриализации страны. От Франции была получена громадная контрибуция, которой надо было дать промышленное применение. Пять миллиардов франков французской контрибуции явились для Германии своеобразным «первоначальным накоплением». Резкий скачок металлургии и машиностроения, в свою очередь, стимулировал развитие соответствующих отраслей науки и техники.

В частности, к концу XIX столетия Германия вышла на первое место в мире по машиностроению. Это положение отразилось и на немецкой науке. В связи с нуждами бурно растущей промышленности развивается техническое образование. Наука начинает вплотную заниматься вопросами техники, возникают новые направления научных исследований и новые науки, университетских профессоров в значительной мере сменяют ученые-техники. Происходит бурный рост городского населения с одновременным оттоком людей из сел. Бурно развиваются промышленные области Германии – Рур, Саксония, Верхняя Силезия; возникает много новых городов, числом населения намного превосходящих старые.

Период 70–80-х гг. в немецкой социальной и экономической литературе называется «Грюндерцайт» – временем основателей. «Грюндерцайт» в искусстве означал развитие тенденций натурализма и импрессионизма, а в науке – переход от теоретических исследований к практике.

Новые идеи Рело в области кинематики восторженно встретили многие механики, видевшие неполноту и противоречивость старых систем этой науки. В Англии эту роль выполнил А. Кеннеди,

который перевел книгу Рело уже в 1877 г. В России пропагандистами системы Рело стали Ф.Е. Орлов в Москве и В.Н. Лигин в Одессе.

Сэр Александр Блэки Уильям Кеннеди (1847–1928) учился в Лондонской горной школе, после чего несколько лет работал в фирмах чертежником и конструктором. Затем он учился в Эдинбургском и Глазгском университетах, а в 1874 г. получил место профессора инженерного дела в Лондонском университетском колледже. В 1875 г. он начал читать курс механики машин, руководствуясь трудами Ф. Рело. Был избран членом Лондонского королевского общества (с 1887). В годы Первой мировой войны руководил Комитетом по орудийным прицелам, был членом Комитета по беспроволочной телеграфии.

«Механика машин» Кеннеди явилась, в сущности, первым учебником в этой области на английском языке, написанным на совершенно новых основаниях. Кеннеди использовал идеи Рело, но дополнил их собственными исследованиями в области кинематики, кинематической геометрии и графических методов, и создал руководство, отличавшееся высокими научными достоинствами и в то же время написанное с большим дидактическим тактом. Эту книгу не без пользы можно читать и в наши дни.

В книге изложена известная теорема о трех мгновенных центрах вращения, найденная независимо Кеннеди и Аронгольдом и поэтому известная под названием теоремы Аронгольда–Кеннеди. Кеннеди применяет ее для нахождения мгновенных центров вращения, которые нужны ему для определения скоростей исследуемых точек механизмов. Ускорения в этих точках он определяет с помощью графического дифференцирования. Своему методу Кеннеди уделяет значительную часть книги, считая, что он может привести к очень интересным результатам и составить основу графоаналитического исследования механизмов.

Далее Кеннеди исследует кривые скоростей и ускорений для некоторой точки механизма и для определенного периода времени и излагает метод графического дифференцирования и интегрирования. Особенно тщательно он разбирает вопрос определения масштабов. Некоторая неясность осталась у Кеннеди в вопросе определения машины. С одной стороны, он доказывает, что машина состоит не из одного тела, а минимально из двух, и в качестве примера приводит «простые машины»⁹⁰. Но несколько позже, после введения понятия о парах, он определяет механизм как

⁹⁰ *Kennedy A.B.W. The Mechanics of Machinery. London, 1886. P. 2–3.*

замкнутую кинематическую цепь с одним закрепленным звеном и указывает, что механизм является идеальной формой машины. Возвращаясь к «простым машинам», он говорит, что они представляют собой не машины, а кинематические пары.

Выше уже упоминалось о том, что одним из учеников Рело был профессор Московского университета, старший товарищ Н.Е. Жуковского, Федор Евплович Орлов. Ф.Е. Орлов родился в 1843 г. в селе Великом Новгородской губернии в семье военного врача. В 1859 г. по окончании Ярославской гимназии он поступил на физико-математический факультет Московского университета, где пользовался особым расположением Н.Д. Брашмана. В 1863 г. окончил университет и был оставлен на кафедре чистой математики «для подготовки к профессорскому званию», а в 1869 г. защитил магистерскую диссертацию на тему «О взаимности дифференциальных уравнений». Научный руководитель Орлова, профессор Московского университета А.Ю. Давидов, рекомендовал его для чтения в университете курса практической механики. Для этого Ф.Е. Орлов получилграничную командировку для изучения прикладной механики. В задачу Орлова входило ознакомление с практической механикой, постановкой ее преподавания в лучших технических заведениях Европы, приобретение курсов лекций и материалов для ведения практических занятий.

В сентябре 1869 г. он выехал в Швейцарию, предварительно получив в Петербурге советы и рекомендации П.Л. Чебышева и И.А. Вышнеградского. В Швейцарии, в Цюрихе, Орлов пробыл целый год. Он работал у профессора прикладной механики Густава Цейнера, который наравне с М. Ранкиным являлся творцом теории паровых машин и был в то же время крупнейшим в Европе деятелем в области теории турбиностроения и прикладной гидромеханики. Он был окружен учениками, стремившимися к нему со всех концов мира. Орлов познакомился с основами инженерного дела, научился проектировать машины и стал близким учеником Цейнера, обратившего внимание на большие способности русского математика.

По совету Цейнера Орлов слушал лекции по технической механике и построению машин на втором курсе и по теоретическому учению о машинах на третьем курсе Цюрихского политехникума. В следующем году он поехал в Берлин, где встретился с Ф. Рело⁹¹.

⁹¹ Рекомендательное письмо Г. Цейнера к Ф. Рело по поводу Ф.Е. Орлова (см. вклейку).

Курс Рело по кинематике произвел глубокое впечатление на молодого Орлова. Позднее он даже воспользовался идеями и примерами Рело для своей вступительной лекции в Московском университете, а также постоянно развивал его кинематические методы.

Из Берлина Ф.Е. Орлов переехал в Льеж⁹². В письме к директору Московского высшего технического училища В.Л. Дела-Восу Орлов дает интересную характеристику западноевропейских технических школ: «Сравнивая преподавание на механическом отделении здешней (льежской) школы с преподаванием в соответствующих отделениях немецких политехнических школ, можно заметить, что практическим работам дан здесь большой перевес, даже в ущерб научному образованию. Курсы прикладной механики и построения машин, годичные, и многие отделы обширных официальных программ могут быть изложены лишь поверхностно, тогда как на соответствующие курсы в Германии (*Theoretische Maschinenlehre und Maschinenbau*) употребляется два или три года, при более скромных программах. Кроме того, многие необходимые предметы, как, например, механическая технология, здесь вообще не читаются; зато на практические работы в мастерской полагается 16 обязательных часов в неделю. Немецкие политехнические школы давно уже отказались от мысли соединить оба эти направления, научное и практическое; так, например, мастерские, задуманные в обширных размерах при Берлинской академии, значительно сокращены с течением времени вследствие слабого участия студентов в практических работах и служат теперь только для приготовления моделей; то же повторяется и в других школах. По мнению ученых специалистов, директоров школ, как Цейнер, Грасгоф, Рело, школа не может образовать готового практика и задача ее должна состоять только в научной подготовке к практической деятельности; по их мнению, школа должна стоять выше практических требований времени, освещать светом науки путь к усовершенствованию практики. Этим не отвергается, впрочем, необходимость практических занятий; напротив, признано по опыту (и я сам убедился в этом, вглядываясь в занятия студентов), что студенты, бывшие на практике до вступления в школу, всегда могли легче и полнее воспользоваться научным материалом, который дает им школа. Поэтому знакомство с практическими приемами должно вообще предшествовать специальным знаниям»⁹³.

⁹² Орлов Ф.Е. Дневник заграничной командировки. 1869–1872. М., 1898.

⁹³ Там же. С. 274–275.

Замечание Орлова о том, что студенты должны быть знакомы с производством до поступления в высшую школу, сделанное им на основании его наблюдений, неоднократно реализовывала русская техническая школа на протяжении ее многолетней истории.

Приведем впечатления Ф.Е. Орлова о Франце Рело. Он является для нас ценное свидетельство современника и последователя героя нашего повествования, поэтому мы уделим ему несколько большее внимание.

В своем дневнике за 14 января 1871 г. Орлов пишет о том, как Рело читал в Научном союзе публичную лекцию: «...Сегодня была вторая лекция и на этот раз была очередь Рело, который выбрал темой «О воде и ее значении для народного хозяйства». Упомянув в общих чертах о той пользе, которую может принести вода человеку как двигатель, если человек вооружен знаниями для борьбы с этим элементом... профессор остановился особенно на том значении, которое имеет вода относительно орошения земли. В сжатом блестящем очерке перенес он слушателей во Францию, Англию, Испанию, Грецию, Древний Египет, Ассирию, Индию и Китай, говорил о каналах и реках Франции, волшебном здании Альгамбры в Испании, оазисах африканских степей, о божественном Ниле, об изумительных успехах древней египетской цивилизации, о счастливой, т.е. орошенной Аравии, о громадных и затейливых садах Китая, где садоводство составляет страсть человека; наконец, через Сибирь возвратился к своему собственному отечеству, которому и пожелал более замечательных успехов в отношении орошения, выразил надежду, что важный вопрос об орошении будет рассмотрен соединенным германским сеймом. Он заключил свою речь словами Пиндара: «Прекраснейшей является Вода!», чему, конечно, кое-кто из слушателей не поверил, потому что тотчас после лекции многие отправились пить пиво...»⁹⁴.

Ф.Е. Орлов успел заметить глубокую культуру Рело и его широкую образованность. Эту черту он постарался запомнить и перенести ее на свою кафедру в Москву.

«Сегодня я имел разговор с Рело, — пишет Орлов, — по поводу составленного мною проекта механического отдела Московского Политехнического музея. Он сказал мне, что находит совершенно бесполезными подобные учреждения, устраиваемые для публики скорее для забавы, чем для правильного и серьезного изучения предмета. Он сослался на Парижскую консерваторию, которая, несмотря на блестящую обстановку, блестящие опыты и блестя-

⁹⁴ Орлов Ф.Е. Дневник заграничной командировки 1869–1872 гг. С. 176.

щие публичные лекции, не принесла никакой пользы ни науке, ни просвещению. Находя, что любое учреждение только тогда достигает предположенной цели, когда при нем существует школа с правильным систематическим курсом, как, например, при Берлинском промышленном музее, он рекомендовал поближе ознакомиться с его уставом... В этом разговоре он упрекнул русских за широкие и блестящие затеи, которые делаются из подражания и в результате не ведут к предполагаемой цели, и прибавил, что они могут оказаться даже вредными в начале распространения технического образования в России, развивая поверхностное отношение к делу»⁹⁵.

Ф.Е. Орлов почему-то не поправил Рело, указав ему, что техническое образование в России – германского образца, а С.-Петербургский технологический институт и Московское высшее техническое училище даже старше Берлинского, которым руководил Ф. Рело. Надо думать, что он просто не счел себя в праве возражать вслух знаменитому машиностроителю. Однако у себя в дневнике Орлов отметил, что «Вообще нельзя сказать, чтобы порядки Королевской академии были примерные... После Рождественских вакаций в аудиториях водворился такой мороз, что несколько дней невозможно было слушать лекции без пальто, шарфа и перчаток, в чертежной шторы долго не поднимались, и нельзя было чертить. Единственные часы стоят до сих пор на 7 без пяти минут. Парадная лестница покрыта слоем грязи: украшающие лестницу барельефы, олицетворяющие ремесла всякого рода, покрыты толстым слоем пыли. Высокая статуя Вента, основателя академии, с пергаментом в руке, задумчиво смотрит на студентов...»⁹⁶.

По возвращении в Москву Ф.Е. Орлов начал применять теории Рело на своих лекциях в университете и в Московском техническом училище и Московской практической академии коммерческих наук⁹⁷.

Как писал в некрологе по Орлову его преемник Н.Е. Жуковский, «... на долю Федора Евпловича выпало чтение самых существенных курсов в Техническом училище, и он повел их на уровне современного состояния науки. В Московском университете преподавание прикладной механики было поставлено Федором Евпловичем на ту высоту, на которой она не стоит ни в одном из

⁹⁵ Там же. С. 222.

⁹⁶ Там же. С. 176.

⁹⁷ Боголюбов А.Н. Теория механизмов и машин в историческом развитии ее идей. М., 1976. С. 336.

русских университетов. ... Он устроил в университете прекрасный механический кабинет, завел классы черчения и проектирования. Он всегда охотно сообщал занимавшимся у него студентам сведения для писания кандидатских сочинений, наделяя их даже книгами из своей библиотеки. Можно сказать, что почти половина кандидатских сочинений писалась в университете по практической механике»⁹⁸.

Личные работы Ф.Е. Орлова относятся к теории механизмов и теории рулетт. Орлов был очень близок с Н.Е. Жуковским. Как указывает Л.С. Лейбензон⁹⁹, он привлек Жуковского к исследованиям в области прикладной гидромеханики и теоретического машиностроения.

Но жить Ф.Е. Орлову пришлось недолго: в январе 1892 г. он скончался от крупозного воспаления легких.

Пропагандистом идей Рело в России был и профессор Новороссийского университета В.Н. Лигин (1845–1900).

Валериан Николаевич Лигин окончил Одесский Ришельевский лицей и Новороссийский университет со степенью кандидата математики. В 1869–1870 гг. изучал практическую механику в Цюрихе как раз в те годы, когда Рело с большой настойчивостью разрабатывал свои идеи. Возвратившись в Одессу, начал читать в университете лекции по теоретической и практической механике. В 1872 г. защитил магистерскую диссертацию на тему «Геометрическая теория движения неизменяемой системы». В 1874 г. Лигин защитил в Харьковском университете диссертацию «Обобщение некоторых геометрических свойств движения системы», за которую получил степень доктора прикладной математики. С 1872 г. В.Н. Лигин читал механику в Новороссийском университете; здесь он проработал до 1895 г., с 1874 г. – профессор, ординарный профессор (1879). Он читал на физико-математическом факультете такие курсы: теоретическую механику, практическую механику, теорию механизмов, гидравлику, теорию тепловых машин, механическую теорию тепла, элементарную механику, начертательную геометрию. Кроме того, он выступал с публичными лекциями по механике.

В 1895 г. Лигин оставил преподавание, а в 1899 г. переехал в Варшаву, куда был назначен попечителем учебного округа.

В 1878 г. он опубликовал «Очерк новых воззрений Рело на машину» – первое на русском языке изложение идей Рело. Ли-

⁹⁸ Жуковский Н.Е. Некролог и очерк ученой деятельности Орлова.

⁹⁹ Лейбензон Л.С. Николай Егорович Жуковский. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1947. С. 76.

гин пишет: «Старая кинематика имела все средства для решения вопросов о путях и скоростях, но она занималась только двумя точками. Второй вопрос – какие средства находятся в нашем распоряжении и как мы должны устроить отдельные части машин для того чтобы наступило именно то определенное движение, которое требуется в машине, а не иное какое-либо»¹⁰⁰. Огромная заслуга Рело, что он ставит эти вопросы. Определение механизма Лигин заимствует у Рело: механизм есть десмодромная замкнутая цепь, в которой одно звено укреплено неподвижно. Но Лигин не удовлетворился пересказом и ввел ряд уточняющих замечаний и исправлений. В частности, он дает такое определение машины: «Машина есть соединение способных к сопротивлению тел, устроенное таким образом, что при его посредстве можно механические силы природы заставить производить механическую работу в сопровождении только известных определенных движений»¹⁰¹. Отличительный признак машины – совокупность пар элементарных частей. Пары бывают:

1) пары с тройкой подвижностью, например шар и полый круговой цилиндр;

2) пары с двоякой подвижностью, например полный и пустой цилиндр и др.;

3) пары с простой подвижностью – десмодромические пары. При этом под кинематической парой понимаются только пары с простой подвижностью, так как пары 1 и 2 типов встречаются крайне редко.

Назначение кинематической пары состоит в том, чтобы уничтожить относительную подвижность каких-нибудь из ее элементов по всем направлениям, кроме одного. Все кинематические пары имеют то общее свойство, что каждый из элементов служит огибающей формой другого. Самый простой случай будет, если один из элементов не только огибает, но еще и облекает другой, т.е. когда прикосновение обоих элементов происходит постоянно во всех точках огибающих поверхностей, так что обе формы геометрически тождественны между собой. Таких пар существует только три – облекающие или низшие пары. «Все другие кинематические пары, в которых определенность относительного движения каждого элемента достигается посредством только огибающих, но не облекающих форм, будем называть высшими парами»¹⁰².

¹⁰⁰ Лигин В.Н. Очерк новых воззрений Рело на машину. Одесса, 1878. С. 6.

¹⁰¹ Там же. С. 15.

¹⁰² Лигин В.Н. Очерк новых воззрений Рело на машину. С. 16.

При этом Лигин делает очень интересное замечание: «высшие пары сравнительно редко применяются в практике и имеют преимущественно теоретический интерес»¹⁰³. Это замечание показывает, что В.Н. Лигин был только теоретиком и имел мало отношения к практике машиностроения.

Основной заслугой Рело В.Н.Лигин считал создание им методики синтеза механизмов. Лигин занимался также исследованием зубчатых механизмов. В работе «Опыт классификации зубчатых колес» (1874) Лигин пытается классифицировать как существующие, так и несуществующие, но теоретически возможные колеса. Несколько статей Лигин посвятил исследованию шарнирных механизмов и, в частности, шарнирных направляющих механизмов.

Таким образом, В.Н. Лигин все же заметил сущность идей Рело – то, что машина состоит из механизмов, а механизм является замкнутой кинематической цепью принужденного движения. При этом важна не внешняя форма звеньев, а их сочленения.

Одним из учеников Лигина был Х.И. Гохман (1851–1916). Хаим Иегудович Гохман родился в местечке Дрогичина Гродненской губернии. Окончил Херсонскую гимназию (1871), затем Новороссийский университет (1876) со степенью кандидата и с золотой медалью за сочинение «Аналитический метод решения вопросов о зацеплениях» (1877), и был оставлен при университете «для подготовки к профессорскому званию». В 1881 г. он успешно сдал магистерский экзамен и получил командировку за границу на два года. В 1887 г. Гохман был назначен приват-доцентом Новороссийского университета по кафедре механики и читал прикладную механику, а также некоторые части аналитической механики. В 1890 г. за работу «Кинематика машин» (т. I. Основы познания и соиздания пар и механизмов) ему была присвоена степень доктора прикладной математики. Он предполагал, что эта работа станет первой частью задуманного им труда по теории механизмов. «Предпринятый мною труд имеет целью с помощью общих руководящих идей и по одному общему, строго выдержанному плану, дать полное решение всех вопросов, касающихся кинематической стороны машин, исходя из основных идей Рело. Ввиду общности такого труда я нашел целесообразным разделить его на четыре тома. Настоящий том служит как бы введением в кинематику машин. В нем излагаются лишь основы этой науки, и все вопросы решаются в самом общем виде без

¹⁰³ Там же. С. 16.

детальной разработки. Во втором томе предполагается изложить подробную теорию познания и созидания пар поверхностей. В третьем томе будут описаны и изучены все типы существующих механизмов. Четвертый том, составляющий конечную цель всего сочинения, должен заключать в себе полное развитие тех принципов созидания новых механизмов, которые вкратце и только поверхностно изложены в VII главе этого сочинения, только в виде одних тезисов»¹⁰⁴.

Но вернемся к Рело.

Учение о кинематических парах явилось ведущей идеей теории Рело, и усилиями многих специалистов это учение начало развиваться. Нельзя сказать, что форма деталей машин не интересовала Рело. По своей природе он был художником, и эстетика машин также привлекала его. Так, рассматривая формы деталей (именно не звеньев механизма, а деталей машины), Рело различает основную форму, целенаправленную форму и относительную форму. Основной формой детали он называл ту форму, которую она получала в результате ее заготовки. Заготовка – это чисто техническое понятие. Целенаправленная форма является также чисто технической. Эта форма предусматривает работу детали в качестве звена определенной пары. Наконец, относительная форма предусматривается художественным чутьем конструктора.

Как пишет Рело: «Относительные формы не могут не служить определенной цели. С одной стороны, они не должны мешать действию целенаправленных форм, а с другой стороны, должны соответствовать той технологии, которая использовалась при основной форме. Между ними и основной формой имеется поэтому такая же внутренняя связь, как между основной и целенаправленной формами, взаимосвязь, которая считает тем более ясной, чем меньше выявляются относительные формы в какой-либо конструкции». С этим же связана эстетика Рело. Так, рассуждая о красоте моста, он утверждал, что украшение стрелки моста не сделает мост красивым, но, что стиль железной конструкции должен творчески пронизывать ее снизу доверху, чтобы сами применяемые в этой конструкции формы творили его.

70-е и 80-е годы XIX века были для Рело переполненными исследовательской работой и общественной деятельностью.

В качестве директора Академии, ему удалось вернуть после войны с Францией студентов Академии, мобилизованных на фронт. Из 201 студента не вернулось 30 человек. Тогда же он

¹⁰⁴ Гохман Х.И. Кинематика машин. Т. I. Основы познания и созидания пар и механизмов. Одесса, 1890. С. XI–XII.

начал готовить Академию к уравниванию ее в правах с университетами, что, правда, было достигнуто лишь в 1899 г. Рело был деятельным борцом за техническую науку, за совершенствование технологии, за повышение культурного уровня студентов. Он занимался и историей науки и техники, уделял много внимания также искусству и литературе. В частности, в своей книге «Учение о конструкциях в машиностроении» он посвятил одну главу стилю в машиностроении. Учение о форме в машиностроении, о котором речь была выше, разработано было именно Рело. Приблизительно между 1830 и 1860 гг. в Англии и в США возникло направление придавать паровым машинам несвойственные им архитектурные формы. Рело был далек от этого: он считал, что форма должна соответствовать назначению объекта, в данном случае, машины. Стиль, по его мнению, обязательно должен соответствовать назначению.

Много занимался вопросами германской индустрии и вопросами развития германского ремесла.

К тем же годам относится много его публикаций по различным вопросам машиностроения, механики машин и теории двигателей машин.

Глава седьмая

Работы Рело

в областях литературы и искусства.

Участие в международных выставках.

У истоков дизайна

Франц Рело имел склонность к гуманитарному познанию. Многочисленны его сочинения, посвященные выставочному искусству, фольклору, общей культуре.

Его «Теоретическая кинематика» содержит специальную главу по истории машин, историческими сведениями и общими методологическими замечаниями насыщены введение и отдельные параграфы этого трактата, например там, где речь идет о формулировке понятий «машина», «механизм» и т.п., об анализе и синтезе механизмов и в особенности о предмете кинематики машин и вообще прикладной механики. Рело относит последние к наукам созидания, научной технике: «Я называю ее наукой и не думаю, чтобы это было слишком большой претензией с моей стороны; если угодно, называйте ее наукой второго и третьего порядка; она пользуется в своей области исследования научным методом и мало-помалу завоевывает свою самостоятельность, которая сделала необходимым ее обособление»¹⁰⁵.

Результатом пересечения его гуманитарных и технических интересов явилась, можно сказать, поистине философская (фактически по философии техники, хотя он так ее не квалифицировал) работа «Культура и техника», вышедшая в 1884 г. Это была лекция, прочитанная им перед промышленным обществом в Вене 14 ноября 1884 г. Его взгляд на синтез двух субкультур – гуманитарной и технической – достаточно определенно выражен им самим: «Искусство и научная техника не исключают друг друга. Требуется только усилия, чтобы удовлетворить обоим, большая стойкость и духовное углубление в тонкие эстетические законы, чтобы отразить напор разрушительных влияний машины»¹⁰⁶.

П.К. Энгельмейер не случайно называет Рело «техником философской складки».

Петр Климентьевич Энгельмейер (1855–1939) — один из основателей философии техники, основатель технического твор-

¹⁰⁵ *Reuleaux F. Kultur und Technik // Weihe. S. 31.*

¹⁰⁶ *Vgl.d. S. 13.*

чества, пропагандист и организатор научно-технического творчества в России конца XIX – начала XX столетия, изобретатель, оригинальный мыслитель, который в эпоху индустриализации с ее модернистской ориентацией положил начало постмодернистского понимания места техники в культуре. В своих работах Энгельмейер постоянно подчеркивал, что основными факторами культурного прогресса являются наука, этика, искусство и техника. При этом техника в его интерпретации – не падчерица в доме культуры, а равная среди равных, поскольку любая деятельность предполагает и рутинный момент, и творческий. Энгельмейер хорошо понимал инструментальную мощь техники. Философия техники должна была вскрыть ценностный потенциал техники, не очевидный для гуманитарного сознания, и вписать ее в культуру.

Франц Рело задается тремя основными вопросами, которые не в меньшей мере занимали и П.К. Энгельмейера. Во-первых, это вопрос, какое собственно положение занимает техника наших дней в общей культуре. Рело подчеркивает, что этот вопрос не сводится лишь к социальной, политической и экономической значимости техники, нам более или менее ясной. Во-вторых, он ставит вопрос о главных чертах метода, которому следует техника для достижения своих целей, т.е. того, который должен лежать в основе изобретательской деятельности. Это особенно важно, подчеркивает он, в плане законоположений о патентах и не только для техников, но и для юристов и администраторов. В-третьих, это вопрос о техническом преподавании.

Первый вопрос рассматривается Рело на основе историко-культурологического анализа. В результате он формирует два метода – «манганизм» и «натуризм», характеризующих соответственно европейскую научную и традиционалистскую культуры.

Понятие «манганизм» образовано от древнегреческого названия «*manganon*», т.е. механизм магов, которое давалось всякому искусственному приспособлению, устройству, с помощью которого могло производиться что-нибудь необыкновенное, всему, что было умно и искусно придумано, вызывая «уважение и страх у неразумных». В частности, так называлась метательная военная машина, вместе с которой это слово перешло в средние века (*mangano* – у итальянцев, *manganu* – у французов). Кстати, изобретенные в XVII веке большие машины для катания и глажения белья получили такое же название в силу большого внешнего сходства с громоздкими метательными машинами. Это слово затем перешло в другие языки, например, в немецкий, где *Mangel* означает каток для глажения белья. «Манганизм», по Рело, – та-

кое использование сил природы, когда добыто знание их законов и умение этими силами управлять.

Это название Рело выбрал потому, что в нем кроется искусственно созданное руками техническое устройство, которое явилось результатом исследования материалов и сил природы. «Манганисты» – это активные народы, натуры фаустовского типа, люди техники, которые стремятся к прогрессу. Они из природных материалов с помощью изученных ими сил природы встраивают в существующий мир природы новый мир, который подчинен воле человека и помогает ему лучше бороться за свое существование, чем он мог бы это делать, используя только данные ему природой органы.

Противоположностью «манганизму» является «натуризм», когда от сил природы лишь обороняются, таинственно и безотчетно подслушивая у нее некоторые рецепты.

Различные народы по роду их занятий занимаются исключительно наблюдением за природой и подражанием ей, но при этом остаются на некотором удалении от нее, видя в ней таинственные, порой фантастические и даже враждебные силы.

Русский философ, поэт и публицист Владимир Соловьев (1853–1900) так выразил философское кредо подхода к природе:

«Природа с красоты своей
Покрова снять не позволяет,
И ты машинами не вынудишь у ней,
Чего твой дух не угадает».

Народы, которых Рело условно назвал «натуристами», если и выходят из первобытного состояния, то играют относительно пассивную роль, в отличие от «манганистов», которые исследуют законы природы и ее силы и извлекают из них пользу для достижения своих целей.

Этими двумя понятиями Рело обозначает два направления в современном культурном развитии, разделяя с их помощью «манганистические» и «натуристические» культурные нации и народы. По мнению Рело, суть «манганизма» в культурном расцвете европейской цивилизации (куда он включает и Америку) проявляется не в отдельных искусствах, не в христианстве и не в вещественных изобретениях, а в прогрессе, в мышлении.

Рело провозглашает, что «господство на земле принадлежит манганистическим нациям», а «те нации, которые не захотят перейти к “манганизму”, должны заранее помириться с постепенным своим подчинением или исчезновением»¹⁰⁷.

¹⁰⁷ Vgl. d. S. 10.

Рело иллюстрирует это утверждение конкретными историческими примерами. По его мнению, Япония – это пример сознательного и целенаправленного перехода от «натуризма» к «манганизму». (И мы сегодня являемся свидетелями того, что он оказался прав, видя необычайный культурно-технологический подъем этой страны). Такой переход – это трудная работа, которая состоит в первую очередь в учении. Таким образом, Рело четко противопоставил современную западную техническую культуру, которой принадлежит будущее (по крайней мере, XX в.) и «натуристическую» восточную культуру, вытесняемую или, можно сказать, уже вытесненную первой на периферию истории человечества. Однако сегодня в XXI веке, можно сказать, что будущее принадлежит скорее синтезу этих двух культурных традиций, если, конечно, брать не экстремальные случаи, а образ мышления и действия. Наиболее наглядно это выявили экологическая проблема и проблема ведения войны новейшими техническими средствами. Они показали, что все в этом мире самым тесным образом взаимосвязано: Восток и Запад, Человек, Природа и Техника. Двадцатый век продемонстрировал, с одной стороны, опасности технической цивилизации для существования человечества, а с другой – невозможность современному человеку выжить вне мира техники.

Приобщение к технической цивилизации не дается одной лишь покупкой совершенных технических устройств – оно должно прививаться воспитанием, обучением, передачей технических знаний. Доказательством этому служит, по мнению Рело, современный ему Китай, «где весь отличный европейский материал, приобретенный покупкою, оказывается, по-видимому, бесполезным перед правильным нападением...» западных стран. Но это же относится и к промышленной сфере. Как только Китай отошел от традиционной схемы «закупки» на Западе машин и перешел к перестройке всей экономической, образовательной и технологической сферы, сразу же наметился отчетливый технический и экономический рост.

Рело пишет: «Не вещи или изобретения, но сопровождающие их идеи представляют то, что должно вызвать изменения, новшества... У нас пробило себе дорогу сознание, что силы природы при своих действиях подчиняются определенным неизменным законам, законам природы, и никогда, ни при каких обстоятельствах не бывает иначе»¹⁰⁸.

¹⁰⁸ Vgl. d. S. 10.

Техника относится к сфере материальной культуры. Это – обстановка нашей домашней и общественной жизни, средства общения, защиты и нападения, все орудия действия на самых различных поприщах. Так определяет технику на рубеже XIX–XX столетий П.К. Энгельмейер: «Своими приспособлениями она усилила наш слух, зрение, силу и ловкость, она сокращает расстояние и время и вообще увеличивает производительность труда. Наконец, облегчая удовлетворение потребностей, она тем самым способствует рождению новых... Техника покорила нам пространство и время, материю и силу и сама служит той силой, которая неудержимо гонит вперед колесо прогресса»¹⁰⁹.

Однако, как хорошо известно, материальная культура связана с духовной культурой самыми неразрывными узами. Например, археологи именно по остаткам материальной культуры стремятся подробно восстановить культуру древних народов. В этом смысле философия техники является в значительной своей части археологией технических знаний, если она обращена в прошлое (особенно в древнем мире и в средние века, где письменная традиция в технике еще не была достаточно развита), и методологией технических знаний, если она обращена в настоящее и будущее.

С помощью примеров, взятых из своей кинематики, Рело разъясняет «манганистический» принцип и обусловленное им развитие культуры, не забывая в конце выступления указать на непреходящую важность научного образования инженеров.

С неменьшим значением для общества, Рело рассматривает тему использования воды в докладе, с которым он выступил в 1871 г. «О воде и ее значении для народного благосостояния».

Выше, в главе 6, мы приводили впечатления об этом докладе Ф.Е. Орлова.

Вода, как следует из доклада Рело, среди всех жизненных потребностей человека занимает одно из первых мест. Поэтому люди еще с незапамятных времен вели водное хозяйство, т.е. систематическое, регламентируемое обычаями и законом использование воды, нерегулярно поставляемой природой, и единственно регулируемой механизмами, созданными человеком. «Наша сила в целом основана на управлении силами природы, в этом же состоит и сила земледелия». Во всех древних государствах – Египте, Вавилоне, Индии, Сирии, Палестине, Китае речная вода на пашню подводилась строго регулируемым образом: для этого строились плотины и каналы, искусственные озера, которые служили

¹⁰⁹ Энгельмейер П.К. Философия техники. М., 1912. Вып. 3.

водными резервуарами, изобретались водоподъемные устройства простейшей конструкции там, где не хватало искусственных запруд.

Земледелие новых культурных стран также связано с разнообразными канализационными системами, и лишь в Германии до 1871 наблюдается отставание в силу умеренного климата. Хотя в Граце и находится грандиозная установка канализационной сети, но она, приводя в действие водяные колеса, обслуживает только горнодобывающие и металлургические предприятия, но не земледелие. Поэтому Рело настоятельно рекомендует правительству строить пруды и плотины, чтобы оживить земледелие, чтобы не видеть спины тысяч крестьян, ежегодно вынужденных покидать родную страну. Но только многие годы спустя здесь начали сооружать водохранилища, о которых упоминал Рело в своем сочинении за 1901 г. «Механические природные силы и их использование». Первое такое водохранилище было сооружено в Ремшайде, его вместимость составляла 1 миллион кубометров воды. Сочинение о воде представляло собой лишь небольшой отрывок из истории человеческой цивилизации, освещенный с точки зрения инженера¹¹⁰. Позже он развил эту тему также во втором томе своей «Теоретической кинематики».

Его изложение и язык можно назвать образцовыми, что неудивительно: ведь он был прилежным членом Немецкого филологического общества. Вот небольшой отрывок, где он в шуточной манере описывает жизнь китайской деревушки:

«Жители деревень – все в своем роде артисты. Они доставляют императору разодетых рыбаков, матросов, рабочих, торговцев, крестьян, солдат (в зависимости от приказа гофмаршала), представляя великому господину, которому строжайшим этикетом запрещено появляться перед настоящим народом, приукрашенную действительность. Картина потрясающая! Все эти куклы «ожили» в наших чайных и табачных лавках. Они смеются и болтают, и шушукаются между собой на своем языке, который, как нитка жемчуга, собирается из коротких несклоняемых слов; они снуют, мелко семеня, как это предписывает традиция, туда-сюда, кланяются, хлопают в ладошки, звенят и стучат так, как все это происходило бы в Пекине, на его широких залитых солнцем улицах. А повелитель Поднебесной, изредка позевывая, наблюдает за этим из роскошной беседки, милостиво позволяя этому театру жизни продолжать бурлить дальше».

¹¹⁰ *Reuleaux F.* «Über das Wasser in seiner Bedeutung für die Völkerwohlfahrt». 1871. Weihe.

Совершенное владение языком Рело лучше всего проявляется в его переводе поэмы Г.У. Лонгфелло¹¹¹ «Песнь о Гайавате». Под названием «Песни Лонгфелло» эта поэма была поставлена в театре Gotta в Штутгарте. Предложение о переводе этого произведения Рело получил во время своего путешествия в Америку, когда он посетил индейское поселение Миннуехахаталь под Миннеаполисом – место, где происходила наиболее любимая им сцена стихотворения. Историческая канва стихотворения – жизнь одного североамериканского индейского вождя Гайавата, который дал ирокезам в XV веке закон и обычаи. С именем этого вождя связан целый венок древних индейских легенд, которые сочинялись в связи с великими событиями в природе и всегда описывали окружающий индейцев мир природы. Рело сохранил четырехстопный стихотворный ритм Лонгфелло, благодаря чему произведение сохранило свое чудесное мелодичное звучание, и благодаря искусно подобранному, меткому и выразительному словам стало еще возвышеннее. И здесь невозможно удержаться, чтобы не привести небольшой отрывок (в переводе авторов):

Kann's die Sonne sein, die sinkel
Zu der weiten Wasserllache?
Oder schwimmt der Rotschwan
druben.

Von dem Zauberpfel verwundet,
Farbend hochrot alle Wellen.

Mit dem Hochrot seines Blutes.
Fullend rings die Luft mit Helle,

Das Gefieders Granz und Helle?

Ja, die Sonne ist's, die sinket,
Sinkt hinunter in das Wasser;
Rings die Luft ist purpurfarben,
Alles Wasser strahlt in Rote!
Nein; der Rotschwan ist's, der
schwimmt

Может, солнце садится
На широкую водную гладь?
Или это вдали плывет красный
лебедь,

Раненый волшебной стрелой?
Окрашиваются в багряный цвет
все волны

багрянцей его крови,
Все вокруг наполняется воздухом
и светом,

Это блеск и свет его перьев?

Да, это солнце, что садится,
Уходя под воду:
Вокруг воздух цвета пурпура,
Вся вода лучится багряным!
Нет, это плывущий красный
лебедь

¹¹¹ Логфелло Г.У. (Longfellow H.W.) (1807–1882), американский поэт. Он опубликовал поэму «Песнь о Гайавате» в 1855 г. Она покорила американских и европейских читателей своеобразием содержания и красотой.

¹¹² Русским читателям посчастливилось читать эту поэму с 1896 г. в переводе И. Бунина (*Бунин И.А. Собр. соч. Т. 5. М., 1956. С. 5–140*). В одном из писем он признавался: «...Я ведь помешан на Гайавате, – я ведь с самого детства сплю и вижу перевести всю эту дивную песню, и издать ее, и любоваться, и сотни раз самому перечитывать ее, если не будет читателей».

Taucht die wunde Brust ins Wasser;
Hoch erhoben seine Frugel,
Mit dem Blut die Wellen rotend.

Über ihm der Stern des Abends
Schmilzt und zittert durch den
Purpur,
Schwebend hoc him Abendzwielicht.
Nein; es ist ein edler Perlstein Het:
Am Gewand des Grosen Geistes,
Der hinwandelt durch das Zwielicht

Ziecht in Stille durch die Himmel.”

Опускает раненую грудь в воду:
Еще подняты его крылья,
Обагрят кровью волны.

Над ним вечерняя звезда
Таёт и мерцает сквозь пурпур,

Высоко качаясь в полумраке.
Нет, это драгоценная жемчужина
На покрове Великого Духа,
Который, стремясь сквозь
полумрак,

Восходит в тишину небес»¹¹¹.

Его путевые заметки также отличает законченность формы. Рело был командирован на выставки в Сидней и Мельбурн, где провел с 1879 по 1881 г. в должности комиссара Немецкого Рейха и использовал это путешествие для вылазок в Индию и Новую Зеландию. «Путешествие вдоль и поперек Индии в 1881 году» описывает он в своей книге, которая была выпущена в 1881 г. издательством Общества немецкой литературы. Из Австралии он отправился через Сингапур в Калькутту и далее через Бенарес в Дели, а оттуда – в Бомбей, на западное побережье полуострова.

Описание страны и людей, событий и впечатлений от тамошнего искусства сопровождается описанием технологии, искусности местных индийских мастеров, их простых, но целесообразных инструментах, и о том, как этими инструментами работают. Но в этом был он весь, тот, который в своей кинематике целую главу посвятил истории развития машины из простого инструмента, и это был подход, невиданный за всю историю существования техники. Он посетил бесчисленное множество разных мастерских и подробно изучил еще допотопные устройства и технические приемы индийского народа.

В том же духе выдержано и «Короткое путешествие в Новую Зеландию», которое вошло в вышедшую в 1901 г. книгу «Из истории мира и искусства», где содержится также более длинное сочинение «Об азиатском искусстве на Мельбурнской выставке», в котором были описаны не только предметы и их значение, но и технический процесс их изготовления. Из первого названного сочинения здесь хотелось бы привести один пассаж. После того как Рело описал многочисленные укрепления и минные заграждения форта Сиднея, он продолжает: «На вопрос, со стороны какой страны вы опасаетесь нападения, вам в ответ, пожимая плечами, начинают говорить нечто невнятное, из которых можно уловить только Россия».

На крупных международных выставках в Париже (1867), Вене (1873) и в Филадельфии (1876) мы находим Рело среди членов жюри.

Всемирная Парижская выставка 1867 г. положила начало новой тенденции: экспозиции стран-участниц стали размещать в специально построенных ими национальных павильонах. На этой выставке посетитель мог увидеть тирольскую деревню, русскую избу, египетский караван-сарай, восточный минарет, турецкие бани, китайский театр, английский коттедж, американское ранчо, голландскую ферму, японский киск и даже восстановленные катакомбы Рима.

На выставке было представлено много технических новинок, свидетельствовавших о новом применении электричества: телеграфный аппарат Хьюга, электрические фары, подводный кабель. Большой интерес вызывали гидравлический лифт, шарикоподшипники, механическая тестомешалка и более совершенные земледельческие орудия, которые еще только начали проникать в деревню.

История электропередачи началась с демонстрации на Венской международной выставке 1873 г. возможности передачи электроэнергии на расстояние.

На выставке в Филадельфии демонстрировалась статуя Свободы, которая задумывалась как подарок к столетнему юбилею Декларации независимости в 1876 г.

Свои впечатления от последней выставки Рело изложил в десяти письмах к национальной газете, которые позднее были собраны в одну книгу «Письма из Филадельфии».

Эти письма, прежде всего первое, вызвали невероятный переполох в немецкой промышленности, и содержало упрек, который очень скоро стал крылатой фразой «дешево и плохо» и который он адресовал образцам, представленным Германией на выставке. Понятно, что в первый момент промышленность ополчилась на эту отрицательную оценку, и лишь немногие поняли и приняли ее справедливость. Среди этих немногих был Вернер фон Сименс. Он встал на сторону Рело. Очень скоро всем стало очевидно, как справедливо было это смелое слово. Оно, вначале пусть и нехотя, дошло до сердец, и уже к следующей крупной международной выставке в Чикаго в 1893 г. стало видно, что оно достигло своей плодотворной цели. Эта Всемирная художественно-промышленная выставка была посвящена 400-летию открытия Америки и получила название «колумбова». На ней впервые были продемонстрированы электромотор, динамо-машина и генератор переменного

тока. Там же состоялся дебют огромного по тем временам колеса обозрения диаметром 75 м, сконструированного питтсбургским инженером Дж. У. Феррисом.

Пограничную область между техникой и искусством рассматривает книга Рело «О стиле в машиностроении», которая вышла в 1861 г. и изначально представляла собой заключительную часть пособия по конструированию для машиностроителей. Рело хочет представить технической аудитории попытку систематизировать упорядоченные принципы «формоизобретательской» стороны машиностроения или, по крайней мере, способствовать такой «систематизации». Он различает три вида форм в технике: основную форму, которая обусловлена стремлением к прочности соответствующей детали машины, затем целевую форму, вытекающую из предназначения этой детали, и наконец, внешнюю форму, соединяющая эту деталь с другими, примыкающими деталями, и в выборе которой конструктор имеет самую большую свободу. Но эта внешняя форма требует очень тщательного выбора, она не должна противоречить целевой форме. Простое бессмысленное нагромождение скопированных форм на детали, внутренняя сущность которых с этим формами не имеет ничего общего, есть и остается неприемлемой, и в итоге вызовет у настоящего эксперта лишь недоумение: у машиностроителя – потому что ему голая полезная форма кажется гораздо существеннее и здоровее, чем просто внешняя вычурность формы, у художника – потому что он привык понимать искусственную форму в ее стилистическом смысле, т.е. ему сразу же бросится в глаза абсурдность, бессмысленность неправильного применения формы. Даже сегодня, более ста лет спустя после появления этой книги, когда наука уже ушла вперед, можно сказать, что некоторые принципиальные мысли из этой книги до сих пор не утратили своего значения для сегодняшней практики конструирования.

Остановимся несколько подробнее на истории создания архитектурного стиля в машиностроении.

На протяжении XIX в. техника сделала огромный шаг в своем развитии. В жизнь вошли паровозы, пароходы, металлообрабатывающие, текстильные и сельскохозяйственные машины; на смену паровым двигателям приходят электродвигатели, двигатели внутреннего сгорания, дизели, турбины и т.п. Техника развивалась настолько бурно и плодотворно, что машинные парки первой трети века и 70–80-х годов разительно отличаются друг от друга.

Не только возрастает численность и разнообразие машин, но и увеличивается их скорость и мощность, используются новые

виды энергии, развивается наука о машинах, появившаяся почти одновременно с возникновением промышленного машиностроения в конце XVIII в. после изобретения универсального парового двигателя. Начинаются поиски простейших составляющих машин – «элементарных машин». Мысль ученых останавливается на изучении сущности машин, их содержания, но форма еще не становится предметом изучения. Даже в такой тесно связанной с практикой области исследований, как сопротивление материалов, первая догадка о том, что форма может иметь влияние на техническое качество, появилась не ранее 60-х годов XIX столетия. В первой половине и середине века в мире технических форм царил интуитивизм конструктора, во многом зависящая от привычки.

Согласно сложившемуся общественному мнению, машина не могла быть красивой; это положение отражало, хотя и в утрированной форме, некоторые посылки эстетики Канта. По Канту, эстетическое бескорыстно, т.е. лишено практической полезности. Полезные предметы из сферы эстетического исключаются. Машина как предмет, чисто утилитарный, уже поэтому красивой быть не могла, наоборот, была уродливой. Другое дело искусство. Тогда установилась такая система эстетических представлений, согласно которой искусство провозглашалось уделом избранных, проявлением божественного начала в человеке, управляемым нисходящим свыше вдохновением, а красота противопоставлялась пользе, необходимой, но низменной. Эти положения были восприняты господствовавшей в то время эстетикой романтизма. А поскольку романтизм был мировоззрением, включавшим в себя, помимо эстетических, и социально-экономические представления, то неудивительно, что в середине XIX в. он все еще во многом определял отрицательное отношение общественности к технике, приписывая последней все социальные беды, причиняемые техническим прогрессом.

Бурное развитие техники и не менее бурный протест против нее – таков парадокс первой половины века. Обездоленные трудящиеся вступали в ряды луддитов, громили ненавистные машины и тем выражали свое отношение к техническому прогрессу «снизу».

С развитием машиностроения технологическая машина становится товаром и сама производит товары, среди которых большое место занимают предметы широкого потребления; до сих пор они делались кустарным способом и, следовательно, были произведениями ремесленного искусства. Когда эти вещи начали производиться на машинах, стало очень заметным несоответствие между старыми традиционными формами и новой технологией

производства: вещи приобретали характер фальшивой, дешевой подделки и не могли не оскорблять развитый вкус.

В течение всей первой половины XIX столетия машинная продукция в эстетическом отношении не выдерживала никакой критики и в этом смысле противопоставлялась ремесленным изделиям. Она не соответствовала и представлениям о художественности, согласно которым произведение искусства, в том числе и прикладного, должно было быть рукотворным, индивидуальным и неповторимым. Но поскольку промышленная продукция является материалом, из которого формируется вещная среда, окружающая человека, то основное внимание уделялось анализу влияния техники на прикладное искусство в социальном, экономическом и художественном аспектах; сама же машина до поры до времени исключалась из числа изучаемых объектов.

Машинная среда постепенно становилась постоянной средой трудовой деятельности человека, и уже невозможно было игнорировать вопросы ее эстетики. По мере того как в жизнь человеческого общества все более прочно входили машины самых непривычных, уродливых форм, появлялась необходимость как-то примирить их с эстетическим чувством. Для этого чугунные части машин, рамы, станины, колонны и т.п. стали делать в готическом или греческом стиле, уместном, собственно, для каменных или деревянных построек. Такие разукрашенные детали машин продержались в машиностроении в течение многих десятков лет.

Иногда в литературе можно встретить мнение, что архитектурный стиль в машиностроении – явление порочное, порожденное лишь эстетической косностью, бездумным перенесением уже готовых архитектурных украшений на машину, которая и функцией, и материалом, и всей своей сущностью принципиально отличается от неподвижных архитектурных сооружений. Но и современные станки и машины не порывают стилиевых связей с современной архитектурой; и в целом формообразование предметного мира каждой эпохи имеет множество общих черт и развивается по общим законам, к какой бы области ни принадлежали группы предметов. С точки зрения механики также нет противоречия между архитектурным сооружением и машиной. Сущность архитектурного сооружения – ферма – может рассматриваться как механизм с нулевой степенью свободы; вводя в механизмы дополнительные ограничения, мы можем прийти к той же ферме.

Какова же в таком случае сущность архитектурного стиля?

Уже давно замечено, что всякие принципиально новые конструктивные решения, воплощаясь в жизнь, на первых порах

заимствуют свои составляющие части из старых, хорошо освоенных форм. Достаточно вспомнить опыт Леонардо да Винчи, заимствовавшего у птиц и летучих мышей форму крыльев для своих проектов летательных машин, самые разные применения «нюрнбергских ножниц» в творчестве многих конструкторов, поучительную историю парового молота и т.д.

Явление перехода форм из одной предметной области в другую было замечено крупным историком и знатоком искусства и архитектуры первой половины XIX в. Г. Земпером, который обратил внимание на то, что некоторые формы как простейшие выражения идеи модифицируются в определенном материале и как инструменты и способы обработки, влияют на окончательную форму.

То обстоятельство, что на заре своего развития машиностроение использовало в процессе формообразования традиции архитектуры, имеет целый ряд причин. Одна из них – свойство человека при создании новых объектов использовать старые, привычные формы. Вторая – та, что архитектура из всех искусств наиболее близка к технике, к тому же архитектура занимала ведущее место среди искусств. Связь архитектурного и конструкторского творчества не обрывалась и в последующее время. Влияние архитектурных форм ощущалось в машиностроении до конца XIX в., а на рубеже веков, т.е. в период становления профессии дизайнера, проявилось неожиданно ярко: большинство первых теоретиков дизайна и художников-конструкторов были профессиональными архитекторами.

Еще одна немаловажная причина возникновения архитектурного стиля кроется в самой технике. Машины с паровыми двигателями того времени были огромными, громоздкими, их скорости были невелики, и это тоже немало способствовало тому, что они воспринимались как некие архитектурные объекты.

Первым, кто поставил вопрос о форме машин, был Франц Рело, всю свою жизнь посвятивший изучению машин. Напомним, что после окончания школы он прошел путь от ученика на заводе до директора Берлинской ремесленной академии. Важнейшие его работы относились к исследованию кинематики машин. Он не отрывал развития техники от общего развития человеческой культуры и начал с того, что провозгласил возможность единого гармонического развития искусства и техники, которое он считал непременным условием правильного развития общества, где техника становится «носителем культуры, сильной, неутомимой работницей в деле цивилизации и образования человеческого

рода». Конечно, Рело не мог дать всестороннюю оценку причин и следствий мощного технического прогресса своего времени; он смотрел на технику прежде всего с точки зрения инженера, но инженера широкого профиля, глубоко изучившего все области машиностроения, инженера, смотревшего далеко вперед, обладавшего большими способностями и склонностью к обобщениям.

Создатель теории кинематических пар, доведший анализ машины до ее элементарной составляющей, он не мог не коснуться вопроса о форме машины.

Итак, вернемся к рассмотрению специальной работы «О стиле в машиностроении», которая является заключительной главой учебника Рело по конструированию машин. Эта работа Рело, написанная в 50-х годах XIX столетия, представляет собой как бы своеобразный итог уже проделанного – исчерпывающий анализ архитектурного стиля в машиностроении. Задуманная как учебник, она не нашла широкого практического применения, так как вскоре после ее появления начался качественный перелом в технике, связанный с развитием больших скоростей и потребовавший принципиально новых форм. Зато книга дает полное представление о том, что же представлял собой архитектурный стиль.

Далее мы воспользовались материалами книги Э.Г. Цыганковой «У истоков дизайна», предисловие к которой написал А.Н. Боголюбов.

Исходя из того положения, что конструирование в значительной степени является свободным творчеством и зависит не только от математических расчетов, но и от знаний, личности и вкусов инженера, Рело предполагает, что в будущем обязательно появится учение о машинной форме, которое позволит в каждом отдельном случае находить оптимальные решения. Свою же задачу он видит в выявлении и систематизации наиболее общих законов и правил формообразования, стараясь показать, что машина может и должна быть красивой.

У Рело нет сомнений в том, что машиностроение может и должно следовать архитектуре там, где речь идет о формообразовании машины, поэтому он классифицирует основные машинные формы по степени их эстетического воздействия. Действительно, в каждой части конструкции проступает более или менее отчетливо ее основная форма. Например, основная форма колонн – это идущие вертикально вниз подпорки, консолей – выступающие из стен балки, на которых находятся несущие части. Эти основные формы строго функциональны и оказывают самое непосредственное влияние на прочность конструкции. Таким образом, основные формы машины

диктуют силуэт в целом. Они делятся на два класса: формы, полностью определенные целесообразностью (винт и винтовая нарезка, колесо и профиль зубьев, паровой котел и форма цилиндра и т.п.), и формы «свободного выбора», т.е. такие, в которых целесообразность является лишь частью поставленной задачи, и рисунок которых может бесконечно варьироваться. Таковы выразительные линии колонны, ее подножия, капители и т.д. Расширение у основания колонны дает возможность почувствовать, что колонна стоит, а не воткнута в основание, а выступающая капитель делает ясной связь между колонной и несущими балками.

Вообще, исходя из того положения, что машина является неким архитектурным целым, Рело требует ясности и четкости в соотношении отдельных частей, причем подчеркивает функциональное значение каждой детали. Большое внимание уделяет он ритму и пропорциональности, которые, по его убеждению, заложены («имеют корни») в природе и человеческой натуре и присущи всем человеческим творениям – от произведений искусства до машин. Ритмичная и пропорциональная форма не может быть нецелесообразной, а следовательно, не может противоречить принципам функционального формообразования.

Продолжая классификацию машинных форм, Рело предлагает принять для каждой конструкции такое разделение: исходная часть, переходная форма, деление и членение, связывающая и конечная части.

Под исходной формой понимаются подножия, подставки, станины и т.п., берущие начало прямо на почве, стене, полу, поверхности и т.д. Для них хороши такие силуэты, линии которых подчеркивали бы их функцию (прочность опоры) и были бы параллельны плоскости крепления воздвигаемых на них конструкций. Обычно основания делают более широкими, чем несомые конструкции, кверху их профили склоняются один к другому, что опять-таки подчеркивает связь с узкими несомыми частями.

Переходные формы конструкций характеризуются изменением сечений и рисунка разреза. В технике нередко встречаются детали, в которых круглая форма цилиндра переходит в четырех-восьмисторонник, треугольник – в шестиугольник и т.п. Чтобы такие детали были красивы, Рело предлагает при их построении использовать опыт архитектуры, где таких переходных форм встречается множество, и показывает это на рисунках. Речь идет о трубе парового котла: Рело сопоставляет ее с дымовой трубой частного дома английско-готического стиля и с трубами некоторых топок паровых котлов.

Особый интерес представляют мысли Рело о принципах композиционного построения. Основные узлы машины, по Рело, должны четко разделяться, не нарушая при этом гармонии целого, причем внешний вид определяется их функцией.

Интересно отметить, что одной из разновидностей расчлененной формы Рело считает украшения на плоскости и указывает на контурные поверхности подножек, нижнюю раму паровой машины, часть настила у судовой машины. Тут он предлагает использовать орнаменты и узоры потому, что шероховатые поверхности в данном случае функционально оправданы и в то же время не ограничивают художественной фантазии. Вопрос о стиле самих орнаментов и об их стилевом единстве с машиной Рело не интересует, в подобных расчлененных поверхностях он видит еще одну возможность украсить машину.

Рело выделяет также заканчивающие формы, служащие для того, чтобы ограничивать конструкции, остающиеся свободными. Это могут быть окончания массивных опор, трубы паровых котлов, дымовые трубы и т.п. По мнению Рело, всевозможные окантовки такого рода берут свое начало в текстильном искусстве и соответствуют кайме, кантам, бахrome, а их архитектурными прообразами являются различные карнизы, консоли, фризы.

Проанализировав в деталях исходные, переходные, заканчивающие и т.п. формы, Рело переходит к рассмотрению облика машины в целом. Машиностроение создает новые формы и воплощает их в силуэтах, не имеющих аналогий в природе. В архитектуре основные силуэты подчиняются вертикалям, так как направления сил в строительных конструкциях вертикальны. В машиностроении силы действуют на конструкции в различных направлениях, что влечет за собой большее разнообразие машинных форм. Машиностроительный стиль находится в зачаточном состоянии, и Рело предлагает уделить профилированию деталей, или, как он выражается, связующим формам, особое внимание.

В профилях машин, замечает Рело, надо отчетливо различать формы, строго обусловленные целесообразностью, и формы «свободного выбора». В первом случае задача ограничивается тем, что профили деталей, выполненные по прямой, окружности и т.д., связываются между собой. Связь форм «свободного выбора» сложнее, так как они зависят от эстетического чутья конструктора. Рело дает примеры построения профилирующей кривой на материале сочленения колонны с основанием. Его конструкторский опыт подсказывает ему правильный выбор — закругленное сочленение. Он рассуждает следующим образом: если мы хо-

тим связать воедино профиль колонны и основания, то должны уяснить движение линий, которое распадается на восходящее движение ствола колонны и горизонтальное – основания, причем в последнем направлении сходятся у центра, что требует симметричного расположения ребер. При этом восходящее движение тела колонны нарастает и уравнивает тяжелые горизонтальности основания. Эллипсоидальная кривая вычерчивает замкнутый профиль, соединяющий вертикальные и горизонтальные линии. Тут же Рело выводит правило, по которому следует строить подобного рода кривые, и подкрепляет его примерами на построение парабол и эллипсоидальных кривых, дающих возможность легко, стремительно и красиво связать линии самых различных направлений. Отдельный параграф посвящен применениям различных параболических кривых в строительстве, прикладном искусстве, а затем – в технике; тут же подробно разъясняются способы их построения.

В качестве одного из примеров Рело указывает на упорные, горизонтальные, подвесные и консольные подшипники, в которых профилирующая параболическая кривая связывает вертикальное движение колонны с горизонталью верхней плиты.

Технико-эстетический прогноз Рело нашел свое подтверждение значительно позже. Проведенные в начале нашего столетия работы в области оптического метода исследования напряжений не только доказали, но и буквально показали необходимость плавных переходов при изготовлении машинных деталей.

Мысль о зависимости формы от материала и способа обработки высказывалась в 50-х гг. XIX века и до Рело. В частности, Земпер в ряде работ уделял большое внимание этому вопросу и многосторонне его исследовал. Технические искусства он разделяет на текстильные, керамические, тектонические (плотничье ремесло и т.п.) и стереоатомические (каменные работы). Он считает, что тот или иной стиль возникает на основе способов обработки материалов. Предметом исследований Земпера и в этом случае являются различные виды прикладных искусств и, главным образом, архитектура. Сами машины не были объектом его наблюдений.

Тем более интересно сравнить его высказывания с рассуждениями Рело, во многом сходными. (Еще одно доказательство того, что нет принципиальной разницы в эстетических требованиях к форме машины или производству искусства, в методах проектирования станков или компоновки произведения искусства.) Вопросу о зависимости формы от материала в машиностроении

Рело посвятил целый раздел книги, почти целиком построенный на практических примерах. В его время литой чугуи был ценнейшим материалом и шел в основном на детали, работающие на сжатие и, следовательно, ограничивающие вариантность формы. Кованая сталь благодаря специфике обработки пригодна для более простых форм. Не следует упускать из виду, замечает Рело, что негладкие стороны кованой поверхности часто нуждаются в дополнительной обработке. Таким образом, в формообразование включается новый фактор – круглошлифовальный и токарный станки. Они пригодны для обработки деталей с круглым сечением; тела же с угловым сечением должны быть, как правило, простыми, а по возможности и вовсе исключаться. Бронза обычно используется для небольших деталей благодаря легкости обработки и большим декоративным возможностям. Дерево применяется в основном в качестве балок и досок, на них должны распространяться простые исходные и переходные формы. Рубанки, пилы и токарный станок – вот средства деревообработки. Множество украшений, возможных благодаря резьбе, в машиностроении неуместно.

Рело рассматривает вопросы машинной формы с возможной полнотой: приводит конкретные примеры наилучшей формы литых, кованых и других изделий; анализирует формообразование широко применяемых в машиностроении деталей и их наиболее удачные образцы. Он изучает кривые сечений и их построение, ищет причины, почему детали, обладающие одинаковой функцией, производят различное впечатление вследствие изменения пропорций или рисунка. Так, сравнивая различные образцы стоек под подшипниками, Рело приходит к мысли, что в машинах, как и в произведениях искусства, отражается национальный характер народа. Чтобы проследить, какое разнообразие впечатлений порождает свободная связь форм, говорит он, следует сравнить две различные формы стоек под подшипники, созданные английским конструктором Гартаном и французским – Лежандром. Рело очень метко подмечает разницу между коренастыми, похожими на деревянные балки конструкциями бриттов, которые так правдиво и определенно характеризуют грубого «Джона Буля», и гибкими, подвижными формами стоек Лежандра, которые говорят о легком и беспечном характере французов.

У Рело и его теории были ожесточенные противники. В условиях капитализма все отрасли производства, в том числе и машиностроение, были полностью подчинены одной задаче – извлечению максимальной прибыли, а поскольку эстетика формы

требовала дополнительных расходов, убедить промышленника в ее целесообразности было не просто. Красноречивое свидетельство тому – полемика Рело с крупным немецким машиностроителем буржуазного толка А. Ридлером. Последний упрекал Рело в «излишних» обобщениях, теоретизировании, попытках создать стиль, который не по карману современному машиностроению.

Влияние архитектуры остается ощутимым в машиностроении до конца XIX столетия. Правда, к концу 80-х годов готические и другие подражания себя изживают. Станины и корпуса машин приобретают закругленный рисунок, литые детали, как правило, украшаются небольшими напльвами в виде карнизов, но всякие излишества исчезают.

Все мелкие детали остаются открытыми, а это создает в большинстве случаев дробленную форму. Соотношения частей непропорциональны. Человеческий фактор все еще никак не учитывается. Архитектурные подражания превращаются в тоскливую попытку по традиции украсить некрасивое.

Архитектурный стиль умирал. Он не мог уже убедить в своей жизнеспособности ни конструкторов, ни потребителей. Однако интерес к машинной форме не угасает, но приобретает несколько иные оттенки. С одной стороны, хотя научная база машиностроения к концу XIX в. значительно расширилась и укрепилась, в построении машин еще очень большую роль играл практический опыт, заставлявший по старинке пользоваться формами архитектурного стиля. С другой – возросшие скорости, а с ними вибрация и трение потребовали увеличения допусков на прочность. Вместе с тем машины были товаром, а это обязывало предпринимателей думать об их удешевлении и одновременно заботиться о привлекательном внешнем виде.

Неписанные правила формообразования машин-орудий выражались кратко в следующем: простота конструкции, устойчивый и приятный вид станка, скорее большая, чем достаточная, толщина всех частей, хороший резец, надежный, не слишком сложный механизм для главного и поступательного движения, рациональная скорость и солидный фундамент. Никто не знал, однако, что крылось за словами «приятный вид станка». Если раньше «приятность» означала орнаменты, колонны и т.п., то в последнем десятилетии века от них уже отказались. Появилась настоятельная потребность в новых принципах формообразования, для создания которых нужна была новая эстетическая теория. Рождение новой эстетики началось с бунта против орнаментации, изобразительности, архаичности формы.

Пионерами новой эстетики выступили архитекторы Л. Салливен, А. Ван де Вельде, А. Лоос и др. Они боролись за освобождение вещей от излишней орнаментации, противоречащей функциональному назначению вещи, за красоту обнаженной целесообразной формы. Они исходили из того положения, что форма вещей и их украшения, свойственные ремесленным поделкам, неуместны в век машинной индустрии.

Правда, и эти выступления еще не относились непосредственно к машинной форме, но критика старого стиля имела своей исходной точкой машинную среду. А в 1898 г. Лоос, еще не надеясь, что его поймут, поставил вопрос о том, что новые проявления культуры – железные дороги, телефон, пишущие машинки и т.п. – должны освободиться от формальной стилизации, так как они предназначены для новых функциональных процессов и форма их должна быть функциональной. Лоос замечает иронически: «Каким должен быть телефон? Мы склоняемся к компромиссу. Мы представляем телефонную будку в стиле рококо, а трубку в виде грифа. Или готическую. Или в стиле барокко... Избавьте нас от таких “стильных” телефонных будок!».

Борьба за слияние красоты и целесообразности в формах изделий промышленной продукции, а значит и в машинной форме, усилилась к концу века. Новое понимание эстетики технической среды и развитие новой эстетики шло плечом к плечу с техническим прогрессом своего времени.

Резкое увеличение скоростей, изобретение двигателя внутреннего сгорания, появление автомобилей и первые полеты авиаторов коренным образом изменили характер техники, что сразу же оказало значительное влияние на очертания машин, и не только транспортных.

В 80–90-х годах возникают первые догадки о прямом взаимодействии и взаимовлиянии формы машины и скорости. В формообразовании машины наступает переходный этап к новому стилю, выразившемуся впоследствии в обтекаемости и нашедшему свое научное обоснование в теории крыла самолета, созданной Н.Е. Жуковским.

Упомянем еще некоторые из статей Рело: «Техника мозаики для памятника победы», «Шахматные фигурки с Ближнего Востока»; «Толкование и значение народных сказок»; «О богатстве символических форм изобразительного искусства и их культурно-историческое значение»; «О Венецианской колокольне»; «Кто сказал, что железные мосты не могут быть красивыми?». В последнем сочинении Рело представляет обычную сегодня точку

зрения, что украшение мостовых опор не помогут сделать мост красивым, и что железная конструкция моста сама по себе должна быть красивой по форме». Это вновь говорит о том, насколько разносторонне талантлив был Рело. Но, занимаясь самыми различными проблемами, он никогда не упускал из вида технику, а напротив, постоянно стремился отыскивать точки соприкосновения с ней, и тем самым показывать, как техника вторгается во все сферы культурного творчества человечества. И снова не возможно не восхищаться основательностью его изысканий и ясности, образности его языка, порой пронизанного тонким юмором.

Глава восьмая

«Лебединая песня» Рело

Нужно сказать, что на рубеже столетий выявились два различных подхода к решению задач теории механизмов. Один, теоретический, осуществляли математики: Чебышев, Сильвестр, П.О. Сомов, Гохман, Кёнигс. Второй подход, если можно так выразиться, от машиностроения, был присущ главным образом ученым «немецкой» школы: немцам, австрийцам, швейцарцам; лидером этого направления несомненно является Рело.

Публикация первого тома «Теоретическая кинематика» Рело явилось событием мирового значения. Правда его теория подвергнута в отдельных положениях строгой критике, но подавляющее большинство теоретиков машиностроения приняли основные положения Рело и начали пользоваться ими и развивать его идеи. И тут оказалось, что Рело высказал существенно больше идей, чем разработал в своем труде. Уже в последней четверти века многие его идеи были подхвачены механиками в различных странах и были развиты в разных направлениях. Были поставлены и некоторые задачи синтеза механизмов: точный и приближенный аналитический метод Чебышева, структурный метод Чебышева, Грасгофа и Грюблера, типовой метод Рело и метрический метод Бурместера.

Сам Рело продолжал размышлять над своими высказанными в первом томе установками, и результатом его размышлений явился второй том, вышедший ровно через четверть столетия после первого. За эти годы было опубликовано много статей и трудов, развивающих его идеи или оспаривающих их, а также высказывавших новые мысли, которых Рело в первом томе не коснулся. Несомненно, что ознакомление с опубликованной в течение этого двадцатилетия литературой в определенной степени повлияло на план второго тома и на его содержание. Характерно, что он меняет и заглавие всего труда. Он именуется теперь «Учебник кинематики. Второй том: практическое отношение кинематики

к геометрии и механике»¹¹³. На втором выходном листе стоит: «Основания теории науки о машинах».

Книга состоит из трех неравных частей. Первый раздел (27 параграфов) посвящен геометрии движения, или, как ее называет Рело, форономии; второй – «Учение о принужденном движении, или кинематика», т.е. собственно теория механизмов; третий раздел – «Кинематика в животном царстве».

Изложению предпослано «Введение». Он пишет: «Предлагаемый том является второй частью учебника кинематики, для которого моя «Теоретическая кинематика» составила первый том. После появления того тома прошло четверть века для составителя в усилиях и труде, чтобы привести в порядок и переработать кинематические основания для машинной практики. К тому же, в первом томе требуемое разложение машины на ее элементарные составляющие было изложено в общих чертах. Однако я ознакомил техническую публику отрывочно с частью продолжавшейся разработки в моем «Конструкторе» и в журнальных статьях, а также в моих лекциях. Теперь, в предлагаемой книге имеет место основательное обобщение упомянутого, но оно расширяется и развивается во многих направлениях относительно того, что уже было опубликовано, переработано и основательно изложено»¹¹⁴.

Таким образом, содержание второго тома «Теоретической кинематики» не является переработкой первого тома, а представляет совершенно новое исследование, посвященное детальному изучению движений частей машин и машин в целом.

Раздел первый. Первый раздел монографии посвящен теоретическим вопросам кинематики; кинематической геометрии или форономии. Рело использует термин, примененный академиком Императорской Петербургской академии наук, учеником Я. Бернулли, Яковым Германом в своей книге «Форономия, или две книги о силах и движениях твердых и жидких тел», изданной в Амстердаме в 1719 г. Общий обзор излагаемого здесь учения Рело приводит в первом параграфе, озаглавленном «Механика и геометрия». «При том отношении, – пишет он, – которое уделяется в технических школах геометрии, часто излагают ее отношение к механике иначе, чем это соответствует ее сущности. В особенности это относится к кинематике, самому молодому из разделов механики». Свое исследование в этом отношении Рело считает необходимым начать с изложения некоторых определе-

¹¹³ *Reuleaux F. Lehrbuch der Kinematik. Bd. II. Die praktischen Beziehungen der Kinematik zu Geometrie und Mechanik. Braunschweig. 1900.*

¹¹⁴ *Vgl.d. S. III.*

ний и теорем, достаточно известных, но при этом он старается осветить некоторые интересующие его вопросы.

Механика – есть учение о причинной связи движений тел (с. 3). Это определение является общепризнанным, хотя и ограничивается определенным кругом задач. Механика является экспериментальной наукой. Ее простейший основной закон заимствован из опыта, он заключается в том, что материальная точка, находящаяся в движении меняет свое местоположение, двигаясь по прямой линии. Если же материальная точка связана с другими точками и находится в движении по отношению к ним, то это также предмет механики. Но, и в простейшем случае движения материальной точки, ее путь – прямая линия, является предметом геометрии. Притяжения и отталкивания меняют форму этого пути, и точка под этими влияниями описывает криволинейный путь, в частности движется по одной из кривых, образующихся коническими сечениями. Таким образом, геометрия выступает как вспомогательная наука по отношению к механике.

Геометры XVII в. считали, что механика является частью геометрии, таких взглядов придерживались: Ж.П. Роберваль (1602–1672) в своей работе о проведении касательных, а также И. Барроу (1630–1677), который, при исследовании кривых, ввел даже силы. Роберваль показал, что когда круг катится по прямой линии, то точки круга, отдаленные от точки соприкосновения круга с прямой, обладают большей скоростью, чем скорость точки соприкосновения. Определение соответствующих скоростей и является одной из первых задач геометрии движения, однако геометрия не определяет действительную скорость этих точек. Это задача механики, но у Роберваля и Барроу она не рассматривается, так как в геометрии движения только сравнивают между собой.

Использование геометрии как вспомогательной науки проявляется, по словам Рело, не во всех задачах механики. В частности, она мало служит или вообще не применяется в учении о жидкостях и газах. Надо сказать, что здесь Рело вступает в противоречие с собственными своими утверждениями: он включает жидкости и газы в число тел, образующих кинематические пары, а ведь это понятие геометрическое. Таким образом, по его мнению, механика не привязана к геометрии. Для геометрии совершенно безразлично, каким образом выполнено то или иное коническое сечение. В геометрии и механике кривую рассматривают с разных точек зрения.

История науки также подтверждает это. Когда в начале XVII в., механика делала свои первые шаги, геометрия уже была

развитой наукой с длительной историей. Например, Э. Торричелли (1608–1647) исследовал циклоиду из геометрических соображений. Аналогично построение ортоциклоиды его друга В. Вивiani (1622–1703) при помощи вращения тела было для механиков малозначимым. Оба они выступали как геометры. Наоборот, несколько позже в трудах Якова Бернулли (1700–1782) мы видим, как при помощи циклоидального маятника он получил брахистохрону и таутохрону¹¹⁵, используя методы механики. Таким образом, эти два примера показывают, как геометры и механики, занимаясь одним и тем же предметом – циклоидой, проводят исследования разными методами.

Рело отмечает далее широкое распространение тех идей, которые он изложил в первом томе относительно теории принудительного движения, или кинематики. В технических школах Англии, Франции, Италии, Португалии и даже США новое уточнение было очень тепло принято. Машиностроители поняли, какое облегчение предлагает им *Кинематика*. Рело отмечает, что уже наименование книги показывает, что здесь имеет место применение предлагаемого учения к геометрии и механике.

В связи с этим первый раздел труда он назвал форономией, т.е. геометрией движения, этот раздел науки является совсем молодым.

В этом случае одним из важнейших вопросов, освещаемых здесь, служат циклоиды, известные еще древним, но математически изученные лишь в XVII в. Изучение их форм, наряду с известными коническими сечениями, дает новую геометрическую мощь, хотя серьезно заниматься ими начали только в самое последнее время. Изучение циклоид потребовало совершенствования соответствующей терминологии. Рело указывает, что еще в 1882 г. он предложил наименование «ортоциклоиды» для одного из исследуемых случаев. «В английской литературе применяются циклоиды, продленные и укороченные, с соответствующими определителями «эпи-», «гипо-» и т.п., обозначая этими терминами диаметрально противоположные случаи тем, которые мы употребляем в Германии, в соответствии с французской и итальянской наукой. Источник этого разногласия я также освещаю в тексте раздела», – пишет он.

Рело утверждает, что в 1890 г. в журнале немецких инженеров он изложил основание правильного построения этих терминов. Следует называть «удлиненные» – эпо-, гипо- и т.п. циклоиды.

¹¹⁵ Брахистохрона – кривая кратчайшего времени; таутохрона – равновременная (циклоида).

Таким образом, автор перерабатывает терминологию циклоид (§ 2) в соответствии со своими утверждениями. Рело отмечает также некоторые теоретические исследования циклоид, о которых речь будет в тексте.

Здесь исследуются плоские циклоиды, их построение и свойства. При этом Рело рассматривает эпи-, гипо-, пери-, ортоциклоиды, а также круговую эвольвенту. В первых трех случаях оба круга, неподвижный и подвижный имеют конечный диаметр, а в двух последних – подвижный круг имеет бесконечно большой диаметр, т.е. преобразуется в прямую. В этих примерах ярко выявляется сущность геометрии движения – она исследует подвижные объекты. Отклоняясь от старой планиметрии, геометрия покоя, которая изучает покоящиеся фигуры, исследование подвижных объектов составляет задачу отдельной науки, которая известна под названием форономии, или учение о законах движения. Кант выделил эту науку в отдельное изучение. Не надо забывать, что он рассуждает лишь о движении, а не о причинах его. Философски мыслящий Редтенбахер утверждает, что форономия является учением о «движении как явлении».

В примечании Рело подчеркивает, что первым применил наименование форономии Торричелли около 1642 г., но применил его не к геометрии движения, а к истечению воды из сосудов и из труб. Кант использовал это наименование для геометрии движения и пояснил это с философской точки зрения, он различал форономию, механику, динамику и феноменологию: последняя и трактовала о причинах движения. В настоящее время эти понятия относятся к несколько иным направлениям науки, чем это предлагал Кант.

Рело рассматривает далее виды циклоид и указывает на то, что в английской науке эти названия применяются иначе, чем в Германии. Рело приводит уравнения для построения циклоид.

Параграф § 3 посвящен теореме Бобилье, а § 4 и 5 содержат изложения теорем Гартмана и Савари. В § 6 дается определение центра кривизны, а в следующем – другая форма теоремы Савари. В § 8 проводится определение диаметра кривизны обычных циклоид. Исследованию циклоид посвящены также § 9, 10, 11. В параграфе § 12 дается метод построения ортоциклоиды и синусоиды. Затем Рело показывает, как можно смоделировать винтовую линию с помощью стальной проволоки.

§ 13 и 14 посвящены исследованию поворотных и кривых внешнего изгиба эпициклоид, а также аналогичным кривым, образующимся с помощью иных циклоид. При этом Рело довольно

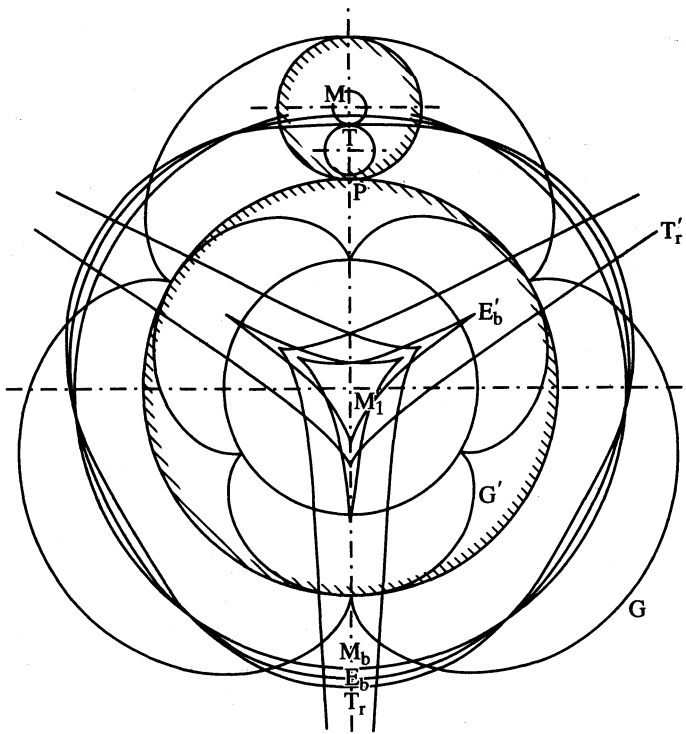


Рис. 47

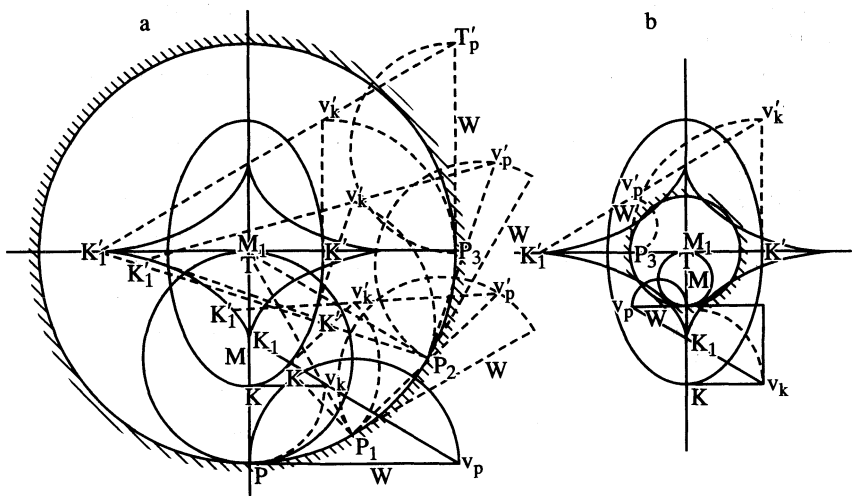


Рис. 48

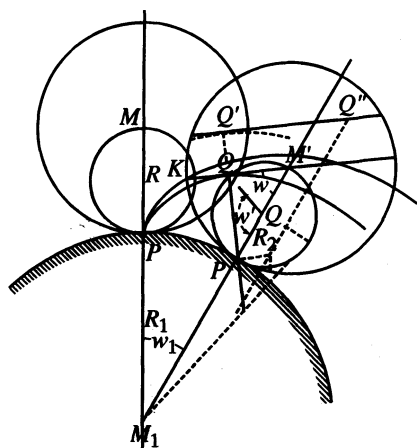


Рис. 49

подробно описывает способы построения изучаемых им кривых и соответствующие механические приспособления. Построение кривых изучается в геометрии с давних времен. Радиус кривизны некоторой кривой воспроизводится тонкой, нерастяжимой, но вполне гибкой нитью, которая накручивается на некоторый цилиндр, связанный с изучаемой фигурой или сматывается с него, подобно эволюте. Эта модель привела к выработке терминов: эволюта и эвольвента¹¹⁶, эволюция и инволюция.

Рело рассматривает некоторый общий случай взаимного качения прямого вала и кольца различной формы. Соответственно это способствует относительному качению прямой линии и кривой, кольцо может быть различной формы. Если кольцо изображается кругом, эллипсом, параболой, гиперболой, то при таком относительном движении получаются кривые – циклоида, эллиптоида, параболоида, гиперболоида. Рело отмечает, что в геометрической литературе нет полного согласия относительно наименования получаемых кривых. Так, в английской литературе циклоида именуется трохоидой. Рассматривая историю вопроса мы видим, что во времена Торричелли и Роберваля трохоидой называлась ортоциклоида. Роберваль называл циклоиду рулеттой. Рело указывает также, что и сам он принимал ранее для циклоиды наименование трохоиды.

Продолжая эту тему и развивая ее, Рело в следующем параграфе (§ 16) исследует построение кольцевых линий, соответствующих необычным циклоидам. В качестве примера он рассматривает построение кольцевых линий (рис. 47). Другой пример построения необычных циклоид изображен на рис. 48.

Далее, в § 17 рассматриваются кривые, которые происходят от качения кривых по кругу, производя, таким образом, «окутывание» круга или другой кривой, являющейся базой построения. Простейший случай рассматривается на рис. 49. Более сложные

¹¹⁶ Х. Гюйгенса в Маятниковых часах» (1673) вместо слова «эволюта» вводит термин «описанная при развертке» – «descripta ex evolutae».

случаи рассмотрены автором далее. Механические способы построения различных циклоид разобраны в § 18. Он приводит здесь ряд способов механического построения кривых преподавателем на доске и учащимися на своих рабочих местах с помощью преподавателя.

Завершив в этом параграфе построения плоских кривых, в следующем параграфе Рело рассматривает пространственные случаи построения сферических циклоид и циклоид на конусе. В § 20 он заменяет катающиеся окружности эллипсами и сообщает правила их черчения.

Рассмотрев в § 21 некоторые вопросы, связанные с терминологией получаемых кривых, Рело исследует некоторые особые случаи (§ 22) и их назначение. В частности, на рис. 50 показана винтовая пара, образованная при помощи кинических эпициклоид. В § 23 рассматривается построение циклоэллипсоид и эллиптоциклоид. Соответствующие построения изображены на рис. 51 и 52.

Параграф § 23 посвящен ряду методических вопросов, излагаемых также в историческом плане. Он анализирует старые и новые методы, применяемые при преподавании форонии в высшей школе. Среди изображенных в этом параграфе рис. 53 и 54, на которых круг мал по сравнению с эллипсом. Здесь принято,

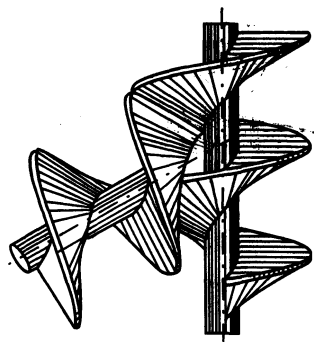


Рис. 50

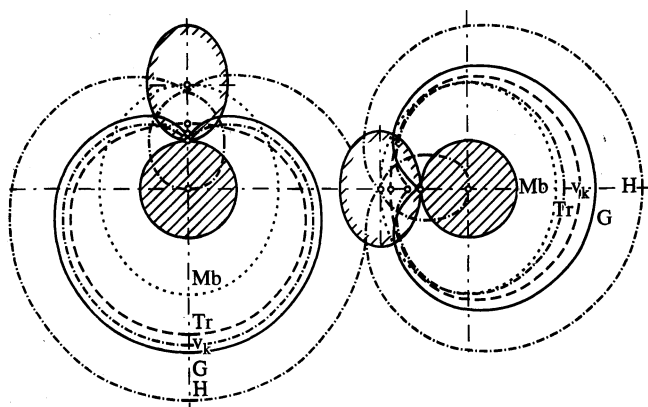


Рис. 51

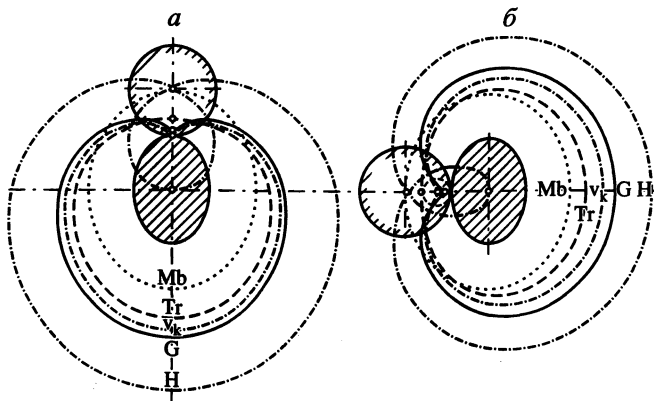


Рис. 52

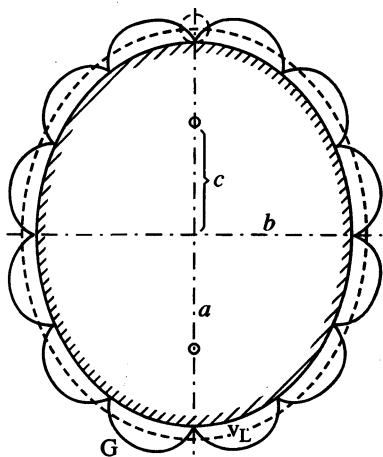


Рис. 53

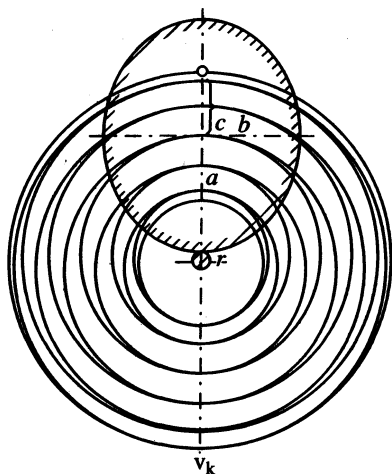


Рис. 54

что круг 12 раз входит в эллипс. Из получающихся эллиптоциклоид показаны только две формы, обычная и сокращенная, а из циклоид, — только одна, сокращенная, та, которая проходит через фокус эллипса. Сокращенная циклоида имеет здесь 12 пересечений и приближается к окружности до $(a-e)$, а удаляется от него на $(a+e)$.

Указанные кривые могут служить для приближенного представления того относительного движения, которое происходит между некоторым космическим центром и обегаящими вокруг него, планетой, спутником и кометой. Кривизна эклиптики будет при этом нулевой, а скорость на пути предполагается неизменной.

В таком случае, что мы имеем перед собой? Научный ответ на этот вопрос дали: Галилей, который перенес заключение, суд инквизиции, запрет на публикации и ссылку; столетием ранее Коперник, представив этот ответ, впрочем, как гипотезу; Кеплер, который блистательно ответил на него своими великими законами и заслужил тем самым вечную славу. Другими словами, наш фонономический анализ привел нас к одному из замечательнейших и величайших событий истории культуры, поэтому та тщательность, с которой проводилось исследование, была совершенно необходима.

«Относительно упомянутого вопроса следует отметить, что сегодня он не рассматривается с необходимой ясностью даже образованными людьми. Сегодня каждый бывший гимназист знает, что преследователи Галилея были неправы, или он думает, что знает это и проносит это знание до своей старости. Но кто был прав, Коперник, Кеплер, Галилей или их преследователи, включая маленького Зелота наших дней? Те ревнителю, которые о господстве природы и об ее законах не имеют никакого понятия, но продолжают все это отрицать? Наше исследование показывает нам следующее: обе стороны были правы, и обе неправы одновременно. Планета вращается вокруг солнца геометрически равнозначно с вращением солнца относительно планеты. Оба воззрения правы, они не противоречат одно другому, они являются лишь двумя сторонами познания, которое следует из наблюдений. Оба воззрения справедливы, а не так, что одно справедливое, а другое – мнимое. Эти последние обозначения, как бы ни были они освящены использованием, являются лишь именами, только словами, они не выражают того, что должны выразить. Выше установленная теорема фономии, которую мы признали неоспоримой, решает окончательно это дело. Итак, геометрическая задача, простое, логически выполненное положение полностью не поддерживает ни одну из спорящих сторон: это был геометрический вопрос относительно системы координат. Этот спор, принесший так много страданий, в сущности, не окончен и до настоящего времени. Однако именно фономия разрешает спор и притом с полной беспартийностью»¹¹⁷.

Следующий параграф (§ 24) называется «Старое и новое школьное восприятие». Изложенные доказательства, в сущности, содержат все необходимое для уяснения того факта, что всякое относительное движение является переменной места в простран-

¹¹⁷ Reuleaux F. Lehrbuch der Kinematik. Bd. II. S. 106–107.

стве и что соответственно различные рассмотрения одного и того же движения возможны и являются законными. Сомнительные утверждения являются для нас настолько важными, что следует утверждать Рело, еще основательнее обратиться к изложенным обоснованиям. Необходимо помнить, как учил один восточный мудрец: «...знают о том, что известно, что знают и о том, что неизвестно, и это — настоящая наука»¹¹⁸.

Рело убежден, что механик в особенности должен быть близко знаком с небесной механикой более чем кто-либо другой, ибо это обусловлено его положением как носителя культуры. Он должен исправлять все «неисправности», которые могут ему встретиться в его области, а для этого он должен пользоваться математическими науками, т.е. изучить математику, механику, физику и естественные науки, «причем все это — научно».

К концу первого раздела Рело посвящает достаточно места рассуждению о высшем образовании. По существу, речь идет только о технической школе.

Некоторые считают, что инженер-механик должен использовать эти науки лишь как вспомогательное средство и что их нужно изучать лишь настолько, чтобы иметь возможность работать в своей профессии. Они должны служить для него лишь как рабочий инструмент, а это означает, что они не должны, как мыслила старая школа, расширять его кругозор, улучшать его точку зрения, усиливать возможности его ума. Они считают, что математические курсы должны быть сокращены, очищены от науки, что нужно изучать лишь то, что совершенно необходимо. А для тех, которые думают идти дальше, можно, как уверяют, организовать особые училища для высших наук. Но при этом забывают, что при дальнейшем выполнении практических занятий и учитывая обязательные экзамены, эти училища не будут посещаться.

Путь, которым до настоящего времени шла немецкая техническая высшая школа, которая создала высокое и образцовое обучение, давала молодежи действительно научные знания и, в зависимости от рода их техники, сообщала ту научную глубину, которая давала возможность внедряться в новые направления. В этом случае полученные научные знания помогали в их «применении». Изменение направления образования оправдывают недостатком времени. Утверждают, что четырехлетний курс недостаточен для того, чтобы обеспечить научное образование, поэтому главным считают практическую подготовку, т.е. считают, что обучение должно быть направлено на «практику».

¹¹⁸ Vgl.d. S. 107.

Но если не хватает времени, то надо изменить что-то другое, не изменяя самого духа обучения. Изменять надо метод обучения. То, что излагалось ранее неделями в трудных лекциях, оказывается, можно изложить всего в нескольких лекциях и более понятным языком. В качестве примера можно привести геометрию циклоиды. Здесь с помощью математического метода на 60 страницах изложено то, что излагалось в целом томе.

Рело указывает, что с 1884 г. техническое образование основывается на трех ступенях, а именно: «Правило, Пример, Закон».

До последнего времени на высшей ступени, научного закона, стояло все образование машиностроителя. Теперь его снижают на вторую ступень, что соответствует практическому направлению образования. Рело указывает, что между университетским образованием и образованием в высшей технической школе существуют различия. Университетское – основано на «науках творения».

Рело утверждает также, что для полного и более легкого овладения специальностью необходимо излагать в курсах соответствующие материалы из истории техники.

В общем, эта тенденция, обучать только тем вещам, которые имеют отношение к практике, приводит к тому, что готовятся не мыслящие конструкторы, способные творить новое, а чертежники, которые могут копировать уже созданное ранее.

Для того чтобы подготовить машиностроителя-творца, надо, чтобы он хорошо знал математику, механику в качестве подготовки к изучению специальных курсов. В подтверждение своей мысли Рело приводит примеры из истории техники – истории создания динамомшины, истории получения жидкого воздуха.

В других странах в настоящее время (конец XIX – начало XX в.) переходят к научной подготовке. В частности, в США, где инженеров готовили только практическим образом, теперь переходят к научной подготовке, организуя кабинеты кинематики, вводя учебные курсы кинематики.

В Англии также признается значение введения высшего математического анализа для исследования задач механики, теории электричества. Таким образом, введение теоретических знаний для подготовки инженеров совершенно обязательно.

Особенное внимание начали обращать, пишет он, на практику и прикладные применения, а теоретические исследования остаются «за бортом». Многим это нравится, но в сущности такое положение неправильно. Это сводит высшее образование к уровню среднего технического образования, которое хорошо справляется со своей задачей – подготовить грамотных техников, хорошо зна-

комых с практикой. Задача же высшей технической школы иная, и выполнение ее невозможно без глубокого изучения теоретических дисциплин. «Я совершенно уверен, — пишет Рело, — что после некоторого времени опять возвратятся к начальной (теоретической) подготовке. Подобное наблюдается и в других направлениях высшего образования»¹¹⁹.

Рело ссылается на замечательного хирурга Биллрота, который писал по этому поводу: «... в этом видите вы причину того, что мне очень близки анатомические работы и все ценнее и ценнее». Это потому, что они постоянно дают ему материал для микроскопических исследований.

Рело подчеркивает, что практика не должна убежать от теории. «То, что научное исследование лежит в основе архитектуры, строительного искусства, сооружения кораблей, показал еще Пифагор. При этом практика должна составлять также часть высшего образования. Это хорошо поняли в Америке, где высшие технические школы обладают хорошими мастерскими. А у нас тенденция направлена против учебных предприятий. Считают, что практика должна проводиться исключительно вне школы. При этом там распространена сеть средних технических учебных заведений, которые готовят мастеров, техников для производства. У нас же стараются везде поставить научно подготовленного инженера, на такую работу, которая именно этого не требует»¹²⁰.

Параграф § 26 Рело посвящает исследованию движения планет. Наблюдения за движением планет и привели к разработке учения об эпициклоидах.

На рис. 55 показано наблюдение за путем Венеры в 1847 г. и показано получение соответствующих «эпикривых»: «укороченные эпикривые описывают в своем движении Луна и Солнце».

На рис. 56 показано расположение зодиаков.

Рело увязывает наблюдения на Луне с геометрическим учением об эпициклоидах и ссылается на одну свою статью, опубликованную в октябре–ноябре 1897 г. «Об аллегорических картинах и их культурно-историческом значении». Рело излагает достаточно подробно сведения из космографии, увязывая их с построением соответствующих кривых. Этот параграф является примером практического применения разработанной теории эпициклоид к космографии.

На последних страницах параграфа Рело показывает, как были связаны между собой механика и геометрия с астрономией

¹¹⁹ *Reuleaux F. Lehrbuch der Kinematik. Bd. II. S. XIII–XIV.*

¹²⁰ *Vgl. d. S. XIV–XV.*

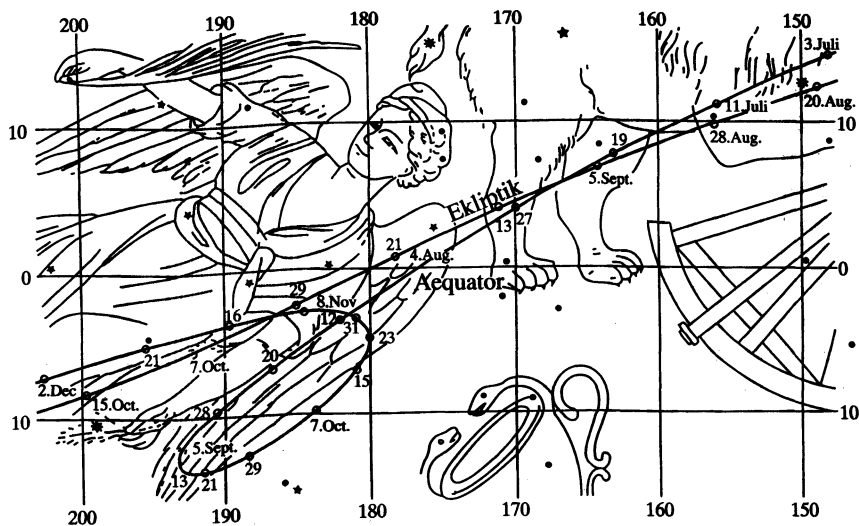


Рис. 55

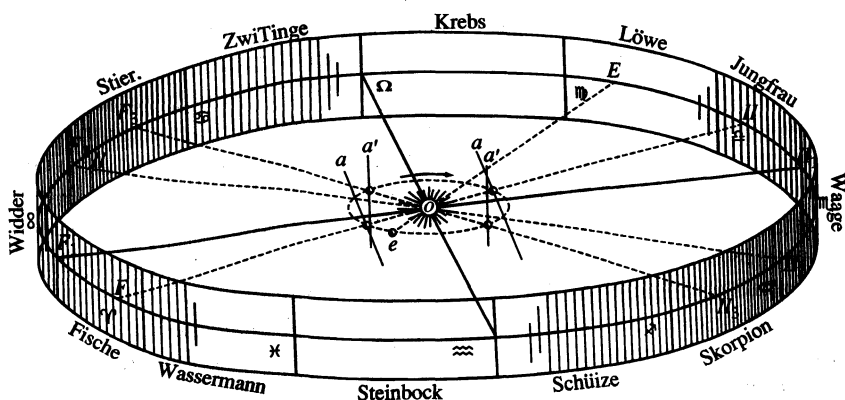


Рис. 56

и как исторически происходило развитие механики. Без Кеплера, утверждает он, не существовало бы Ньютона.

Следующий параграф (§ 27) посвящен рассмотрению движений небесных тел. Здесь он излагает форономическое исследование движения планет. Анализ всех этих движений показывает, что все движения являются относительными и нельзя говорить о «чистом» движении, ибо движение осуществляется в пространственной области, которая зависит от другой пространственной области и каждое движение есть движение в некоторой простран-

ственной области. Таким образом, сущность всех форономических исследований приводит к пониманию относительного движения.

Заключая параграф, Рело обращает внимание на взаимосвязь форономии и механики. С этой точки зрения он излагает развитие механики. Он подчеркивает также различие идей геометрии движения и механики.

Раздел второй. В то время как в первом разделе обсуждается, как геометрически выполняется относительное движение путем кривых и аксоидов друг по другу, во втором разделе рассматривается другой вопрос, какое относительное движение выполняется. Форономия показывает, например, какие пути описывают все лучи двух кругов, катящихся друг по другу, но как это качество выполнить, этого она не говорит. Этим вопросом занимается учение о принужденном движении, или кинематика. В обеих науках, в форономии и кинематике, появляются круги, катающиеся друг по другу, но совершенно по-разному. Качение кругов может быть осуществлено с помощью зубчатого зацепления или другими путями. Тут подчеркивается различие средств в форономии и в кинематике. То, что должна быть наука о движении, заметили еще Монж и Ашетт, теоретически обосновал Ампер, но это было изложено лишь на примерах: настоящей науки о движении создано еще не было. Как уже было сказано выше, наименование «Кинематика» было предложено Ампером в своем ценном труде, который, по мнению Рело, сейчас уже забывают – «Опыт философии наук», изданном в 1834 г., взяв за основу греческое слово «κίνησις» – привожу или принуждаю к движению.

Он пишет, что занимался законами, которые действуют при движении машин и их частей с 1862 г. В 1864 г. Рело прочитал по этим вопросам доклад в швейцарском собрании исследователей природы, а в 1872–1874 гг. привел в порядок в своей монографии «Теоретическая кинематика», которая является первым томом настоящей работы. За теоретической кинематикой следует необходимая для машинной техники прикладная кинематика. Она уже издавна является предметом преподавания в технических школах, но не в том виде, который придал ей Рело. Впервые он представил свой вариант теории прикладной механики в четвертом издании своего труда «Конструктор».

В 1852 г. он ввел немецкий вариант этого определения – *Getriebelehre*, что означает учение о приводе.

По предложению Рело к определению было добавлено слово «принужденного» движения, поэтому кинематику можно опреде-

лять также, как учение о принужденном движении. Рело указывает затем, что, по его мнению, Ампер был неправильно понят. Считают, что Ампер под наименованием «Кинематика» понимал геометрическое учение о движении, в применении к машинам, что он якобы разработал для кинематики прочное математическое обоснование, чего не было, и что он указал на тесную увязку учения о механизмах с геометрическим учением о движении. Все это, говорит Рело, неверно и является фантазией, которую следует устранить».

Как известно, Ампер поставил перед собой цель разработать классификацию всех наук. Кинематика у него появляется в разделе науки 3-го порядка, которые относятся к общему изучению движений и соответствующих сил.

Очевидно, что кинематика является учением, которое включает в себя все типы движений, независимо от сил их производящих. Следовательно, движения рассматриваются с учетом пространства и времени, а также всех тех приспособлений, которые его используют, т.е. механизмов и машин. Машину следует определить как приспособление, при помощи которого заданное движение может быть изменено по направлению и скорости. Здесь определение дается вне зависимости от сил, производящих движение, ибо такой учет только отвлечет внимание от ясного понимания действия механизмов и машины.

Таким образом, пишет Рело, он принимает название кинематики для той науки, в которой движения исследуются сами по себе, так как они появляются в машинах. Установив, что такое движение и скорость, кинематика должна заниматься соотношениями, которые существуют между скоростями отдельных точек машины и, вообще, общностью материальных движущихся точек, которые заставляют двигаться машину или указанную общность точек. Такое исследование значительно легче производить, если отвлекаться от действующих сил.

Рело подчеркивает, что Ампер только указывает место кинематики в своей классификации наук, отнеся ее наравне со статикой к понятию элементарной механики. Под понятием трансцендентной механики он понимает два раздела – динамику и молекулярную механику. Ни одного слова о математике Ампер не пишет.

Кинематике, как части механики, посвящен § 30 монографии Рело. Здесь он продолжает анализ этого определения, данный Ампером. В понятии виртуальных скоростей, как считает Рело, Ампер входит в противоречие со своим определением. Ведь

Ампер устраняется от действия сил в машинах, но вводя виртуальные скорости, он предполагает направления сил.

Рело указывает, что в первом томе своей работы, он рассмотрел этот вопрос и вместо того, чтобы теоретически устранить силы, как желает Ампер, он касается этого понятия, но предполагает, что детали являются сопротивляющимися.

Принуждение определяется движениями в машинах; сущность принуждения состоит в том, что тела соприкасаются между собой. Причем при таком соприкосновении допускается только одно движение, а все прочие исключаются, что обеспечивается сопротивлением частей машины.

Предмет науки Рело определяет следующим образом: «Кинематика, или учение о принужденном движении, является... той частью механики, которая учит, как устроена машина или как ее следует устроить, чтобы движения, возникающие в ней под действием внешних сил, были определены относительно всех своих путей»¹²¹.

В § 31 излагается развитие и умножение того материала, который уже был освещен в первом томе.

Рело указывает, что идею машины человек не мог получить от природы, так как природные «машины» и «механизмы» устроены совершенно иначе. Как известно, в XVII–XVIII вв. выдвигалось мнение, что животные и даже человек являются машинами, однако это было тогда, когда машины уже существовали. Машина возникает тогда, когда человек понял, что движение можно передать, когда два тела будут соприкасаться между собой. Для улучшения передачи движений и сил, сопряженных с передачей движения, соприкасающиеся тела принимали геометрически правильную форму¹²². Машина и состоит, с кинематической точки зрения, из пар элементов, которые Рело назвал «кинематическими элементарными парами». С точки зрения физики, кинематические элементы могут быть полностью твердыми, сопротивляющимися на растяжение и сопротивляющимися на сжатие. Твердые элементы в состоянии противодействовать растяжению, сжатию, изгибу, вращению. Элементы, сопротивляющиеся растяжению, — это нить, лента, цепь: они сопротивляются только растяжению.

¹²¹ *Reuleaux F. Lehrbuch der Kinematik. Bd. II. S. 152.*

¹²² Очевидно, что происхождение пар связано с усложнением так называемых «простых машин», так как они являются наиболее древними приспособлениями для передачи силы и для передачи движения и его направления. Их усложнение и вызвало в первом тысячелетии до н.э. появление первых машин-мельниц и военных машин (*Авт.*).

Элементы, сопротивляющиеся только сжатию, — это жидкости, газы, сыпучие вещества.

Здесь он указывает, что для сокращения он вводит для обозначения элементов, работающих на растяжение, термин «тракк», а для элементов, работающих на сжатие, — термин «флюид».

Как уже было показано в первом томе, они сочетаются только попарно, и для всех возможных движений машины существуют только шесть видов элементарных пар. Обозначая эти элементы соответственно цифрами 1, 2, 3, получим следующие возможные соединения элементов в кинематические пары:

1 с 1	1 с 2	1 с 3
2 с 2	2 с 3	
3 с 3		

где 1 — твердые звенья, 2 — гибкие звенья, 3 — жидкие и подобные им звенья.

«Из этих шести видов элементарных пар и состоят все машины»¹²³. Рело считает, что исполнительный орган машины также вступает в кинематическую пару с обрабатываемым и переносимым объектом. Затем приводятся примеры элементарных пар всех видов:

- 1 с 2 — барабан с обегаящим его канатом,
- 2 с 2 — свивание вместе двух нитей,
- 2 с 3 — порода на ленте транспортера,
- 3 с 3 — пар и вода в инжекторе.

Рело указывает при этом, что кинематика является наукой, изучающей все множество машин без какого-либо исключения.

Так как чисто теоретические рассуждения могут быть не совсем понятны, что указывает Рело, он выяснил из опыта своей работы, то для выяснения всех тонкостей приводятся примеры. Этот метод применяется во всем втором разделе книги. Так, в § 32 исследуется силовое замыкание в кинематических парах. Задачей элементарной пары является исключение всех относительных движений тел, составляющих пару, за исключением одного. Но в некоторых случаях для этого приходится применять внешние силы — это Рело и назвал «силовым замыканием». На рис. 57 представлен пример такого силового замыкания для кинематической пары.

На рис. 58 и 59 показано силовое замыкание пар в конструкции подвижного мостика платформы на Паддингтоновском

¹²³ Reuleaux F. Lehrbuch der Kinematik. Bd. II. S. 155.

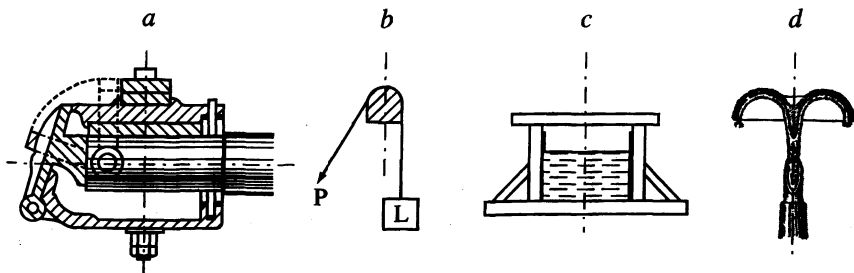


Рис. 57

Схема вокзала в Паддингтоне

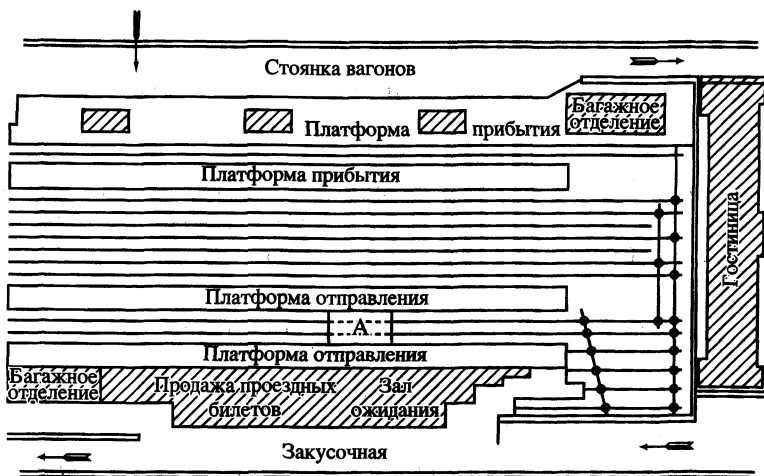


Рис. 58



Рис. 59

вокзале в Лондоне. Во включенном состоянии этот мостик дает возможность пассажирам выходить к трем поездам.

Следующий параграф посвящен кинематическим цепям. При последовательном соединении ряда элементов парами образуется кинематическая цепь. Она бывает разомкнутая и замкнутая, в том случае, если крайние ее элементы соединены между собой кинематической парой. Примеры показаны на рис. 60.

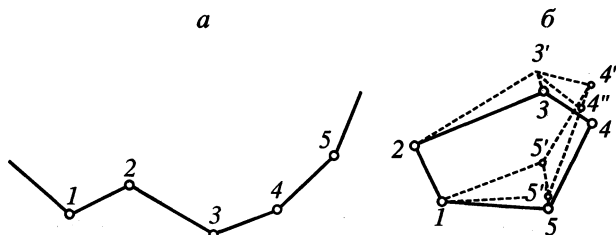


Рис. 60

Цепь может быть незамкнутой, замкнутой без принуждения, замкнутой принужденного движения и полностью замкнутой. В последнем случае она становится фермой. С элементарными парами может происходить то же самое, как и с полностью замкнутыми цепями, они тоже могут потерять свое относительное движение.

Параграф § 34 посвящен механизмам. Замкнутая кинематическая цепь принужденного движения, у которой одно звено закреплено, называется механизмом или приводом. Рело применяет для понятия механизма еще два немецких слова, соответствующих еще понятию привода – Getriebe и Trieb (S. 169). В качестве примера он приводит механизм, образованный шарнирным четырехзвенником (рис. 61), который образует четыре варианта механизма в зависимости от закрепленного звена. Если ведущее

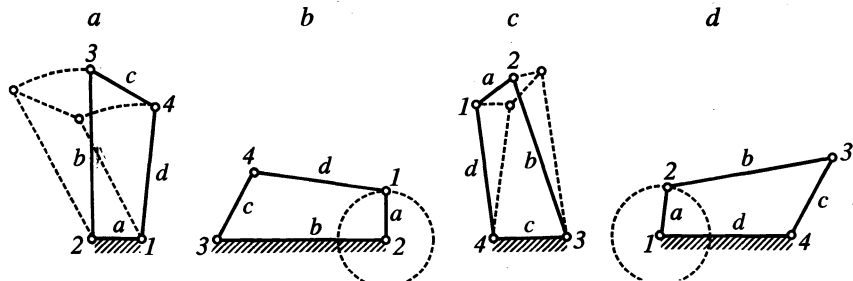


Рис. 61

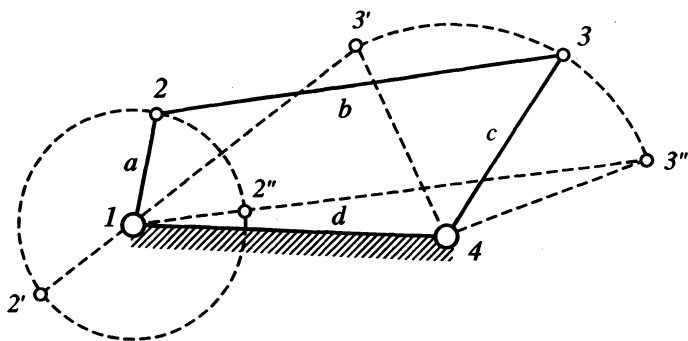


Рис. 62

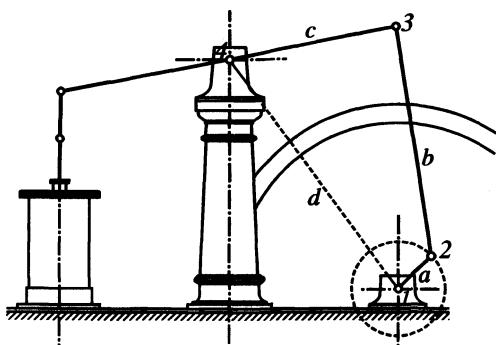


Рис. 63

звено может делать полный оборот, то такой механизм называется кривошипным (рис. 62). Рело разбирает далее все четыре варианта четырехзвенного механизма. На рис. 63 показано применение одного из этих механизмов к паровой машине.

Так как все четыре шарнира являются центрами вращения, то при исследовании движения в механизмах шарнирного четырехзвенника, в соответствии с правилом Эйлера,

для нахождения центра вращения ведущего звена относительно основания и наоборот, находим точку пересечения двух боковых звеньев, считая звено основания, закрепленным. Полученный таким образом центр, является полюсом, в котором соприкасаются окружности, которые катятся друг по другу (в соответствии с правилом, изложенным в первом томе).

Далее Рело разбирает случай, относительно которого существует много недопонимания. Дело касается увеличения диаметра шарнира и получаемого при этом относительного движения механизма (рис. 64 и 65). При переносе центра вращения такого шарнира на бесконечность, получается поступательное относительное движение (рис. 66, 67). Наконец, заменяя звенья, вращающиеся около центров и связанные с основанием, вращением окружностей, а шатун заменяя гибким звеном, получаем механизм гибкой передачи

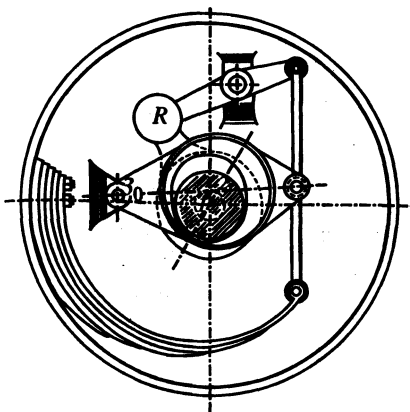


Рис. 64

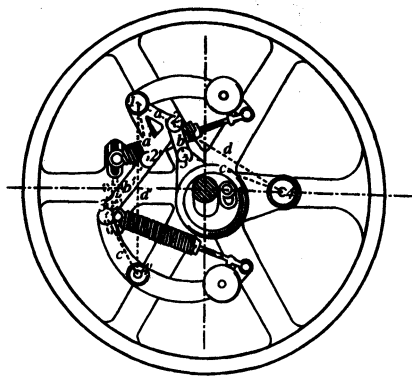


Рис. 65

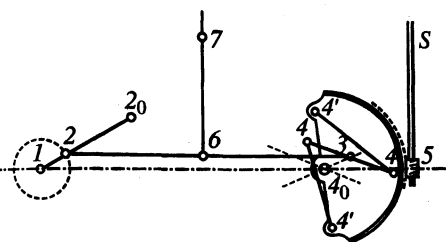


Рис. 66

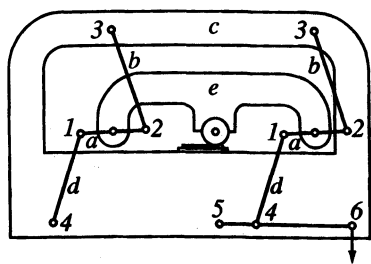


Рис. 67

(рис. 68). Далее Рело показывает, как можно получить дальнейшие преобразования шарнирного четырехзвенника.

Следующий § 35 посвящен определению понятия механизма. После того как в предыдущем параграфе было рассмотрено построение ряда механизмов и обращено внимание на их кинематические свойства, следует опять обратиться к определению этого понятия.

«Механизмом, — пишет Рело, — называется механическое приспособление из трех или большего числа частей, обладающих взаимной подвижностью и устроенных так, что при закреплении одной из них пути и скорости всех других имеют определенные значения»¹²⁴.

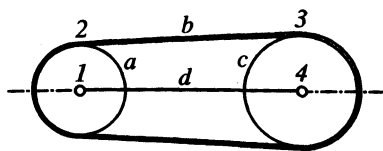


Рис. 68

¹²⁴ Reuleaux F. Lehrbuch der Kinematik. Bd. II. S.187.



Рис. 69

Рело приводит ряд примеров, поясняющих это определение, но следует отметить, что он относит к механизмам также такие приспособления, как циркуль или рамка с подвижными деталями, которые можно назвать механическими устройствами, но никак не механизмами.

В § 36 Рело останавливается на истории некоторых механических приспособлений. В этом отношении он обращает внимание на явление «изменения места» и «изменения формы». В первом случае зачастую дело идет о таких грузах, которые человек перенести не сможет и должен пользоваться некоторыми приспособлениями. Так, для того чтобы перенести тяжелый блок, его тяжесть может быть распределена на четырех человек. Соответствующее приспособление показано на рис. 69. В Индии случается, что надо перенести из карьера на место сооружения тяжелый каменный блок, для этого берут от 32 до 64 носильщиков, движением которых управляет музыкант игрой на флейте, отбивающий такт.

Для перевозки орудийного ствола весом в 60 т он укладывается на шесть дрезин, т.е. груз распределяется на 24 колеса. Тип укладки показан на рис. 70. Подобное приспособление применяется при перевозке тяжелых грузов (речь идет о конце XIX века).

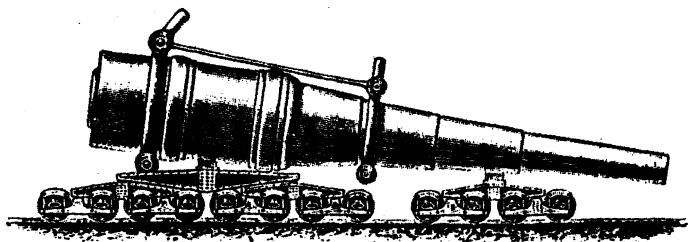


Рис. 70

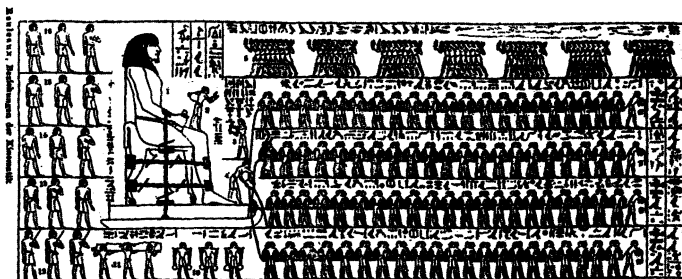


Рис. 71

Несколько сложнее обстоит дело, когда груз надо тащить волоком. На рис. 71 показан египетский рисунок распределения рабочего усилия при перетягивании обелиска из гериополиса. Это было около 2300 г до н.э., и обелиск надо было передвинуть на 200 миль. Так перетягивался храм из Элефантина в Бубо; движение продолжалось три года, и для этого задействовано было около 2000 человек, которые тянули за распределенную систему канатов. Египтяне хорошо умели перетягивать тяжелые грузы и имели для этого систему полиспастов.

Рело обращает также внимание на то, что миф о том, что Архимед изобрел рычаг, является сказкой. Рычагом пользовались египтяне задолго до Архимеда, и рычаг был, вероятно, одним из первых изобретений человечества.

На рис. 72 изображено транспортирование статуи большого веса, здесь можно заметить и действие рычага. Как видим, в древности использовались такие приспособления, как канаты, ролики,

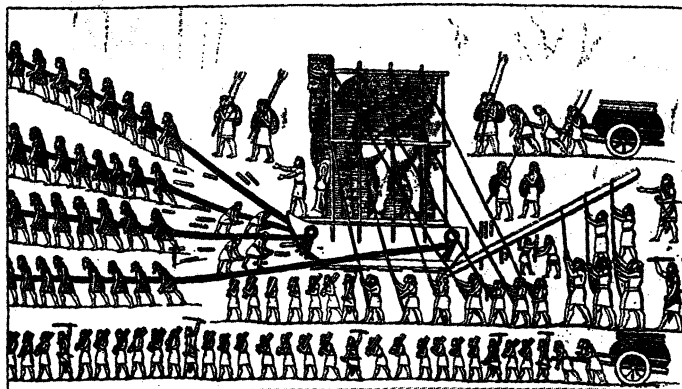


Рис. 72

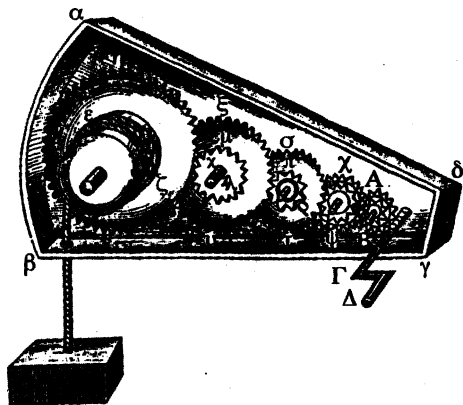


Рис. 73

страниц параграфа. Рело подчеркивает, что Архимед был величайшим инженером и один в течение трех лет обеспечивал оборону Сиракуз против римлян. Тут же он рассуждает о мифе по поводу смерти Архимеда, уточняя, что он чертил не на земле, как говорит легенда, а у себя дома, на абаке — столе, на котором насыпан песок. Папп Александрийский указывает, что Архимед изобрел барилкон, механизм для подъема грузов, состоящий из нескольких последовательных зубчатых передач (рис. 73). Второй его вариант, — червячная передача, которая также приписывается Архимеду (рис. 74).

Техника передвижения грузов не изменялась очень долго. Рело приводит анализ передвижения обелиска, который был снят в Луксоре в 1831 г. и установлен в Париже в 1836 г., при его установке был применен механизм с силовым замыканием (рис. 75).

Рело указывает, что в этом очерке истории механизмов он касается только тех, которые служат к изменению пути, те же, которые служат к изменению формы, он разберет в другом месте.

В § 37 обсуждается машина, причем приводится ряд примеров.

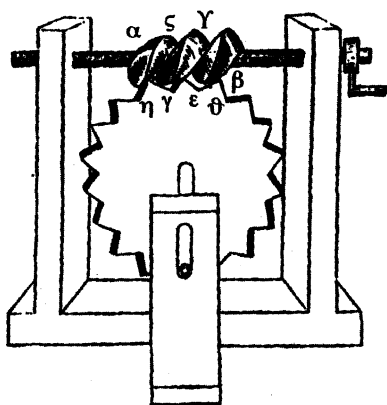


Рис. 74

рычаги, элементы, которые, как указывает Рело, позже были использованы в машинах. Уже здесь заметно соприкосновение тел, которое привело к кинематической паре. Конечно, здесь еще нет машины, и отсутствуют механизмы. Говоря о том, что создал Архимед для механики, Рело ссылается на Маха, источником для которого была «Архитектура» Витрувия. Архимеду он посвящает несколько

Рело указывает что, вопрос о машине был разобран в первом томе, но поскольку под этим названием разные авторы понимают различные приспособления, он считает нужным более подробно осветить понятие машины. Рело рассматривает историю этого понятия с древних времен. По-видимому, сначала машинами называли приспособления для подъема и передвижения грузов. Затем начали применять это наименование для приспособлений для подъема воды и для мельниц, хотя последнее слово не совсем ясно. Так, в Англии мельницами называют заводы, которые не имеют ничего общего с помолом муки. С тех пор, как с середины XVIII века, количество машин и их применение резко возросло, машиной иногда называют такие приспособления, которые отнюдь машинами не являются. Например, в северной Германии машиной называют кухонный очаг. Для пояснения понятия, Рело указывает на паровую машину, которую он относит к группе силовых машин вместе с мельницей. Паровая машина, говорит он, состоит из ряда связанных между собой механизмов. Я показал, в частности, пишет Рело, что машина Уатта состояла из 14 механизмов. Рело сравнивает затем

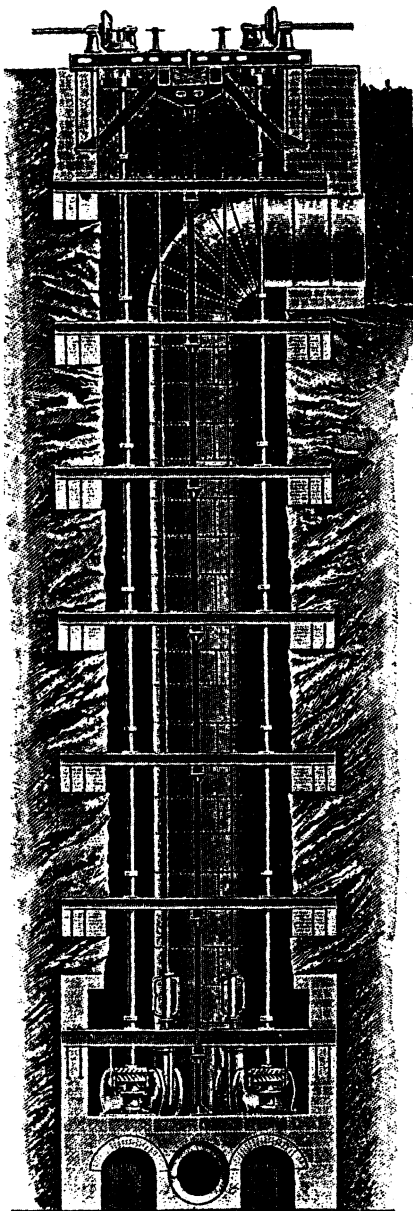


Рис. 75

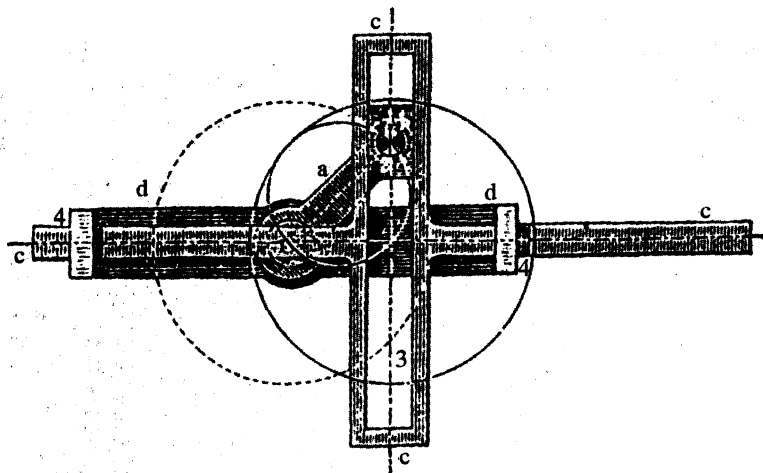


Рис. 76

паровую машину с водяным колесом и турбиной. На рис. 76 показана турбинная установка на бумагоделательной фабрике. Подобный принцип применяется также в паровых турбинах Лавалья и Парсона. Рис. 77 приведены наиболее применимые формы (для конца XIX века). Все эти силовые машины состоят из систем связанных между собой механизмов. Следует отметить, пишет Рело, что в рабочих машинах природное работающее вещество (вода, газ, пар) действует как тело, сопротивляющееся только сжатию. Далее Рело рассматривает машины-двигатели, рабочие машины и краны с точки зрения их состава из механизмов. Он анализирует также те машины, где приводящей силой является труд человека или животных.

Рассматривая рабочие процессы технологических машин, Рело указывает, что зачастую часть процесса выполняется чело-

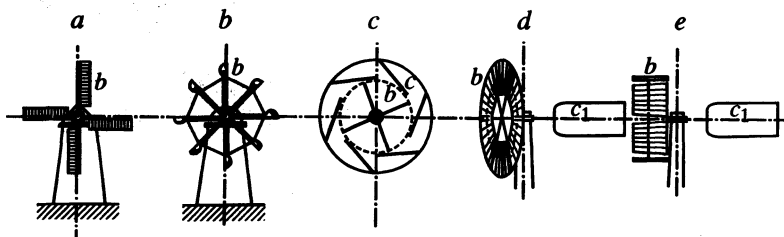


Рис. 77

веком, тогда как в грузоподъемных машинах, человек может выступать лишь в качестве физической силы.

В § 38 разбирается само понятие «машина». Из изложенного выше вытекает, что в машинах движение всегда является ограниченным таким образом, что движущиеся точки описывают определенные пути: прямые, круги, кривые, так что в течение работы они находятся в состоянии движения. Это – один из признаков машины. Машина состоит из механизмов, через них осуществляется принужденное движение. Скорости движущихся точек в машинах-двигателях держатся при помощи регуляторов в определенных пределах. В большинстве рабочих машин необходимые соотношения скоростей обеспечиваются конструкцией механизмов. Поэтому скорости и их соотношения в определении машины не входят. Следующее, что необходимо для машины, это – передача и использование движения; для этого служит действие и мощность силы. Подобная мощность в паровой машине зависит от парового котла, в водяном колесе – от потока воды и т.д. Таким образом, в машине силы, получаемые из природы, перерабатываются в механические. При этом все детали должны выдерживать эти силовые нагрузки.

Третье, что характеризует машину – выполняемая ею технологическая операция по переработке материала.

Четвертое, очень существенное свойство машины, – это возможность ее остановки при прекращении подачи силы. При этом ход машины замедляется и она останавливается. Структура машины при этом не меняется.

Напомним, что в первом томе эти четыре характерных особенности машины сведены были в следующее определение:

машина является соединением сопротивляющихся тел, которые устроены так, что при их помощи механические природные силы понуждаются действовать при определенных движениях.

Рело указывает, что по этому вопросу он выдержал столько упреков, что вынужден был вновь взяться за выяснение этого понятия. Прежде чем перейти к определению машины, Рело возвращается к той дискуссии, которая проходила в конце 70-х годов. Разобрав свой спор с Бекем, он рассматривает далее понятие аппарата, приспособления, инструмента, уточняет содержание этих понятий и несколько видоизменяет свое первоначальное определение. Он формулирует его таким образом: *«Машина является соединением сопротивляющихся тел, которые устроены так, что*

*с их помощью механические силы природы побуждаются выполнять при определенных движениях определенные действия»*¹²⁵.

Что касается связи сопротивляющихся тел в машине, то она осуществляется с помощью связи кинематических пар в кинематические цепи, замыкания этих кинематических цепей и образования из них механизмов.

Далее Рело рассматривает те утверждения, которые приводит в своей работе Хагрит (с. 247–249).

Важные новые материалы изложены в § 39. Они относятся к двум видам анализа машины. В дополнение к изложенному в первом томе анализу элементов здесь излагается «структурный анализ», который заполняет существенный недостаток в исследовании машины. Сюда относятся «сверхзамкнутые» кинематические пары и цепи, которые являются жесткими составными частями машины. Большое количество жестких соединений, таких как заклепки, винты с гайками, клинья – все это входит в группу замкнутых кинематических пар и цепей. Это понятие входит в круг интересов инженера-строителя, где разные конструкции и фермы можно рассматривать как кинематические цепи с излишним замыканием.

Разложение машины на механизмы, кинематические цепи и пары, т.е. то, что мы сейчас называем структурным анализом, Рело называл элементарным анализом (Elementaranalyse).

Кроме того, по его мнению, машину следует рассматривать еще с двух точек зрения: с точки зрения ее построения из физических тел (Bauanalyse) и с точки зрения применения составляющих ее механизмов (Getriebeanalyse)¹²⁶.

«Анализ построения показывает, как члены кинематической цепи сами в свою очередь составляются из кинематических групп с помощью так называемого излишнего замыкания цепи. Сам по себе анализ построения является основной частью учения о конструировании, или о построении машин, а также во многих случаях и инженерно-строительного дела. Кинематический анализ построения все в большей и большей степени включается в число предметов, необходимых для инженера-строителя. Следует еще раз подчеркнуть, что в результате такого анализа уясняется роль поршня и подвесок, которые до сих пор не имели определенного места среди деталей машин. Их помещали в самые различные разделы. Наш анализ показал, что они являются элементами, связывающими твердые и нетвердые звенья; поршни связывают элементы, сопротивляющиеся сжатию, с жесткими элементами;

¹²⁵ Reuleaux F. Lehrbuch der Kinematik. Bd. II. S. 247.

¹²⁶ Vgl. d. S. 250–254.

подвески, крюки связывают жесткие звенья со звеньями, сопротивляющимися сжатию»¹²⁷.

Третим типом анализа, чрезвычайно важным для понимания машин, является разложение на приводы или анализ приводов. Рело считал, что понятие привода (Getriebe) тождественно понятию механизма и, исходя из этого, предложил принятое теперь в немецком языке наименование науки о механизмах — Getriebelehre.

Анализ привода учитывает как элементы уже целые механизмы или приводы, как части целого и подбирает их в соответствии с необходимостью принужденного движения. Анализ привода, по мнению Рело, составляет сущность прикладной кинематики, и он дает возможность распределить механизмы по четырем группам с точки зрения их применения в машинах.

В § 39 показывается, что существует весьма ясно отличимые цели принужденного движения. Все механизмы, входящие в машину, можно отнести к одному из четырех типов:

ведение (Leitung) (или направление),
замыкание (Haltung) (или стопорение),
привод (Treibung) (или понуждение) и
формообразование (Gestaltung).

Одинаковые по структуре механизмы могут быть использованы в машинах разного назначения. Об этом Рело уже упоминал в своем «Конструкторе». На этом заканчивается исследование механизма и привода.

Параграф § 40 посвящен структурному анализу.

Рело указывает, что поскольку первый тип анализа уже рассмотрен им в предыдущих параграфах и в первом томе, ему остается рассмотреть второй и третий типы анализа. Структурный анализ посвящен именно тем звеньям, которые соединяются кинематическими парами в кинематические цепи. Здесь Рело применяет разработанный им язык условных обозначений деталей и связей. Рассмотрев некоторые примеры такого анализа, он приходит к выводу, что при сборке составляющих частей членов кинематических цепей машины необходимо соблюдать условие, чтобы не было излишнего замыкания кинематических пар или кинематических цепей.

Рело приводит далее примеры, поясняющие приведенное правило. Он рассматривает при этом вращательную пару и некоторые фермы, показывая, как следует избежать излишнего замыкания.

¹²⁷ Vgl.d. S. 715–716.

Затем он рассматривает излишнее замыкание на примерах различных пар и цепей, включая детали, работающие на растяжение (например, цепи), а также работающие только на сжатие. Все это естественно относится к точному соблюдению конструктивной структуры механизмов.

Рело говорит, что даже в кратком описании структурного анализа он показывает, какое значение имеет использование понятий кинематических пар и кинематических цепей в структурном анализе машины. Соответствующие условия необходимо соблюдать, проектируя детали машин, из которых затем и собираются кинематические цепи.

Параграф 41 посвящен ведению с помощью твердых элементов. Очень многие механизмы, входящие в машину, предназначаются для ведения точек, поверхностей или тел. Иногда ведение связано с замыканием (торможением) и формообразованием. Для того чтобы сделать обзор того, что ведется и каким образом это ведение осуществляется, Рело приводит следующую классификацию:

- а) ведение кривой в воздухе,
- б) черчение кривых,
- в) параллельное ведение,
- г) прямолинейное,
- д) ведение в общих положениях.

§ 42 посвящен ведению кривых в воздухе. При помощи пар можно для различных целей провести прямую, круг и винтовую линию, но в некоторых случаях движение по окружности не может быть осуществлено из-за того, что центр недостижим.

Так, в частности, бывает на железных дорогах, где путь должен быть построен так, чтобы поезд легко вписывался в кривую. Известно, что это возможно при длинных вагонах с поворачивающимися колесными тележками. Но также следует сделать и с короткими вагонами на трех тележках. Это случается, в частности, с трамвайными путями. Рело приводит примеры исполнения некоторыми фирмами соответствующих колесных тележек. Аналогичное положение у механизма на рис. 76. Здесь при переходе от прямого направления к направлению по кривой должен быть осуществлен зажим, а в кривой три оси имеют радиальное направление, ибо они расположены поперек относительно сторон правильного четырехугольника. Рело приводит ряд примеров выполнения задачи «ведения в воздухе линии».

В следующем параграфе Рело описывает инструменты и приспособления, применяемые для черчения кривых, начиная с обычного циркуля.

Параграф 44 посвящен прямилам. Механизмы для выполнения прямой линии являются частным случаем проведения кривых линий. Рело приводит довольно много вариантов решения этой задачи.

Параграф 45 называется: «Параллельное ведение». Механизмов для параллельного ведения значительно меньше, чем прямил, но они имеют весьма важные применения. Механизм для параллельного ведения, указывает Рело, это механизм, который ведет плоскую фигуру так, что все положения оказываются параллельными к первоначальному положению. Он приводит далее такое утверждение: «Все точки, которые жестко связаны с ведомым параллельно пространственным образом, описывают при своем движении равные и параллельно расположенные пути. При параллельном ведении полюсные линии или аксоиды лежат параллельно ведомых объектов на бесконечном удалении, но при этом могут соответствовать любому произвольному виду движения»¹²⁸.

Надо иметь в виду, что параллельные ведения не сразу производят полностью определенные движения, они их только ограничивают. Для того чтобы они стали определенными, необходимо еще одно ведение параллельно переносимых образов. Это получается, если ведом только один-единственный пункт объекта или параллельный перенос доставляет определенные и равные движения параллельно переносимого образа в том случае, если его одна-единственная точка принужденно переносится.

Механизмы для параллельного ведения обладают следующими замечательными свойствами: а) параллельное положение находится внутри всего габарита механизма или б) только при бесконечно-малых перемещениях движения получают точное, а при конечных движениях линии получают приближенными.

В параграфе 46 исследуются механизмы, применяемые для точного параллельного переноса. В простейшем случае, это механизм шарнирного параллелограмма (рис. 78). Такие механизмы применялись в локомотивах. В Англии и США применялся подобный механизм параллельного переноса в артиллерии. Механизм

¹²⁸ Reuleaux F. Lehrbuch der Kinematik. Bd. II. S. 307.

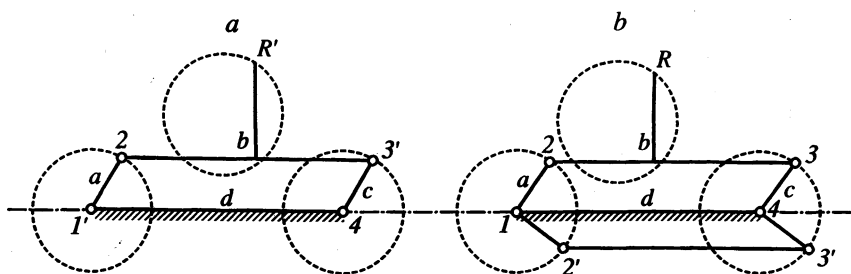


Рис. 78

ускоренного лафета Гордона изображен на рис. 79. В этом случае в число звеньев механизма включен противовес. Механизм принимает на себя действие отдачи при выстреле. Рело описывает в этом параграфе различные конструкции механизмов параллельного переноса, применяемые в технике.

В параграфе 47 рассматриваются механизмы для неполного параллельного переноса. На рис. 80 он дает схему подобных механизмов. Приведенные цепи лежат в основе механизмов для неполного параллельного переноса. Рело приводит примеры применения таких механизмов при конструировании весов, где

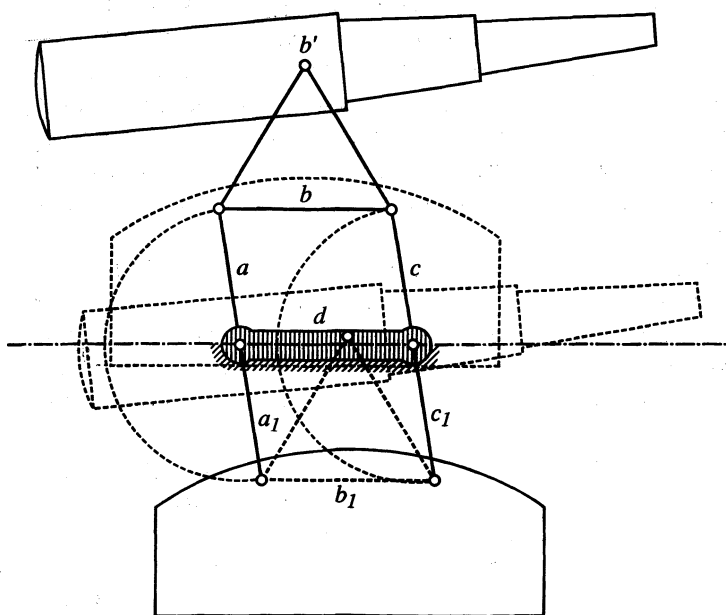


Рис. 79

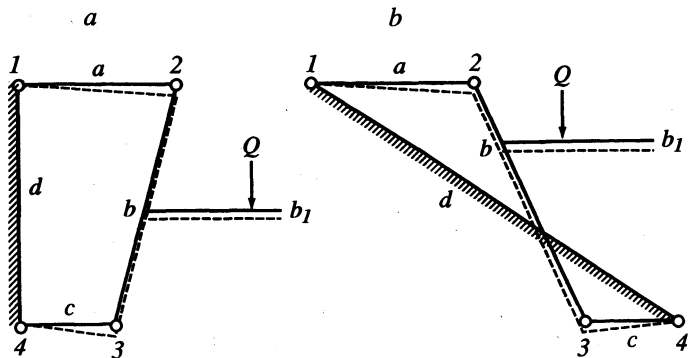


Рис. 80

параллельный перенос должен осуществляться в определенных пределах.

Параграфы 48, 49 содержат описание механизмов для ведения тяги. Рело указывает, что до сих пор он имел дело с механизмами ведения, составленными из твердых элементов. Однако механизмы, в которые входят гибкие элементы и элементы, работающие только на сжатие, не менее важны для машиностроения. Он рассматривает здесь различные соединения, такие как, например, сшивку концов ремней, соединения деревянных конструкций и т.д.

При этом соединения и связи Рело рассматривает исторически, начиная с тех, которые используются племенами, находящимися на низшей ступени развития и конструкции присоединения движущегося звена к основанию в конструкции катапульты (рис. 81).

Далее он анализирует механизмы, составленные из роликов и скользящего ремня, типа полиспада, барабан лебедки с накрученным на нее канатом, роликовую цепь в приводе некоторых механизмов кранов и других подъемных машин, а также применение подобных механизмов в гидравлических сооружениях.

Параграф 50 посвящен рассмотрению механизмов параллельного ведения свободного хода. Рело приводит примеры таких механизмов параллельного ведения, в которых можно

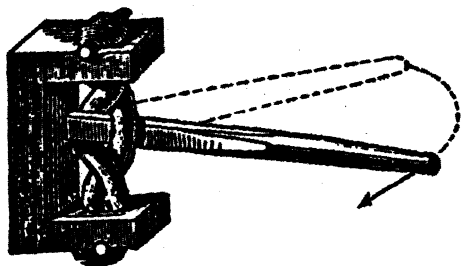


Рис. 81

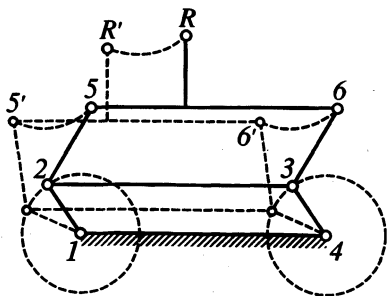


Рис. 82

механизмы применяются, например, для расчесывания шерсти, хлопка и т.п. Подобные механизмы применялись также на колесах колесных паровозов, в которых гребущие лопатки должны были изменять свое положение (рис. 83). Для подобного случая Рело приводит расчет для колес с неподвижными лопатками и для подвижных лопаток. Он показал, что при применении этого механизма достигается уменьшение лопаток и потребляемая мощность для движения колес на $1/3$ снижается.

Таким образом, Рело провел рассмотрение «ведения», т.е. по-нуждения формы движения и показал, что во всех рассмотренных случаях выполняются законы кинематики. Он указал при этом, что применение кинематики в практике машиностроения дает весьма существенную экономию энергии. Таким образом,

выполнить некоторую необходимую кривую, отличающуюся от кривых параллельного переноса, например, кривая $5'-5$ на рис. 82. Он указывает, что такие механизмы находят важные применения в машиностроении.

Ведение в меняющихся, следующих один за другим положениях, т.е. такое ведение, которое обеспечивает смену положений, рассматривается в § 51 такие

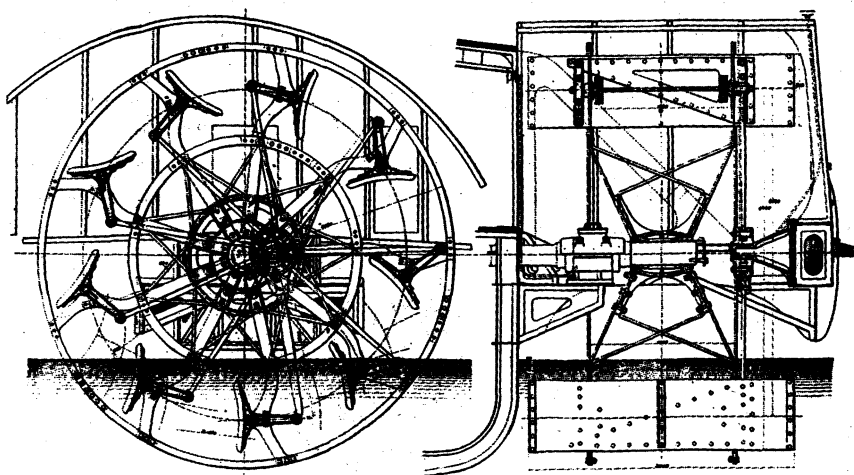


Рис. 83

кинематика, или учение о принужденном движении, которое иногда считают «непрактичным», оказывается в высшей степени полезным для практики, оставаясь в то же самое время теоретическим разделом механики.

Задача «ведение движения» в сущности совпадает с основной проблемой кинематики «по Монжу» и представляет собой преобразование некоторой ведущей кривой в требуемую, ведомую.

Эти параграфы на первый взгляд посвящены очень простой задаче, но это потому, что предмет этот до сих пор изучался с «большой тупостью», что приводило изучающего к ложным выводам о том, что вся кинематика состоит из распределения одного — двух направляющих. К таким механизмам относятся в частности, механизмы для черчения кривых, инверсоры и др.

Управление движением Рело трактует как достаточно простую задачу, которая до сих пор освещалась в недостаточной степени, или вообще ошибочно. В частности, во времена Уатта в Англии привод прявила параллельным движением, хотя задача «проводить точки» по прямой, есть совершенно иное, чем проведение линий в параллельном движении. У Редтенбахера при описании механизмов для изменения движения шарнирный четырехзвенник назван балансиром, что доказывает, что Редтенбахер рассматривал только некоторые из паровых машин. Причиной всего этого было отсутствие того, что называется абстрагированием от формы исполнения и от его места.

В следующем параграфе Рело начинает изучать «Haltung» — замыкание. «Замыканием я называю, — пишет Рело, — ... такое механическое устройство, которое предназначено для временной задержки и замыкания рабочей мощности»¹²⁹. В большинстве случаев такие механизмы работают с применением жидкостей или газов и значительно реже с применением твердых элементов.

Рассмотрение таких механизмов Рело начинает с таких, в состав которых входят элементы, работающие на сжатие, т.е. жидкости и газы. Он рассматривает их в двух разделах:

- а) замыкающие механизмы при повышении давления и
- б) препятствующие понижению давления.

Он отдельно рассматривает механизмы, применяемые при большом повышении давления и устройства, применяемые при большом повышении, типа аккумуляторов, а также механизмы,

¹²⁹ Vgl.d. S. 347–348.

служащие для регулирования потока рабочего вещества и природные «замыкатели» типа плотин.

После рассмотрения целого ряда приспособлений для запора и регулирования газообразных и жидких веществ, применяемых в промышленности, Рело переходит к механизмам этого же назначения, но состоящим из жестких звеньев. Сначала он указывает на применение пружин в часах и в некоторых приборах.

Затем он переходит к исследованию таких механизмов, которые применяются для накопления энергии в форме живой силы.

«Под названием “сохранения” или “удержание” я понимаю в настоящем исследовании механическое приспособление, которое предназначено для накопления и выдачи в течение некоторого времени работы»¹³⁰. В качестве примера такого динамического «конденсатора» можно привести маховое колесо. Сюда относятся стопорные устройства для воды, паровых котлов, регуляторы – все эти механизмы очень распространены. К этому типу Рело относит также аккумуляторы для сжатой воды, колпаки для газов, «замыкатели» для электротока и еще многие механизмы.

В параграфе 53 речь идет о важности накопления. Ссылаясь на обзор важнейших приспособлений для накопления энергии, сделанный в предыдущем параграфе, Рело показывает, что эти приспособления занимают в машиностроении очень важное место. Так, паровая машина мощностью от 25 до 50 млн л.с. получает пар из его накопителей, т.е. из парового котла, а иногда из общего накопления, применяемого и для освещения. Подобные приспособления применяются для водяных силовых машин, где происходит накопление воды в искусственных или естественных накопителях. Шлюзы для пропуска судов также являются накопителями, их значение в строительстве каналов очень велико. Приспособления для понижения и повышения давления служат для удаления воды из шахт, накопители высокого давления служат для привода кранов, прессов, паровых молотов и т.п.

Применяются приборы низкого и высокого давления также в приспособлениях служащих для воздушной почты, для отбойных молотов, они применяются для подъемников в эксплуатации железных дорог.

Несмотря на такую важность накопителей для машиностроения, они до сих пор не изучались, и Рело утверждает, что он пер-

¹³⁰ *Reuleaux F. Lehrbuch der Kinematik. Bd. II. S. 347–348.*

вый приступил к их изучению в своих лекциях, а также в своем «Конструкторе». Учение о принужденном движении именно и подчеркивает необходимость показать, откуда берется механическая сила для проведения машин в движение.

Об этих приспособлениях умалчивали, их не изучали, их полностью передоверяли технологии, которая и сама еще только начинает развиваться. Но это было одной из четырех областей исследования, которое предприняли в старом учении о механизмах. Их попытки нельзя назвать бесполезными, хотя они и ограничивались исключительно описанием, собирая их «энциклопедическим» способом.

Рассматривая третью группу механизмов – привод, или «пнуждение» (Treibung), Рело отмечает, что следует различать преобразование движения, которым занимаются механизмы первой группы, и передачу движения, которую он считает важнейшей целью. Кинематическое рассмотрение «водителей» происходит, когда какой-либо член кинематической цепи передает движение на другие звенья механизма или на другой механизм. Одним из важнейших результатов излагаемого анализа приводов является то, что число механизмов, предназначенных для вождения, оказывается не очень большим. «Я покажу, – пишет Рело, – что число механизмов для передачи движения немного, их можно разделить на пять групп: винтовые (Schraubetrieb), шарнирно-звеньевые (Kurbetrieb), колесные передачи (Radertrieb), передачи по кривым (кулачковые механизмы) (Kurventrieb), остановы (Gespertrieb)»¹³¹. К ним следует добавить еще группу гибких передач, например роликовую, которая равно относится как к Treibung, так и к Haltung.

Задачей прикладной кинематики является детальное и основательное изучение этих разновидностей механизмов. Несмотря на большое значение этих механизмов, их кинематика рассмотрена в недостаточной степени. Эти шесть приводов рассмотрены в § 54–103, сначала схематически, а затем приведены примеры из их практического применения. Приводятся также некоторые новинки. Многие основные понятия, которые важны, например, в патентном праве, можно установить и привести в порядок.

В основе простейшего винтового механизма (§ 55) лежит кинематическая цепь, состоящая из трех коаксиальных винтовых пар (рис. 84). Рело приводит далее примеры применения винто-

¹³¹ Vgl.d. S. 372.

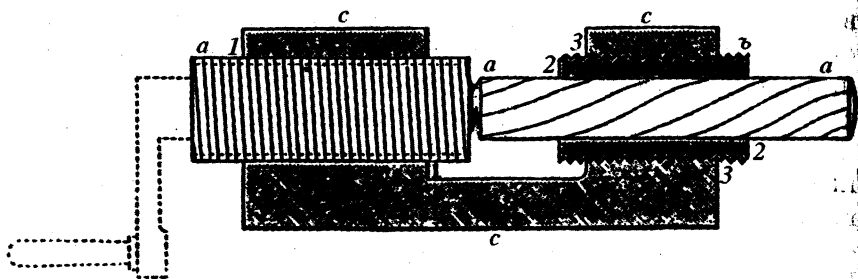


Рис. 84

вых пар в различных механизмах, применяемых в машиностроении. Он замечает при этом, что во всех этих механизмах обязательно должна быть соблюдена кинематическая точность. Это условие является совершенно необходимым. Он отмечает также, что весьма интересные механизмы этого состава были предложены американскими учеными; из европейских инженеров в этом отношении больше всего сделали швейцарские, они разработали кинематически точные закрепители.

Вообще все три члена такой кинематической цепи являются твердыми. Но Рело указывает, что каждый из них может быть и жидким или газообразным. Так как операцию замены можно произвести три раза и учитывая, что имеется шесть основных типов привода, получается $6 \times 3 = 18$ вариантов привода. Следует исследовать, которые из них окажутся применимыми и полезными. Один из вариантов показан на рис. 85. Пара между поршнем и стенками сосуда может и отсутствовать, нужное давление на жидкость будет осуществляться винтовой парой. Рело показывает затем некоторые технические применения таких механизмов.

Рело отмечает, что широкое использование в машиностроении имеют приводы, основанные на принципе с противоположным направлением винтовой резьбы, но подъем нарезки надо выбирать таким образом, чтобы трение не изменяло характера движения.

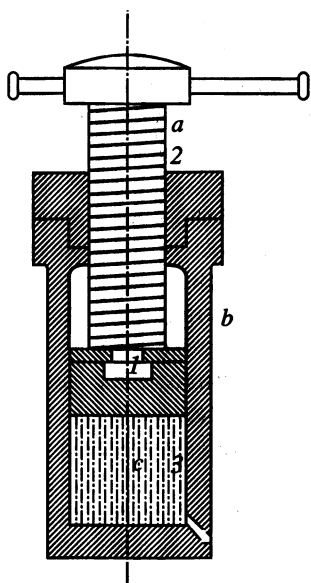


Рис. 85

Примеры на рис. 86 и на рис. 87 показывают применение винтовой передачи для механизма станка подачи артиллерийских систем. Пример механизма, составленного из звеньев, входящих между собой только в поступательные пары приведен на рис. 88.

Следует отметить, что при описании всех рассматриваемых механизмов Рело пользуется разработанным им «языком» записи, который, однако, не получил распространения и не использовался ни учеными, ни инженерами.

Возвращаясь к механизмам, имеющим в своем составе жидкости или газы в числе звеньев, Рело разбирает сначала пять механизмов, в которых ведущим звеном является жидкость. Схемы этих механизмов изображены на рис. 89.

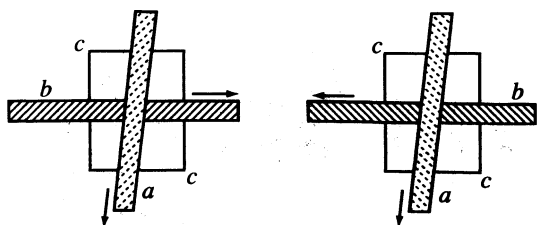


Рис. 86

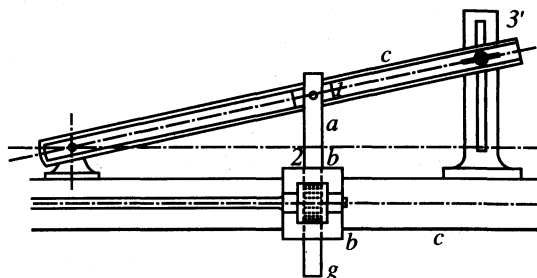


Рис. 87

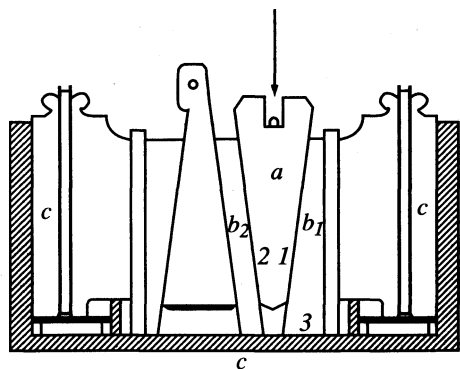


Рис. 88

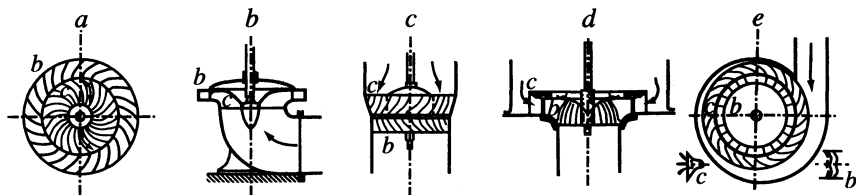


Рис. 89

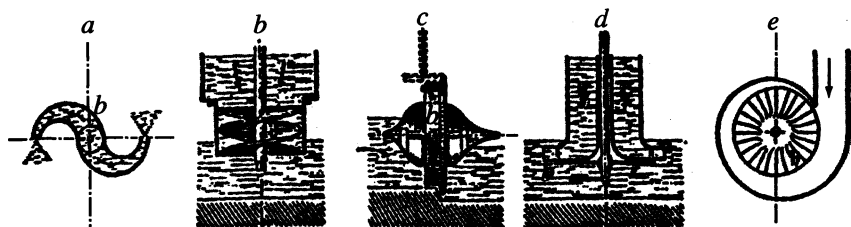


Рис. 90

Особенность кинематических оснований силовых машин приводит к заключению, что центробежные насосы, вентиляторы и подобные механизмы, в которых жидкость или газ приводятся в движение в нужном направлении, являются механизмами, включающими жидкое или газообразное звено.

Общность кинематической сущности трех важнейших типов силовых машин, приводит к следующему заключению: также и центробежные насосы, вентиляторы, в которых нетвердое вещество направляется в движение при помощи лопаток, кинематически относятся к тому же самому виду. Здесь колесо движет вещество, тогда как в силовых машинах происходит обратное.

На рис. 90 изображены пять типов турбин, которые не имеют лопаток и рабочее движение осуществляется при помощи принципа винта, причем в случаях *a*) и *d*) с внутренним поступлением воды, *b*) и *c*) с боковым поступлением воды, *e*) с внешним каналом. По имени своих изобретателей эти турбины носят имена: *a*) Сегнера, *b*) Платарета, *c*) Жирара, *d*) Кадията и *e*) Томпсона. В турбине Жирара канал лишь наполовину заполняется движущим потоком воды.

Напомним, что по теореме обращения из архимедова винта получается турбина, а также ходовой винт пароходов; центробежный насос, применяемый для подачи жидкостей и газов, можно рассматривать как винтовой механизм.

В турбинах, схемы которых даны на рис. 91 и выше на рис. 89 вода действует по принципу так называемой реакции, поэтому их объединяют под названием реактивных турбин. Рело называет их «лучевыми турбинами», чтобы тем самым отличить их от «турбин давления», термина, введенного Цейнером и который обозначает водяные колеса, действующие ударом или напором воды. К турбинам давления относится также турбина (паровая) Лавалья.

Рассмотренные винтовые механизмы имеют весьма широкое применение в машиностроении, входя в состав приводов станков, технологических машин, силовых машин, а также в механизмы вспомогательных приспособлений.

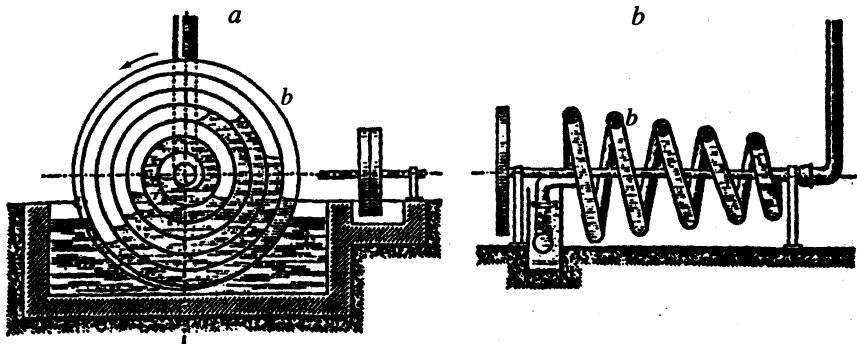


Рис. 91

Параграф 56 посвящен рассмотрению шарнирных механизмов и общих понятий об этих механизмах, занимающих одно из основных мест в учении о механизмах. В следующем, 57, параграфе рассматриваются характерные точки шарнирного механизма. Сначала Рело определяет возможность мертвых положений при движении звеньев механизма. Проведя соответствующие рассуждения, он указывает, что в целом при движении звеньев шарнирного четырехзвенника могут проявиться девять характерных точек:

- Мертвые точки, обычно получающиеся попарно,
 - Точки возврата, в основном появляющиеся попарно,
 - Центр сдвига,
 - Безрезультативные точки,
 - Свободные точки,
 - Точки равной угловой скорости,
 - Точки равной окружности,
 - Точки наибольшей скорости,
 - Точки наименьшей скорости¹³².
- } *точки равенства;*

Параграф 58 посвящен исследованию угловой и окружной скорости в шарнирном механизме. Рело строит в связи с исследованием шарнирного четырехзвенника, ряд кривых для нескольких вариантов четырехзвенника. Эти кривые служат для определения некоторых кинематических величин, в частности точек равной угловой скорости. Затем он переходит к определению окружной скорости и строит кривые для определения точек равной окружной скорости.

¹³² Reuleaux F. Lehrbuch der Kinematik. Bd. II. S. 408.

Следующий параграф посвящен определению скоростей некоторых точек кривошипно-ползунного механизма, который Рело рассматривает как выродившийся шарнирный четырехзвенник, он графически определяет угловую и окружную скорости.

Параграфы 62–65 посвящены различным вариантам кривошипных механизмов различной степени сложности. В § 66 автор дает общий обзор, изложенного выше. Было показано, что полоиды в некоторых случаях принимают простейшие формы гипербол, парабол, эллипсов, кругов, а также и циклоид. Можно утверждать, пишет он, что фономия или геометрия движения также изучает эллиптоиды, гиперболоиды, параболоиды и т.д., о которых речь шла в § 20–23. Подобное обозрение ценно само по себе и обеспечивает хорошее понимание приводов даже в тех случаях, когда можно не рассматривать подробности. Следует отметить, что представление движения при помощи кинематических моделей необходимо в тех случаях, когда процессы служат весьма важным практическим целям. Кинематическая модель в своих простых формах в сущности является пространственным чертежом, способным производить движение. С помощью моделей легко изучать полоиды и другие кривые, образуемые движениями механизма.

Дальнейшие параграфы посвящены действию сил на звенья кривошипного механизма. Это — основы кинетостатики.

В § 68 и 69 рассматривается теория зубчатых зацеплений, а в следующем параграфе анализируются обратные (возвратные) зубчатые приводы и планетарные передачи. На рис. 92 показано, как обратную передачу можно преобразовать в планетарную.

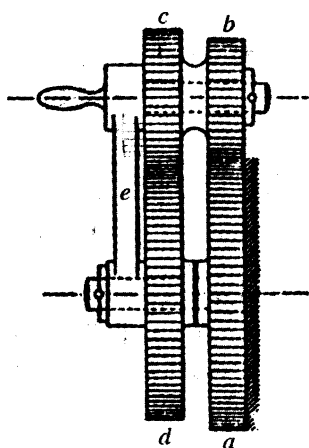


Рис. 92

Параграф 71 посвящен геометрии зубчатых колес. Рассмотрено построение зубца для различных случаев зацепления. Здесь же даются сведения об изготовлении зубчатых колес при помощи специальных фрез. Далее следуют описания некоторых специальных методов проектирования и изготовления зубчатых колес, а также соответствующих станков. Рассмотрено также построение и изготовление червячных и конических колес. Заканчивается параграф описанием некруглых колес, пример изображен на рис. 93. Рело замечает, что применение таких колес весьма ограничено.

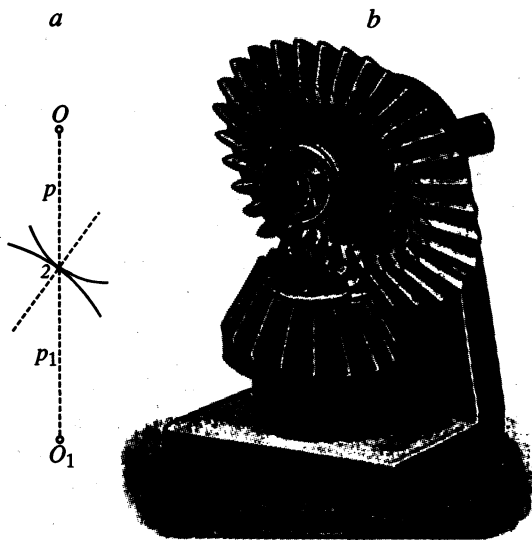


Рис. 93

В параграфе 72 речь идет о фрикционных передачах при помощи круглых колес, соприкасающихся своими ободами. Рело рассматривает некоторые примеры фрикционной передачи.

Следующий параграф посвящен гибким роликовым передачам. На многочисленных иллюстрациях показаны различные заводские применения гибких ременных передач.

Параграф 74 содержит описание реверсивных передач, применяемых на металлообрабатывающих станках того времени (вторая половина XIX века). Некоторые передачи этого типа довольно сложны.

Параграф 75 посвящен жидкостно-колесным передачам. Рело указывает, что в некоторых случаях жидкость может заменить твердое тело. Примеры соответствующих механизмов показаны

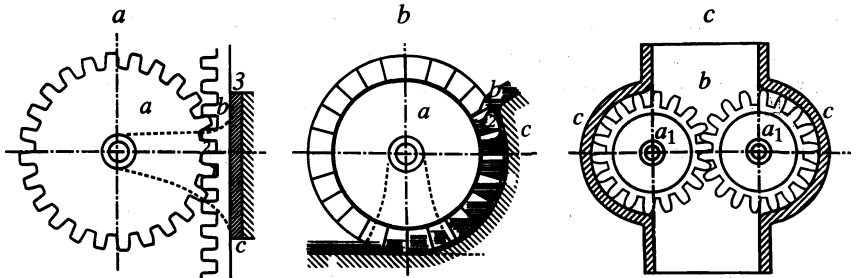


Рис. 94

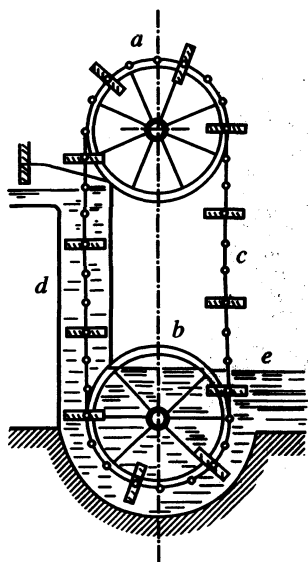


Рис. 95

на рис. 94. Однако в этом случае надо исследовать, как механизм с жидким или газообразным звеном входит в машину. В тех случаях, когда жидкое или газообразное звено приводит машину в движение, машину следует отнести к классу двигателей. Если же жидкость вводится внешними средствами, то соответствующий механизм следует рассмотреть в кинематике. Соответствующие механизмы рассматриваются и в § 76. В этом же параграфе анализируются приводные механизмы турбин Лавала, Пелтона и др. Рело сравнивает управление при помощи воды или газа с электротокком и находит между ними сходство.

В § 77 рассмотрена жидкостно-колесная фрикционная передача. Подобные механизмы применяются в насосах и вентиляторах. § 78 содержит

описание паровых движущих колес.

В § 79 описываются механизмы, в которых сочетаются зубчатый механизм с жидкостным приводом. На рис. 95 приведен пример такого механизма.

§ 80 посвящен передачам, когда жидкость подается через другую жидкость. Рело рассматривает построение таких механизмов, когда зубчатое колесо заменяется жидкостью. Тогда и получается машина, в которой жидкость сочетается в приводе с другой жидкостью. В качестве примеров он приводит механизмы инжектора, струйный насос, струйное сопло (рис. 96). Приведен ряд примеров из различных областей машиностроения.

Параграф 81 посвящен теории кулачковых механизмов. Рело рассматривает эти механизмы в общем виде как приведение одной кривой при помощи другой кривой. В § 82 показаны кулачки, построенные по кривой линии. Приводятся также некоторые примеры из области практики машиностроения. В § 83 рассматривается развитие кулачковых механизмов: кулачки могут иметь некоторую форму, позволяющую получить сложное пространственное движение. Примеры таких кулачков показаны на рис. 97. Такие механизмы применяются, например, при изготовлении спиральных сверл. Рело указывает, что подобные механизмы находят себе применение в сельскохозяйственном машиностроении.

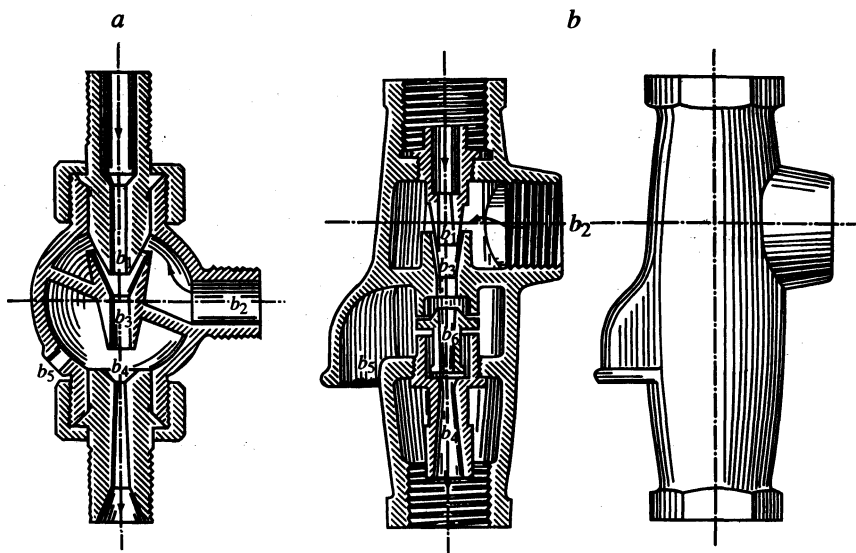


Рис. 96

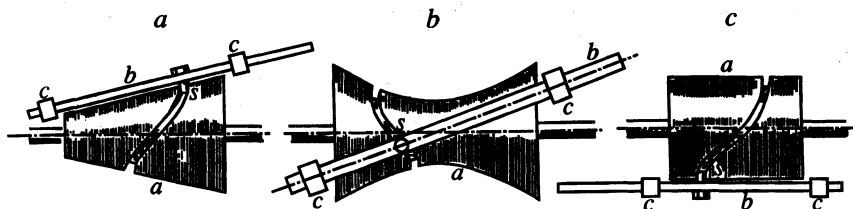


Рис. 97

§ 84 озаглавлен «Пределы кулачковых механизмов». Рело подчеркивает, что эти механизмы имеют ясно выраженные пределы: первый – там, где начинается применение зубчатых колес. Кулачковые механизмы служат при необходимости обеспечить поступательное движение туда и обратно, но их не применяют там, где требуется непрерывное движение в одну сторону. Другое ограничение применения кулачковых механизмов там, где применяются кривошипные механизмы. Таким образом область применения кулачковых механизмов расположена между зубчатыми и кривошипными механизмами.

В § 85 рассматриваются замыкающие механизмы. Здесь также приводятся примеры из области машиностроения и приборостроения. В следующем параграфе Рело дает классификацию замыкающих устройств:

- 1) собственно замыкающие механизмы;

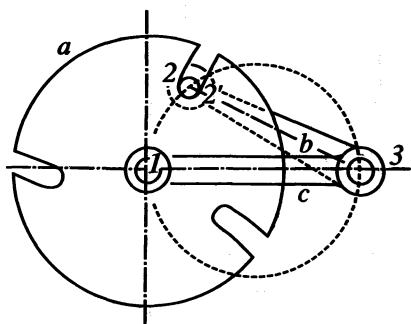


Рис. 98

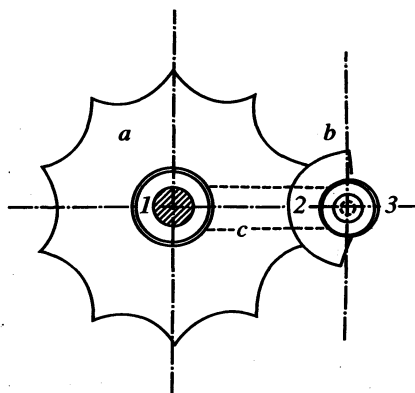


Рис. 99

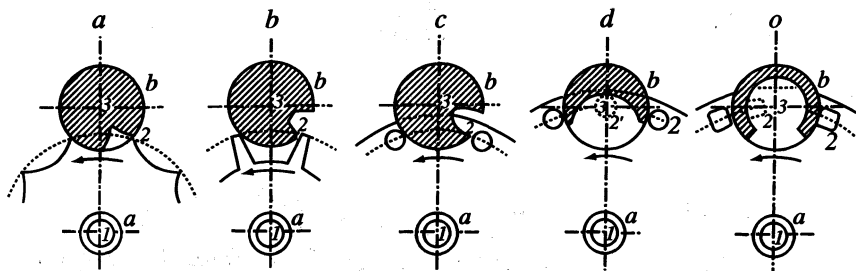


Рис. 100

2) натяжные механизмы. Эти механизмы предназначены для того, чтобы в определенный момент разрешить действие силы в механизме. Замкнутая деталь выполняет с помощью натяжения нужную механическую работу;

3) улавливающий аппарат. Пример, шахтный парашют;

4) коммутатор, включающий механизм, храповой механизм;

5) замыкающее устройство – устройство, обеспечивающее прочное замыкание и в то же время, легко выключаемое;

6) тормозящие механизмы, тормоза.

§ 87 посвящен зубчатым замыкающим механизмам. Рело различает два типа этих механизмов – *движущиеся* зубчатые замыкающие механизмы и *покоящиеся* механизмы. Примеры второго вида показаны на рис. 98–100.

Кроме этого, он рассматривает еще две группы таких механизмов – разделительные и дифференциальные замыкания и точные зубчатые замыкания. В § 88 рассматриваются фрикционные замыкания, а в § 89 – запорные механизмы.

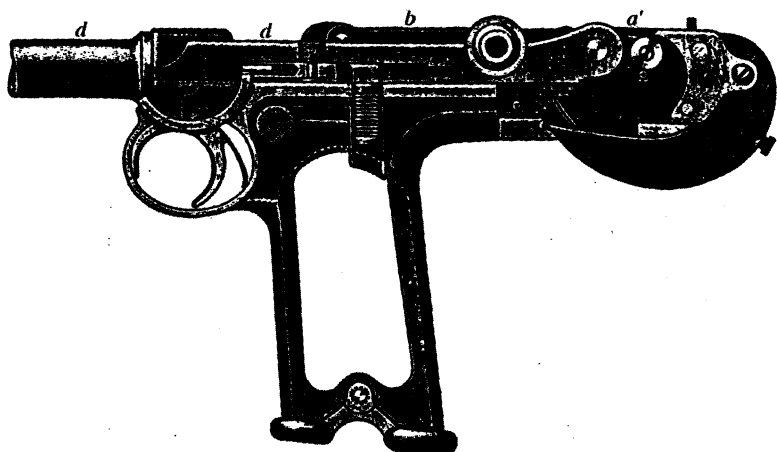


Рис. 101

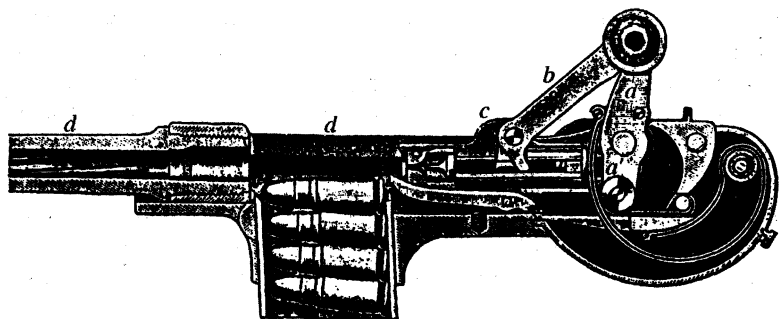


Рис. 101

§ 90 посвящен описанию натяжных механизмов. Рело приводит в этом параграфе краткую историю этих механизмов, относя сюда также античные механизмы, описанные Филоном и Героном Александрийским, а также катапульту. Он указывает затем, что натяжные устройства широко применяются в военной технике XIX в., в особенности, в огнестрельном оружии. Соответствующие механизмы изображены на рис. 101 и 102.

В § 91 рассматриваются улавливающие механизмы. Они находят широкое применение в горном деле, в лифтах многоэтажных зданий, а также в эксплуатации железных дорог.

В § 92 приведен анализ включающих механизмов. Сюда относятся механические приспособления, включающие элементы, работающие на сжатие и на растяжение. В кинематической цепи, состоящей из трех элементов, замыкающий элемент, обычное ко-

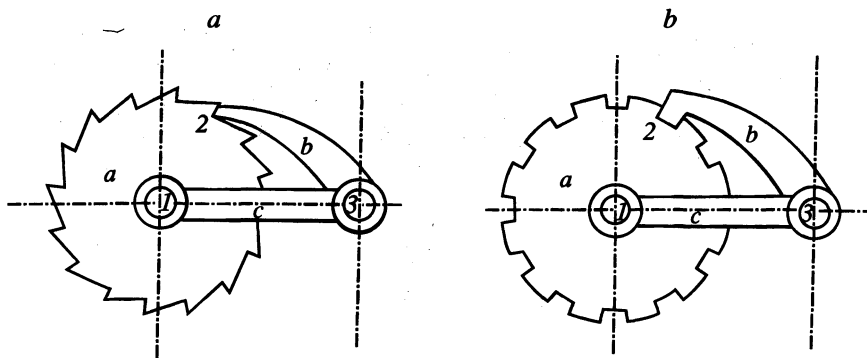


Рис. 103

лесо, стопор (защелка) и соединяющее звено. Простейший пример приведен на рис. 103.

В § 93 рассматриваются жидкостные замыкатели-вентили. Если количество разнообразных замыкающих устройств, построенных из твердых звеньев чрезвычайно велико, то количество различных жидкостных замыкающих приборов во много раз больше. Таким образом, замыкающую деталь можно заменить жидкостью. Заменить жидкостью можно также и стопор. Рело замечает, что сам термин «вентиль» имеет средневековое происхождение. Так называли, пользуясь средневековой латынью механизм, замыкающий поступление воздуха в церковных органах. Что касается замыкания воды с помощью вентиля, то оно было известно еще около 130 лет до н.э.

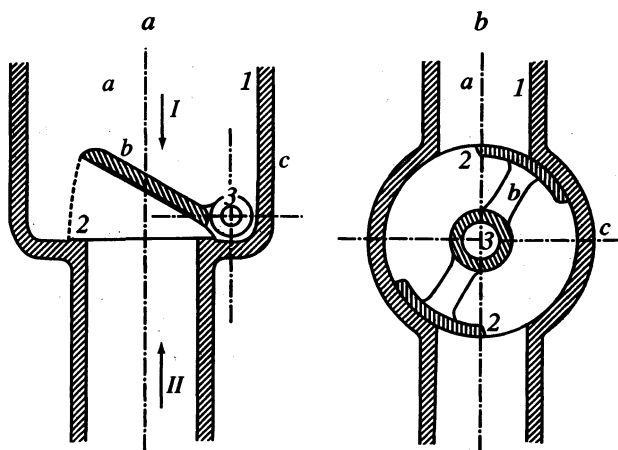


Рис. 104

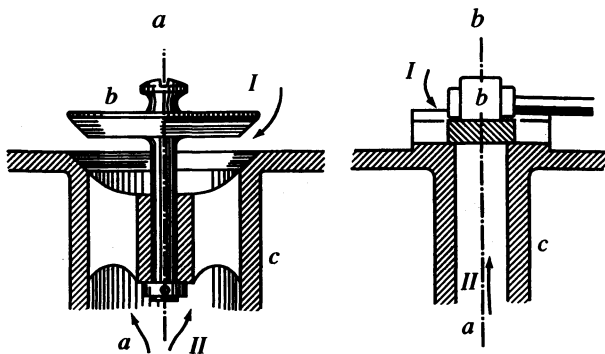


Рис. 105

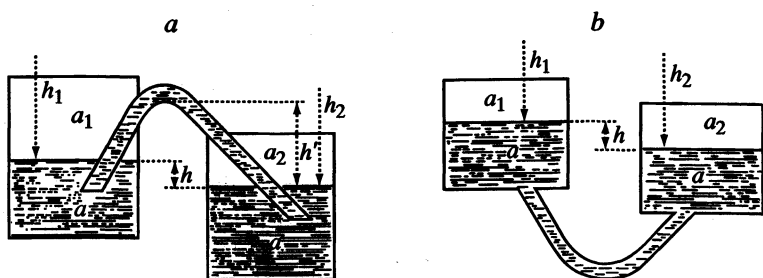


Рис. 106

В своем сочинении о нем пишет Ктесибий – учитель Герона Александрийского. Витрувий также описывает подобный механизм, хорошо известный римлянам. Схема вентиля показана на рис. 104. Рело различает два вида таких вентилях: первый показан на рис. 105 *a*, он называет его подъемный вентиль, вторая схема на том же чертеже, 105 *в*, – скользящий или подвижный вентиль.

Примеры конструкций жидкостных вентилях показаны на рис. 106. Рело указывает, что подобные вентилях применяются для замыкания поступления газа. Подобные вентилях применяются в манометрах и на паровых котлах. Рело описывает некоторые технические применения таких вентилях.

§ 94 посвящен описанию различных конструкций управляющих и храповых механизмов. Рело здесь также обращается к истории вопроса: он описывает воздушный насос, применявшийся в Египте (рис. 107). Он показывает также насос такого типа, применявшийся в XIX в. в Индии для плавки железа (рис. 108). Рело описывает также ряд таких механизмов, применявшихся в машиностроении XIX в.

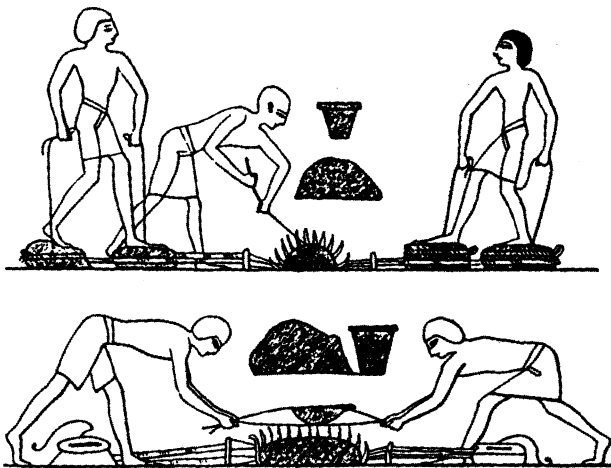


Рис. 107

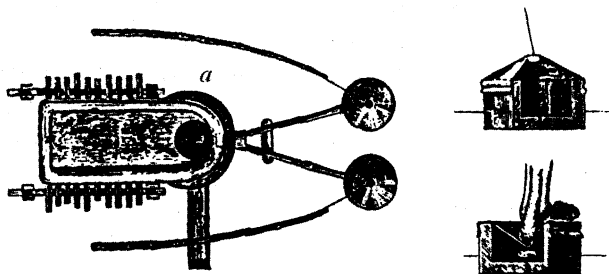
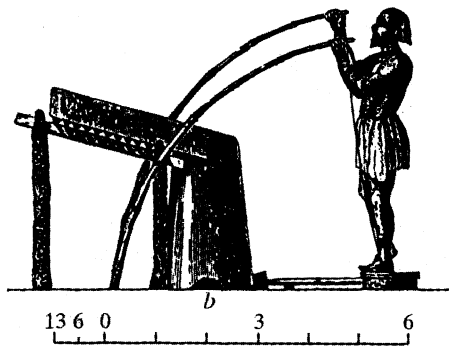


Рис. 108

В § 95 описываются замыкающие механизмы. Замыкающие механизмы служат для замыкания при изготовлении временных, полностью сопротивляющихся и притом легко раздвигаемых соединений. Они широко применяются в строительном деле для подвески дверей, окон, при изготовлении мебели и ящиков. Они изготовляются ремесленниками, а иногда являются продуктом точной механики. Рело описывает много вариантов подобных механизмов.

§ 96 посвящен тормозным механизмам. Рело различает следующие виды таких механизмов:

- а) нерегулярно действующие,
- б) периодического действия,
- в) равномерно действующие,
- г) передвижные тормоза.

Следующие параграфы 97, 98, 99 посвящены описанию технических применений подобных механизмов.

§ 100 посвящен описанию машинных соединений и шатунно-поршневых механизмов. Здесь Рело уделяет много места описанию технических новинок своего времени, а также приводит много исторических сведений относительно изобретения паровой машины, приводит схемы некоторых изобретений, которые были отвергнуты практикой.

В § 101 рассматриваются механизмы для местного торможения. Рело пишет: «Если установить тормозное устройство так, что только что освобожденная деталь должна в своем движении вновь быть остановлена, то соответствующие механизмы осуществляют торможение по месту»¹³³. Он описывает ряд таких механизмов.

В § 102 речь идет о порядковых отношениях приводов. В машине могут действовать одновременно несколько приводов. Отношения между ними следующие:

- а) одновременность действия. Такое часто бывает на заводах, где несколько машин, исполняющих параллельные тождественные работы, приводятся от одного двигателя;
- б) подчиненность действия в случае последовательного соединения машин.
- в) смешанный порядок. В этом случае группы машин соединены последовательно, а между собой они соединены параллельно.

§ 103 посвящен описанию разнообразия в родах и видах приводов. Здесь приводится общее обозрение «ведения», а именно шести видов приводов, из которых мы составляем все машины,

¹³³ Reuleaux F. Lehrbuch der Kinematik. Bd. II. S. 654.

или, иначе говоря, на которые можно разложить все машины. Это — винтовая, кривошипная, кулачковая, зубчатая, управляющая, роликовая передачи. Исследование машин показывает, что такое разложение всегда осуществимо. Нужно еще раз подчеркнуть, что при таком разложении понятие «силовой машины» теряет многое от его прежней теоретической остроты. Как мы теперь привыкли говорить, это — машины, ведущий член цепи которой, получает откуда-то свою рабочую мощность. В наши дни, пишет Рело, изобретение машин производится иначе, чем двести лет тому назад. Тогда ничего не было известно о законах принужденного движения. Многие основные цепи приходилось заново создавать для каждого конкретного случая. Можно вспомнить про произведенное кинематическое разложение паровой машины Уатта, на его кинематические составляющие. Уатту пришлось большую часть составляющих машины (21 часть) самому изобрести и продумать связи отдельных частей между собой. Теперь подобные операции производятся значительно проще с учетом имеющихся в распоряжении изобретателей теоретических разработок.

Рело еще раз останавливается на разобранных ранее основных понятиях: «управление», «направление», «привод», «формообразование». Первые три уже получили достаточно полное освещение в предыдущих параграфах.

К четвертой группе относятся механизмы, назначением которых является формообразование. «Формообразование» рассмотрено в § 104–116. Рело считает неправильным, что формообразование целиком отдано технологии; по его мнению, оно должно составлять часть прикладной механики.

Принужденное движение, осуществляемое машинами, имеет две основные задачи: изменение места и изменение формы. Многие машины служат к тому, чтобы перенести нужное тело из одного места в другое. Железная дорога, кран, повозка являются ясными примерами изменения местоположения тела. Другая большая группа машин служит для обеспечения предприятий материалами для обеспечения их работы: пар, вода, сжатый воздух, электрический ток, керосин, угольная пыль. Подобные машины называют силовыми. Эти машины также следует отнести к группе изменения формы тел. В заводской и фабричной практике эти машины занимают основное место. Изменение формы тел относится к области механической технологии.

§ 105 посвящен описанию инструментов и орудий для обработки. Если тело следует механически обработать для изменения его формы, то это можно сделать двумя путями:

- а) отделением или
- б) изменением места.

В обоих случаях это выполняется при помощи инструмента.

«Обрабатываемая деталь является частью одного звена кинематической цепи или отдельным звеном кинематической цепи в машине. Она входит в кинематическую пару с инструментом или сопряжение, при котором обрабатываемое тело свою первичную форму меняет на ту, которая образуется в результате создания кинематической пары, благодаря вхождению в пару с инструментом и образованию кинематической цепи»¹³⁴.

Показано, что кинематическое исследование может существенно повлиять на механическую технологию. Существующее до сих пор основное положение, что ручная технология замыкает в себе и машинную технологию, оказывается неверным. Основываясь на положениях кинематики, мы получаем важные результаты. Приводится набросок такой «общей» механической технологии, которая предлагается для проверки.

«... Наши кинематические исследования дают возможность полностью охватить задачу. Прежде всего они выражаются в теории “инструмента”, которая приводит к простому предложению, гласящему, что таковой является или кинематическим элементом, или членом кинематической цепи и, что то же самое, относится также к “обрабатываемому материалу”, так что оба они образуют элементарную кинематическую пару. Отсюда непосредственно следует, что поскольку имеется лишь три возможных рода элементов – твердые, сопротивляющиеся растяжению и сопротивляющиеся сжатию, то их взаимодействия составят трижды три, или всего девять, возможных типов пар между инструментом и материалом»¹³⁵.

Итак, Рело приводит 9 основных форм отношений между обрабатываемым предметом и инструментом¹³⁶:

<i>Инструмент</i>	<i>Заготовка</i>	<i>Пример</i>
1) твердый	менее твердый	резец и обрабатываемая заготовка
2) “	гибкое	мотовило: пряжа
3) твердый	жидкое	сопло: струя
4) гибкий	гибкая	два прядильных волокна
5) “	жидкое	провода: растопленный цинк
6) “	твердая	шлифовальный ремень: латунная деталь
7) жидкий	жидкая	электронный прожектор

¹³⁴ Reuleaux F. Lehrbuch der Kinematik. Bd. II. S. 665–666.

¹³⁵ Vgl. d. S. 719.

¹³⁶ Vgl. d. S. 666.

8) жидкое

гибкая

окраска инструментов

9) “

твердая

обработка струей песка

Если рассмотреть ручную обработку, то и здесь будут также эти сочетания. «Все элементарные пары, без исключения, имеют то свойство, что они, благодаря действию внутренних или внешних сил, действуют друг на друга формообразующим способом»¹³⁷.

Это очень важное положение. Рело указывает, что сочетание «инструмент – заготовка» является частным случаем пары, и любая кинематическая пара в процессе своей работы действует формообразующее, ибо между ними действует трение и сжатие. Задача машиностроителя стараться всеми доступными средствами погасить это явление формообразования в кинематической паре.

В сущности пара является формообразующим соединением двух звеньев, ибо благодаря явлениям трения поверхности пар прирабатываются. Иначе говоря, нет принципиальной разницы между парой как составляющей кинематической цепи и парой инструментом и материалом. Задачей машиностроителя является уменьшение мощности формообразования в парах первого типа и увеличения ее в парах второго типа.

Параграф 106 называется «Закрепление и упрочнение».

Простейший случай формообразования заключается в том случае, если и инструмент и заготовка являются отдельными телами.

Относительно взаимного закрепления возможны три случая, как в машинной, так и в ручной обработке:

- 1) инструмент покоится, заготовка движется,
- 2) заготовка покоится, инструмент движется,
- 3) инструмент и заготовка находятся в движении.

Рело рассматривает затем ряд примеров закрепления в этих случаях, применяемых в машинной практике. Он приводит также несколько примеров из практики ремесла в восточных странах.

В § 107 рассматривается твердый режущий инструмент. В этом случае инструмент образует с заготовкой или низшую, или высшую кинематическую пару.

Рело рассматривает с этой точки зрения сочетание пары инструмент–заготовка. При рассмотрении фрезования он разбирает эту операцию с кинематической точки зрения.

В следующем параграфе описываются способы, применяемые в технологии машиностроения.

Твердый инструмент в случае необходимости может быть соединен с гибким звеном, станет «гибким». Твердые «гибкие»

¹³⁷ Vgl. d. S. 667.

инструменты имеют ограниченное применение. Они применяются, в частности, при обработке волокна. В § 110–114 рассматриваются различные инструменты: твердый штампующий, твердый давящий и размалывающий, гибкое тело в качестве инструмента, инструмент из тела, работающего на сжатие или из жидкости (газа). В этих параграфах описываются примеры из техники XIX в. В параграфе 115 Рело упоминает технологические новинки конца XIX столетия. Он дает также определение: «Механическая технология есть учение относительно формообразования тел при помощи механической обработки»¹³⁸. Он указывает место, которое учение о механической технологии должно занимать в высшей технической школе.

Следующий параграф – это общий взгляд на сумму учения о машинах и приводах. В этом обзоре Рело указывает, что учение о машинах с кинематической точки зрения сводится к трем видам анализа машины: элементарный анализ, строительный анализ, анализ привода¹³⁹.

Элементарный анализ составил содержание первого тома этого сочинения. Выше описано, как машины состояются из элементарных частей, которые вступают между собой в кинематические пары и образуют кинематические цепи. Указано, что элементы могут быть твердыми, а также меняющими форму, работающими на сжатие или на растяжение.

Строительный анализ рассматривает кинематические цепи, при этом цепи могут состоять из групп. Подчеркивается, что строительный анализ является важнейшей частью учения о конструировании или о сооружении машин.

Третий вид анализа – это теория привода или теория механизмов. Она показывает, как кинематические цепи используются для производства движения. Этот третий вид анализа образует прикладную кинематику. Один из ее результатов – это то, что число механизмов или приводов ограничено. Это упрощает дальнейшее рассмотрение. Ибо если ранее мы имели дело с бесконечно большим числом задач, то теперь эти последние размещаются в ряд ясно высказанных решений, которые имеют общее упорядочение в соответствии с рассматриваемыми частями, хотя эти последние и относятся к различным областям техники.

Анализ привода обеспечивает надежный путь для выявления четырех различных определений тех частей, которые образуют

¹³⁸ *Reuleaux F. Lehrbch der Kinematik. Bd. II. S. 713.*

¹³⁹ *Vgl. d. S. 716.*

группы элементарных пар, представляющие: управление, удержание, ведение, формообразование.

Рело пишет, что эту классификацию он ранее уже использовал в четвертом издании своего «Конструктора», не высказав, правда, но уже думая о том, что эта классификация пригодится для кинематики. Еще в начале столетия установили, что самое важное в механизмах есть преобразование движений. Но в течение всего столетия, когда машиностроение бурно развивалось, практические машиностроители считали, что кинематика пригодна лишь для ограниченного числа случаев.

Таким образом, Рело предполагает создать кинематическую теорию машин—орудий, которая была бы логическим продолжением и завершением его кинематики. Действительно, любая машина на холостом ходу представляет собой разомкнутую кинематическую цепь большей или меньшей сложности. Включение машины на нагрузку является в таком случае замыканием кинематической цепи, и мы получаем структуру, которая принципиально ничем не отличается от какой-либо простой замкнутой цепи, например от шарнирного четырехзвенника.

Представляется, что эта идея Рело, высказанная им между прочим и не поддержанная дальнейшими исследованиями, заслуживает того, чтобы над ней задуматься: она полностью перекрывает кинематическую сущность машины. К сожалению, ни Рело, ни его ближайшие последователи не поддержали и не развили этой мысли: в течение следующих 20 лет машиноведы больше интересовались вопросами динамики и кинестатики, чем кинематики.

На этом изложение учения о принужденном движении заканчивается. Доказывается, что использование кинематических моделей является очень важным и приводит к хорошим результатам.

Раздел третий. Краткий третий отдел монографии озаглавлен «*Кинематика в животном царстве*». И это не было случайным. Если на протяжении трех четвертей века авторы руководств по прикладной механике стремились исследовать силу человека и животных как источник энергии, то к концу века, в связи с ростом энерговооруженности человека, вопрос о человеке и животном как источнике физической силы полностью потерял свою актуальность. Наоборот, актуальность приобретает кинематика живого организма, поскольку капитализм на высшей стадии своего развития рассматривает работника как машину, от которой необходимо получить наибольшее полезное действие. Исследование

Рело посвящено именно этому вопросу, но как большой ученый он и здесь ищет подтверждения своих идей и таким образом закладывает основы важного раздела теории механизмов, получившего развитие уже в наши дни в теории структуры манипуляторов и роботов.

Рело пишет: «Здесь я только отчасти обращаюсь к инженерам, а в основном, к физиологам. Современные инженеры вообще не интересуются кинематикой движений живых организмов. Но можно показать, что течение крови в сосудах и другие явления в теле полностью соответствуют законам механики»¹⁴⁰.

Рело показал, что движения мускулов являются сродни движениям частей машин, а движения сочленений полностью соответствуют теории кинематических пар.

Для специалиста в области кинематики ознакомление с кинематикой живых организмов является весьма полезным, даже если эта последняя и не особенно интересует его.

Третья часть монографии состоит всего лишь из десяти параграфов, 54 страниц и является, по словам Рело, предварительным очерком с указанием соответствующих примеров.

Эта часть начинается с параграфа (§117), озаглавленного «Принужденное движение у живых существ».

Законы принужденного движения действительно для всех механизмов. Эти законы являются одновременно механическими и геометрическими. Они механические, так как на их части действуют силы, передаваемые их звеньями; геометрические, или, точнее, они относятся к геометрии (т.е. форономии), благодаря формам и взаимным движениям соприкасающихся тел, образующих машину. Движения в телах животных также зависят от форм и возможности сопротивления соответствующих органов. Следовательно, здесь также должны иметь место законы принужденного движения. Исследование в этих случаях проводилось только в общих чертах, причем только в отдельных случаях.

Совершенно очевидно, что поставленные здесь вопросы требуют всестороннего и полного освещения. Однако разносторонность этих вопросов так велика, что она принуждает использовать обычные подразделения, чтобы облегчить обозрение. Это приводит к тому, что исследование различных частей приходится проводить независимо друг от друга. «Здесь наука о построении частично смешивает соответствующие границы, частично приводит к широким обозрениям. Здесь мы не будем использовать

¹⁴⁰ *Reuleaux F. Lehrbuch der Kinematik. Bd. II. S. 723.*

классические ограничения, поскольку дело идет о вещах, которые общи всем обладателям членов. При этом мы кратко осветим некоторые аспекты, с помощью которых создаваемые человеком машины смогут облегчить взгляд на деятельность «природных элементов»¹⁴¹.

Представляется, что с точки зрения механики в первую очередь нужно изучать суставы. Но при ближайшем рассмотрении, нам встретятся не только полости с их жидким содержанием, но также придется учитывать и то, что «снаряжение» животных состоит из твердых частей, работающих на растяжение и на сжатие, а также из цепочек, состоящих из многих элементов. При этом части эти полностью соответствуют звеньям кинематических цепей, которые не только подобны машинным, но прямо совпадают с ними. Поэтому здесь также действуют кинематические законы.

Кажется, что образовалось некоторое взаимопонимание между науками «познания» и науками «творения» (созидания). Исследования проводятся в пограничной области между этими группами наук. В связи с этим, пишет Рело, в Дармштадской высшей технической школе была объявлена премия за написание работы о суставных движениях краба. В программах на 1891/93 и 1893/94 учебные годы стояло: «следует описать сочленения ног краба и по крайней мере для одной пары установить в каких плоскостях движутся отдельные сочленения. Найти также пути, которые описываются концами “ног” при закрепленном базовом элементе. Следует также изучить движения в природных условиях»¹⁴².

Еще Видлис в 1841г. в своем труде «Принципы механизма» обратил внимание на эту задачу. Несколько его очень хороших замечаний, сделанных по этому поводу, были приведены без всякого изменения Лабулэ в его «Кинематике». Теперь в премированной работе приведены выполненные изменения: из них мы впервые узнаем, как краб пользуется своими органами и как их устройство соответствует его жизненным потребностям. Однако очень мало написано о строении самого сустава, по-видимому, при составлении вопросника по теме это не было предусмотрено. Но для нас именно это очень важно. Вообще для понимания принужденности движения в теле животного знание сустава имеет чрезвычайную важность.

Исследования в этом направлении, в особенности над позвоночными животными, сталкиваются с большим количеством затруднений. С одной стороны, это свойственная позвоночным

¹⁴¹ Vgl. d. S. 723–724.

¹⁴² Vgl. d. S. 724.

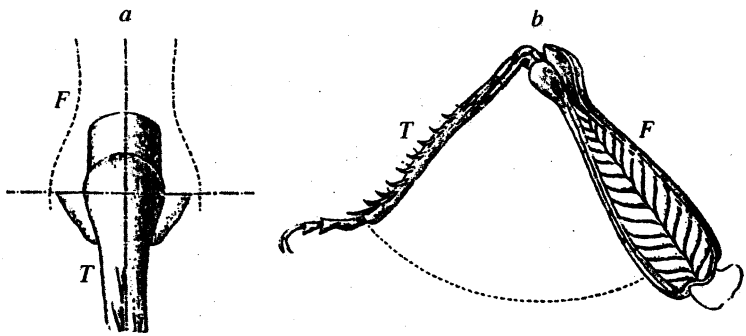


Рис. 109

большая степень свободы их органов, которые осуществляют движения по воле животного при помощи мощного «вооружения». Так, человеческая рука имеет 40 мускулов. С другой стороны, суставы позвоночных имеют узкую форму, внутри которой лежит остов, окруженный массой органа. Как то, так и другое имеют трудно понимаемые формы, и поэтому возникает много противоречий.

Совершенно иначе и значительно легче обстоит дело с теми животными, у которых опора сустава находится во вне. Это — раки, различные моллюски в раковине, насекомые, а также некоторые рыбы. У этих существ с внешним расположением костей, кинематические опоры в суставах естественно расположены в местах, находящихся отдаленно одни от других, и поэтому требуют лишь немного помощи от связей, чтобы придти в действие. Другими словами, вместо силового замыкания получается замыкание в паре. Так происходит у подобных существ чаще, чем у позвоночных.

В качестве примера можно привести «коленный» сустав на ноге саранчи и у ее «родственников» (рис. 109) по сравнению со вторым и третьим суставом человеческого пальца (рис. 110), чтобы сразу обнаружить различие. Лезвиеподобная опора «ноги» саранчи (часть «Т» на рис. 109) подобна цапфе балансира, построенного с длинной осью. Ее концы выступают далеко и опираются на также далеко расположенную вилку на бедре насекомого. Они соединены легкой связью. Мощные мускулы, расположенные в трубке ноги, связывают ее с частью «F» и обеспечивают замыкание. На суставе пальца человека все это расположено совершенно иначе — опора находится внутри.



Рис. 110

Поэтому очень мощные боковые связи являются необходимыми. Единственное сравнимое место на человеческом теле с опорами, расположенными далеко одна от другой, находится на нижней челюсти. Строение, подобное ноге саранчи, свойственно многим другим суставам тел насекомых. Предотвращение ненужных движений происходит у них более простым способом, чем у позвоночных.

Способы движений существ с внешним расположением костей, в частности, у жуков, были отлично исследованы и привели к важным выводам. К несчастью рано умерший Витус Грабер в двух работах¹⁴³, «Насекомые» (Мюнхен, 1877) и «Внешние механические орудия позвоночных и беспозвоночных животных» (Лейпциг, 1886), адресованных широким кругам читателей, представил строение членов насекомых в превосходном изложении, основанном на его собственных исследованиях. Описание насекомых дал также Брем и другие авторы, они детально описывают насекомых, но совершенно не интересуются суставами.

До сих пор при исследовании механизма сочленений животных пользовались только законом рычага. Грабер в своих сочинениях также использует правило рычага первого и третьего рода, считая это правило теоретической основой механики, и попадает в связи с этим, не замечая этого, в беспомощное состояние.

Знакомство с кинематикой, напротив, помогает преодолеть все затруднения. С помощью кинематики анатом сможет рассматривать составляющие сустава не по одиночке, как части соответствующих костей, а как кинематическую пару. В особенности отчетливо, кинематическая простота строения сочленений наблюдается у тех животных, кости которых расположены внешним образом. Суставы таких животных в большинстве своем являются моделью истинно принужденного движения. Их мускулы при этом не имеют такого богатства действия сил, как это свойственно позвоночным. Кроме того, существа с внешним расположением костей обеспечивают специалисту-кинематику наблюдения в живой природе закона принужденного движения. Учение о машинах может помочь в пояснении действия органов насекомых.

Параграф 118 носит название «Простые суставы тел животных, покрытых кожей».

Движения суставов тел животных являются такими же, как и соответствующие движения в машине. Это происходит потому, что в обоих случаях дело идет о получаемом движении, и потому,

¹⁴³ Vgl. d. S. 727.

что при этом используются аналогичные средства. Это соответствие идет дальше, чем можно предположить, но все же существует и ограничение этого подобия, ибо элементарные пары в теле животных не имеют одинакового вращения обоих входящих в пару звеньев. Низшая вращательная пара, применяемая в машинах, очень часто встречается в суставах животных. Анато-

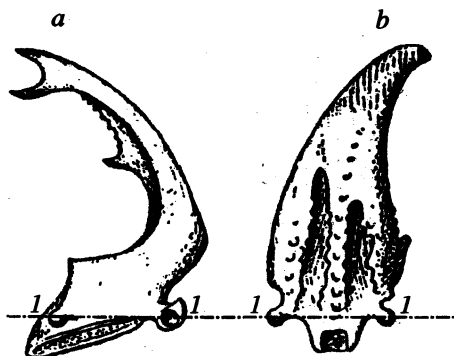


Рис. 111

мы называют ее угловым суставом, или цилиндрическим суставом, а иногда шарнирным суставом. Следует подчеркнуть, что форма вращающихся тел может быть самой различной, не теряя при этом свойств пары. Следует все же смотреть, происходит ли замыкание элементов пары под углом по отношению к оси или вдоль оси. Два жестко связанных конуса с совпадающими осями образуют лишь одно тело вращения. Если же части полого конуса жестко связаны между собой, то они образуют одно полое тело и составляют с твердым конусом цилиндрическую пару в качестве сустава.

Рога рогатого жука вращаются на своем основании с конусообразной цапфой в полем конусообразном подшипнике, а на верхнем основании, наоборот, с полым конусообразным шипом на конусообразной цапфе (рис. 111). В обоих случаях это конусообразные суставы, но кинематически они являются двумя частями одного цилиндрического сустава. Они дают возможность вращения около одной, проходящей через вершины конусов, оси. Перемена между полным и полым телом в одном и том же суставе обычна для покрытых кожей существ. Бывает также, что вращающийся элемент сустава состоит из шара и конуса или из

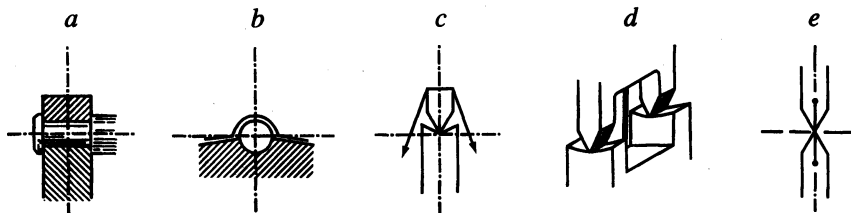


Рис. 112

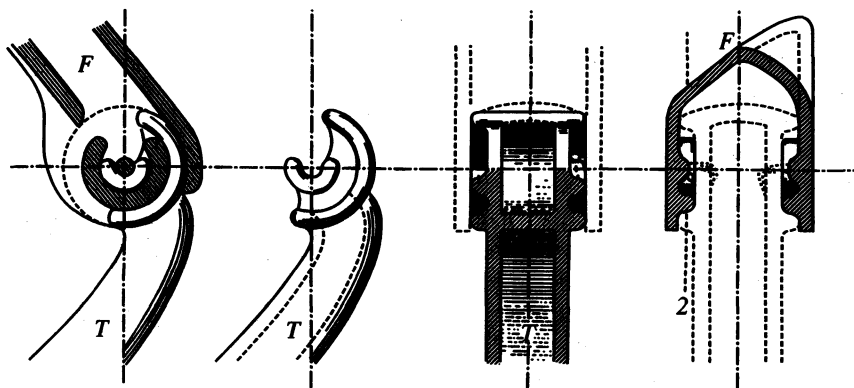


Рис. 113

шара и коноида (на рис. 112 показаны различные виды таких сочетаний). Понимание кинематической сущности очень помогло бы анатомам.

В машиностроении вращательные пары применяются в различных формах. В теле животных наблюдаются иные решения, которые возможны также в машинной практике. Одна из них, очень известная, это «режущая пара с двумя лентами и мускулами, которые действуют по сторонам» (см. случай «с» на рис. 112). Пара замыкается растягивающими усилиями. Другая пара показана на фигуре «d», в которой разрез по оси разделен на две части, а замыкающая связь действует посередине. Это – случай «коленного сустава саранчи», разобранный выше. На рис. «е» показан третий случай, когда оба конца направлены друг против друга, а связь направлена по их общей оси.

В качестве примеров Рело исследует суставы ног лангуста и некоторых других животных¹⁴⁴. Он рассматривает ноги жуков и указывает, что с кинематической точки зрения они дают важные формы суставов. Так, на рис. 113 показан вид коленного сочленения. Рядом показано подобное сочленение в механическом исполнении. Этот полулунный сустав до сих пор не изучался. Связки, мускулы и нервы проходят через кольцевое сечение. Следует отметить, что восемь соприкасающихся поверхностей (по четыре в каждом элементе) являются строго коаксиальными. Входящие в кинематическую пару элементы крепко связаны между собой. Таким образом, природа в этом случае нашла самое правильное, с точки зрения техники, решение. По сравнению с искусственным

¹⁴⁴ *Reuleaux F. Lehrbuch der Kinematik. Bd. II. S. 732.*

суставом, естественный сустав колена жука оказывается значительно лучше. «Мне пришлось изучить строение этого сустава у очень большого числа особей, — пишет Рело, — и их строение почти одинаковое у всех. Можно сказать, что оно повторяется много миллиардов раз с одной и той же точностью. Таким образом, сустав представляет собой нечто иное, чем цилиндрическую пару, ограниченную в своей угловой подвижности до 90° . При этом движение обеспечивается также высокой степенью гладкости соприкасающихся поверхностей кинематической пары животного происхождения. Имеется также естественная смазка»¹⁴⁵.

Шесть ног жука верхними концами сочленены с «бедрами». Очень часто, даже в большинстве случаев, эти «бедрала» не состоят, как у других насекомых, из одного элемента, но являются состоящими из двух элементов кинематической цепи, из которых один связан с коленом, а другой сочленен с «подшипником» в теле жука. Следует отметить, что получаемая здесь кинематическая цепь является незамкнутой. При этом можно двухэлементный член назвать «бедром». Следовательно, под этим названием у насекомых понимается малая часть тела, кинематическая пара, говоря языком кинематики.

Элемент, составляющий бедро у жуков, устроен у разных видов особей по-разному. Чаще всего он имеет круглую форму и всей длиной сочленен с вращающимися поверхностями в теле жука, под хитиновой оболочкой тела, поэтому он имеет строго однозначное вращение около своей геометрической оси на определенный угол. Структура ноги жука показана на рис. 114. Что особенно поражает при рассмотрении структуры ноги жука, это то, что все части вращаются с геометрической точностью, вращение происходит в суставах с минимальным трением, что напоминает трение в стеклянных, или сооруженных из драгоценных камней, подшипниках. Как показали последние исследования, такая точность в суставах позвоночных отсутствует.

В следующем параграфе Рело рассматривает третью часть бедра жука. Интересно наблюдение относительно структуры ноги жука: третья часть бедра устроена иначе, чем первая и вторая

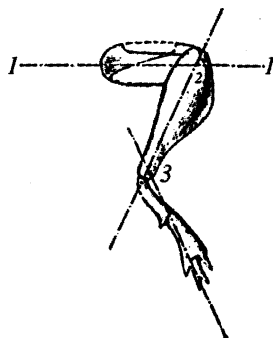


Рис. 114

¹⁴⁵ Vgl. d. S. 736.

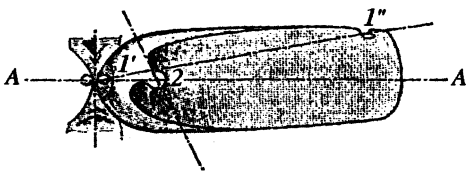


Рис. 115

вогнута и сочленяется со сферической поверхностью элемента пары ноги, а во-вторых, на своем переднем крае имеет цапфу (см. узел «1'» на рис. 115). Поэтому элемент бедра имеет угловое движение, но не около оси «АА», а около оси «1'-1''». Эта странная структура должна быть анатомически исследована для того, чтобы понять ее назначение.

Далее следует анализ иных суставов тел животных. К замыкаемым парам принадлежит также винтовая пара. Еще Людвиг Фикк обнаружил винтовую форму сустава позвоночных, составленную винтовым шпинделем и винтовой гайкой, хотя он, как и другие исследователи, еще не знает понятия пары. Ибо винт без своего партнера – винтовой гайки не может образовать пару для построения сустава. В частности, в теле жука природа создала настоящую замыкающуюся, весьма точно сформированную винтовую пару. Рело подчеркивает, что ее нельзя считать тем образцом, по которому была создана кинематическая винтовая пара, по причине ее чрезвычайно малых размеров, наоборот, она оставалась до самого последнего времени незамеченной. Соответствующий сустав жука показан на рис. 116. Наибольших размеров винтовая

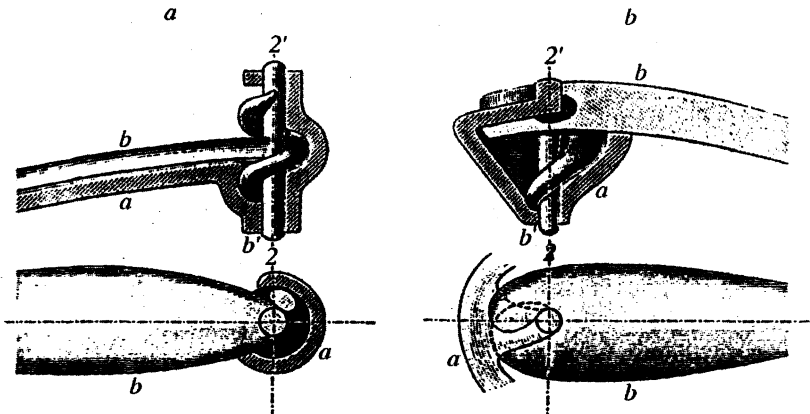


Рис. 116

пара в сочленении беда с ногой достигает у жука-голиафа. Рело отмечает, что у голиафа, и у некоторых других жуков, все три сустава на левой ноге имеют правую «нарезку», на правой-левую «нарезку», а у жука-оленья первая передняя пара ног имеет слева левую «нарезку», а обе других пары – правую «нарезку». Подобное различие наблюдается также у других видов жуков. Отмечается также, что ни при каком движении не происходит размывания подобной пары, «винт» никогда не выходит из «гайки». Даже в случае мертвых жуков (находившихся длительное время в коллекции), может оборваться соответствующий мускул, но пара остается в нормальном состоянии.

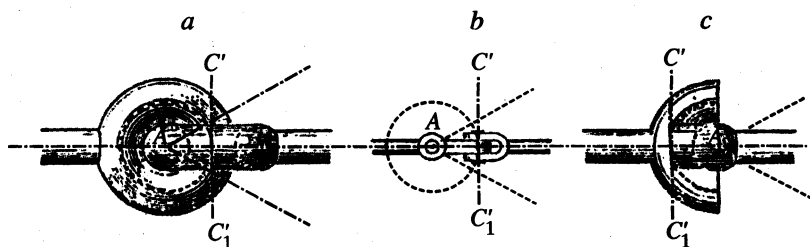


Рис. 117

Что касается сферического сустава, характерного для позвоночных, то он допускает вращения около трех пересекающихся осей. Подобный сустав наблюдается у жуков в сочленениях грудного щитка с туловищем насекомого. Они допускают малые передвижения обеих этих частей тела друг относительно друга. Если сферический шарнир имеет не три, а лишь два вращения, то соответствующая пара образует глобоидальный сустав, допускающий два вращения около двух осей, пересекающихся под прямым углом (рис. 117). Рело не нашел подобных суставов у жуков, но отмечает, что таковой является связь первой фаланги человеческого пальца. Особенно важно это движение на больших пальцах рук. Общепринятое название этого сустава – «седловой» сустав, но это не совсем соответствует истине: глобоидальные «седловые» суставы являются не низшими, а высшими кинематическими парами.

Роликовая пара наблюдается на суставе, связывающем хвост омара с его панцирем. Ролик катится по хотя и искривленной, но ограниченной плоскости направляющей. При этом ролик всеми своими точками описывает относительно грудного панциря ортоциклоиды. Панцирь, соответственно, описывает относительно ролика круговые эвольвенты или циклоортоиды.

Далее следует очень важный раздел: «Механический привод в телах животных»¹⁴⁶.

До сих пор рассматривались только кинематические пары, имеющиеся в телах животных. Теперь следует перейти к рассмотрению механизмов. Четыре способа анализа действий механизмов, которые рассматривались выше, были обозначены следующими понятиями: «направление», или «ведение» (Leitung); «сохранение», или «стопорение» (Haltung); «привод», или «понуждение» (Treibung) и «формообразование» (Gestaltung). Они могут быть обнаружены и в телах животных. Они используются здесь для различия соответствующих «механизмов». Естественно, что они получают тут не такие различия, которые наблюдаются в искусственных механизмах. Также во многих случаях, различие заключается в том, что твердые элементы в телах животных, оказывается, обладают меньшей сопротивляемостью, чем соответствующие элементы в машине. Все же приближенно можно считать, что те же понятия применимы и в кинематике живых организмов.

Вот некоторые примеры «ведения» по определенным путям и местам.

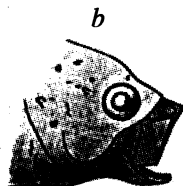
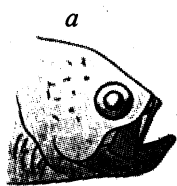


Рис. 118

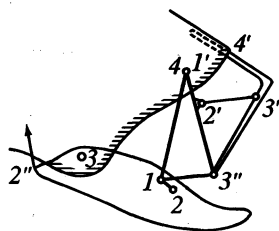


Рис. 119

Первый пример – некоторые рыбы, имеющие в области рта кинематическое устройство, которое они охотятся своеобразное «ловильное» приспособление, используя это приспособление, чтобы выдвигаться, состоит из связанных между собой с помощью суставов твердых костей или плоских звеньев и связанной с ними кожаной сумки. На рис. 118 изображена голова рыбы с «ловильным» приспособлением, а на рис. 119 – кинематическая схема этого приспособления. Рело разбирает этот механизм с точки зрения кинематики и находит его аналог, но существенно меньше и проще и у других рыб, в частности у обычного карпа. В качестве

¹⁴⁶ Reuleaux F. Lehrbuch der Kinematik. Bd. II. S. 747.



Рис. 120

третьего примера «ведения» Рело приводит механизм выброса когтя у кошек (рис. 120). Этот же механизм свойствен всему семейству кошек – львам, тиграм пантерам и др. В нужный момент коготь, спрятанный в области пальца, выбрасывается. Кинематически это – шарнирный механизм.

Четвертый пример – замечательное устройство принужденного «ведения», действующего при помощи силового замыкания, так называемый «лабиринт» в механизме слуха позвоночных животных. Он состоит, как показано на рис. 121, из трех полых колец, связанных между собой. Они находятся в массе кости в трех координатных плоскостях; это устройство служит измерителем наклона. Благодаря тому, что трубки лабиринта содержат жидкость, он служит для определения поворотов головы в качестве уровня. По словам Рело, действие «лабиринта» изучено в недостаточной степени.

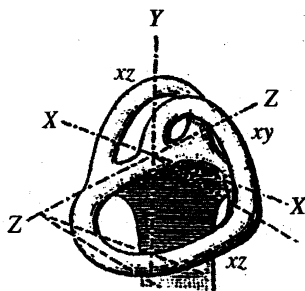


Рис. 121

В § 122 обсуждается механическое «останавливание» в телах животных. Подобно тому как в любой машине, тело животных включает «останавливание», т.е. приспособления для собирания и соответственного использования трудоспособности, что очень часто наблюдается в органах питания любого животного. Через питание животное получает ту энергию, которая может быть израсходована на внешние причины, а также на нужды самого тела. Таким образом, питание преобразуется в энергию для внешней и внутренней работы. Кроме того, некоторые животные обладают и особенными приспособлениями для производства нужной работы. Например, паук выбрасывает нить и плетет сеть. Паук в этом случае из продуктов питания вырабатывает материал для производства нити и ткани паутины, хотя это, в сущности, относится уже к «формообразованию».

Далее идет рассмотрение кинематического привода в теле животных. Рело напоминает, что в состав машин могут входить ме-

ханизмы шести видов: 1) винтовой привод, 2) роликовый привод, 3) шарнирный привод, 4) кулачковый механизм, 5) колесный привод и 6) тормозной привод, но не все они встречаются в животном мире.

С одной стороны, цели природных машин заключаются преимущественно в сохранении самих себя, но с другой стороны в основном потому, что такая форма движения, как «поступательное вращение», у природных сочленений элементов исключена. Поэтому любое приведение в движение внутри животного сводится к движению «вперед–назад». Мы не раз встречали подобную искусственную винтовую пару в природных машинах, но ни разу состоящую хотя бы из трех звеньев, действующую в закрытой цепи винтовую передачу, которая, как мы могли убедиться выше, так широко распространена и важна в машиностроении (§ 55 и далее). Его наличие в теле животного также совсем невероятно; винтовые пары, о которых идет речь, служат, кроме того, не для перемещения вперед, а только для обеспечения поворота под углом, который редко превышает 90° .

Зубчатая передача, как предназначенная, в первую очередь, для поступательного вращения (поворота), в теле животного также не встречается. Иначе обстоит дело с кривошипно-шатунным механизмом, с которым мы сталкивались ранее (§ 121); он нередко используется в теле животного для возвратно-поступательных движений.

Весьма любопытный пример представляет собой схематическое изображение птичьего клюва (рис. 122). Особенность этого клюва заключается в том, что верхняя и нижняя челюсти одновременно двигаются в противоположном направлении от черепа. На рис. 122 «а» клюв закрыт, на рис. 122 «б» собирается открываться. Явно узнаваемый кривошипно-шатунный механизм поднимает верхнюю челюсть, как только нижняя челюсть опускается вниз; происходит это за счет мышцы, которая касается выступа нижней челюсти при 5'. Нижняя челюсть несет на себе привод 2.3'1, который представляет собой «вращающийся кривошипно-

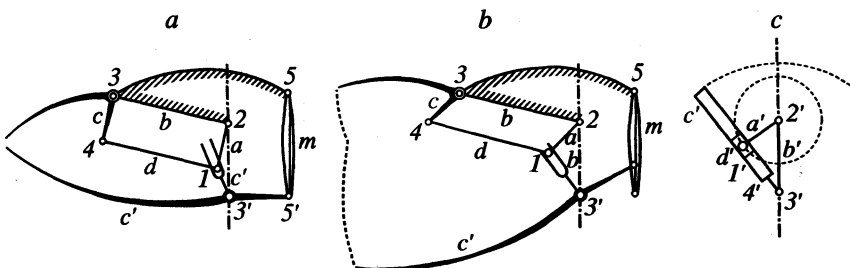


Рис. 122

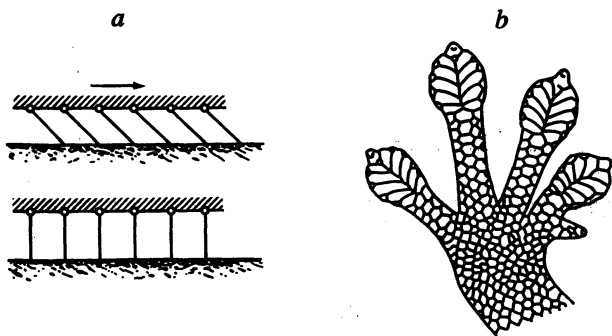


Рис. 123

кулисный механизм» с сокращаемым звеном «d» (рис. 122 «с»). Эластичные связки закрывают клюв, когда прекращается растягивающее движение мышцы. Звено «a» или «a'» в анатомии называется «квадратная кость», «d» – скуловая кость, «с» – носовая кость. В целом механизм состоит из трех, дважды повторяющихся, цепей, постоянно взаимодействующих друг с другом.

Многочисленные другие применения подобных цепей представляют собой механизмы для движения крыльев насекомых. Один из особенно примечательных примеров кривошипно-шатунного механизма расположен в сосущей и прилипающей лапке некоторых насекомых, в данном случае – гекко, знаменитой ящерицы, обитающей на Средиземноморском побережье. Пятипалые лапки этого зверька, уверенно бегающего по стенам и потолкам комнат, касаются поверхности с помощью параллельных, тонких листков наружного покрова, схематически представленные на рис. 123 и обозначенные буквой «a», которые образуют «бугорки» пальцев лапок. Как только они занимают наклонное положение, они с помощью мышечной тяги растопыриваются, за счет чего расположенные между ними камеры увеличиваются, создавая внутри них заметное разрежение воздуха, благодаря которому лапки «липнут» к стене (рис 123 «b»). Листочки образуют с подошвой, которая к ним прилипает сочленением связок, параллельные кривошипы, такие же, как изображенные на рис. 124. За поверхность листочка, по которой бежит ящерица, лапки цепляются с помощью тонких волосков. Недавно Г. Торнир¹⁴⁷, дополняя уже известное, доказал, что гекконы имеют также на кончике хвоста довольно большой участок для сцепления с по-

¹⁴⁷ В данном разделе Рело цитирует работы зоологов и физиологов, например, Г. Торнира, С. Грабера и др.

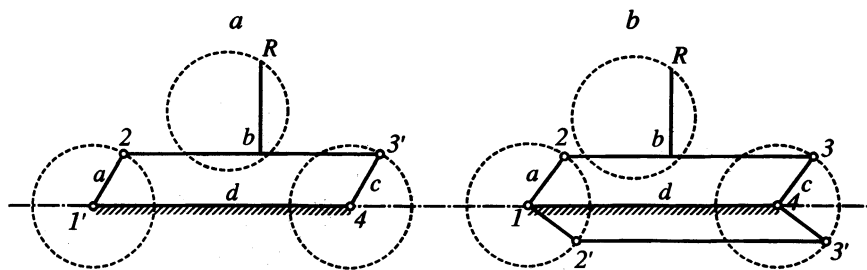


Рис. 124

верхностью, который устроен примерно по такому же принципу, что и лапки. Именно он помогает ящерице, когда она спускается вниз по стене.

Далее Рело рассматривает стопорные механизмы в организме животных (§ 124). Стопорные механизмы в организме животных можно встретить в бесчисленном множестве и, в частности, как сформированные из неподвижных элементов, так и предназначенные для механизмов с движением жидкостей.

Сначала анализируются стопорные механизмы из неподвижных элементов. В качестве примера Рело рассматривает устройство крыльев жука «голиафа». «Тело жуков богато также разнообразными стопорными механизмами. Животное нуждается в них в первую очередь для защиты своего тела от нападения птиц. Жесткие надкрылья образуют панцирь. На нем находятся два стопорных механизма. Первый механизм, о чем можно судить, посмотрев на внешний вид жука, состоит в том, что сложенные вместе надкрылья или верхние крылья, имеют не равностороннюю или симметричную форму, а заходят друг в друга, образуя фальц, иногда просто как две створки окна, иногда это может быть также двойной фальц (рис. 125)¹⁴⁸.

Вид сверху закрытых надкрыльев показан на 125 «b». Мы можем сравнить его с «общим» строением стопорного механизма в состоянии покоя (рис. 126); надкрылья представляют собой звенья «a» и «b», тело – звено «с». Шарниры 1 и 3, вокруг которых надкрылья поворачиваются при взлете, представляют собой шарниры с замыканием на связки и при этом слегка подвижные. Фиксация фальцем 2 удивительно прочна и надежна. Отделенная пара надкрыльев расчлененного голиафа (именно такая представлена на рис. 125 «b»), когда фальцы входят друг в друга, крепко держится вместе, если взять за одно крыло. То же наблюдается у жука-олени.

¹⁴⁸ Reuleaux F. Lehrbuch der Kinematik. Bd. II. S. 755.

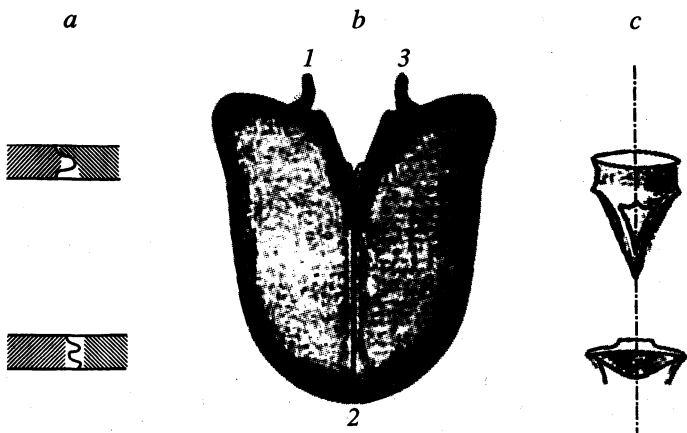


Рис. 125

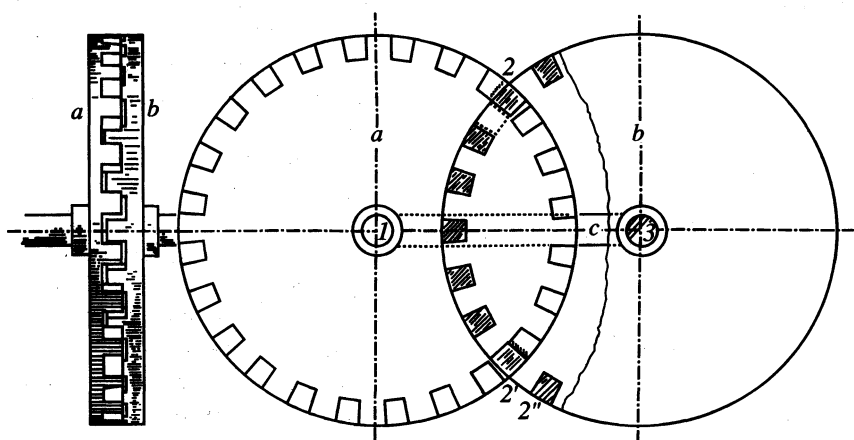


Рис. 126

Второй фиксатор для верхнего крыла «голиафа» образует с ними так называемый щиток (scutellum), изображенный на рис. 125 «с». Под его края заходят покровы непосредственно перед тем, как занять окончательное положение. На рис. 125 «b» внизу в верхушке угла видны две перепоночки, с которыми это происходит; в других случаях – это клиновидное заострение, которое заходит под низ. Щиток, который дальше вперед прочно закреплен, своей заостренной поверхностью выступает как свободно несущая плоскость над накрытой площадью, которая нередко имеет глянцевую полированную поверхность; это может указывать на пружинящее действие щитка. Строго говоря, зацепление

щитка – это кусочек шарнира 1 или 3, который обеспечивает заключительный, точный захват, как говорилось, несколько пружинящих шарнирных соединений. Так щиток образует своего рода замок для надкрыльев, после чего жук поднять их уже не может.

Если щиток не используется, то он, согласно наблюдениям за положением бездействия, утрачивает определенные отдельные части, чахнет, сморщивается и полностью отмирает, как у многих бегающих жуков (жужелиц) и других редко летающих жуков; такая постепенная деградация изменяет внешнюю форму щитка.

Третий фиксатор удерживает надкрылья в расправленном состоянии, при этом для того, чтобы крылья расправились, напряжение мышц не требуется, если жук летит. Здесь использован фиксатор из связок, которого в примерах в §87 и 88 не было. На схематическом рисунке рис. 127 1.а – это надкрылье, а 2.3 и 2.4 – эластичные связки. При положении 1.3.2.4 плечо рычага напряжения 2.3 настолько больше, чем таковое напряжение 2.4, что

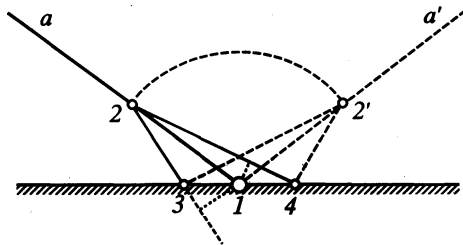


Рис. 127

надкрылье удерживается в положении 1.а. Для положения 1.а' действительно обратное.

Интересен пример натяжного механизма у жука-щелкуна. Рело пишет: «Весьма примечательный фиксатор можно найти на теле щелкунов (Elater). У этой разновидности жуков, самым крупным представи-

телем которой является светлячок (Cocijo), этот фиксатор выполняет роль натяжного механизма (см. § 90), с помощью которого жуку удастся взлететь из неудобного перевернутого положения»¹⁴⁹. Грудной щиток (Prosternum) и туловище (Mesosternum) соединены друг с другом шарниром, представляющим собой цилиндрическую пару (рис. 128). Вокруг оси последней беспомощно лежащий на спине жук крутит свою переднюю часть туловища (Prosternum), выворачивая ее в обратное положение.

Далее Рело приводит пример храповой передачи из эластичных элементов. «Жидкостные стопорные механизмы или клапаны в сосудах животного в основном относятся, так же как и предыдущие, к классу подвижных стопоров (фиксаторов), хотя статические стопы, которые могут стать причиной гибели больного организма, не

¹⁴⁹ Vgl. d. S. 757.

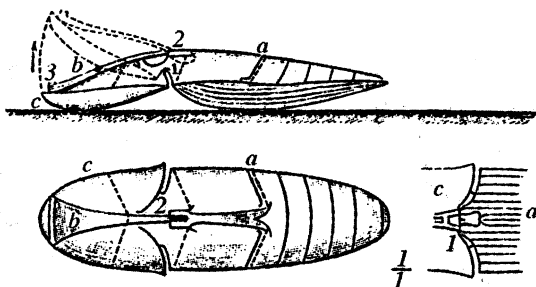


Рис. 128

могут быть исключены и в здоровых организмах. Выходы сужений или сфинктеры представляют собой обычно стопорные механизмы с силовым замыканием (см. § 32), задача которых заключается в противодействии давлению жидкостей путем напряжения мышц в сужении плавательного пузыря рыбы.

Согласно экспериментам Тило эластичные связки формируют сфинктер в самостоятельном действующем запорном механизме»¹⁵⁰. Преимущественной формой клапана внутри тела животного является кожистый, подвешенный с помощью связочного шарнира, т.е. полностью состоящий из тянущего элемента или трака, клапан. Наиболее важные примеры можно найти в сердце позвоночных животных; в нем есть клапаны двух форм: «створчатый» и «полулунный».

Сердце, которое изображено схематически на рис. 129, состоит, с кинематической точки зрения, из двух взаимодейству-

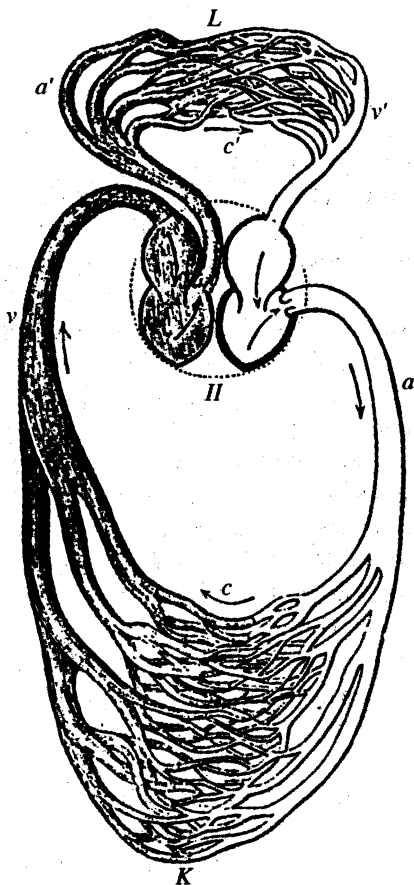


Рис. 129

¹⁵⁰ Vgl. d. S. 758–759.

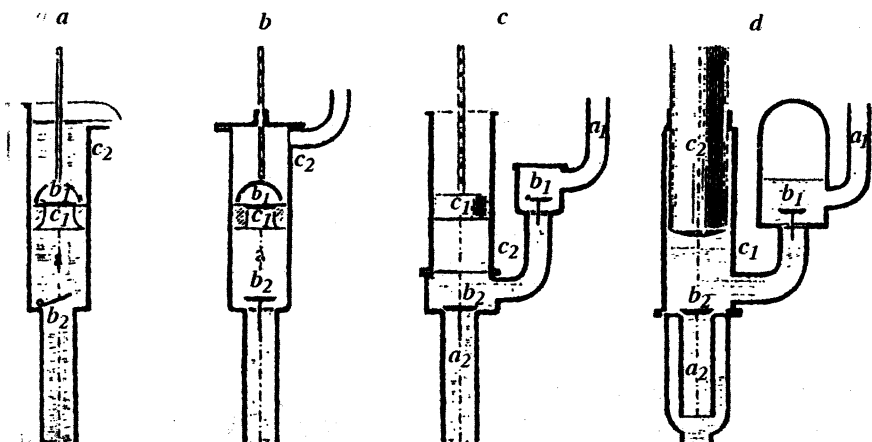


Рис. 130

ющих жидкостных включающих механизмов (см. § 94, рис. 130) или насосов, перекачивающих навстречу друг другу жидкость, и представляет собой своего рода спаренную насосную установку, в которой циркулирует кровь. С регулярными интервалами обе камеры сердца (желудочки), за счет работы мышц, непроизвольно сначала стягиваются вместе («систола») и затем расслабляются («диастола»). При сокращении кровь из камер выбрасывается в кровеносную систему, при расслаблении – кровь снова всасывается из сети.

«Кровоток проходит от левого желудочка к правому через низ и оттуда снова к левому желудочку через верх, совершая, таким образом, круг по сети (у человека примерно за 23 секунды). При этом он проходит по артериям (рис. 129 «а») к сети капилляров «К» всех частей тела, отдавая им кислород и поглощая углекислоту. После этого он прокачивается по венам «в» и сердцу «Н» в сосудистую сеть легких «Л», поглощая здесь свежий кислород и отдавая углекислоту и воду, и возвращается в исходное положение, подготовленный к новой питающей деятельности. Оба насоса, как ясно показано на рисунке, имеют всасывающий клапан и напорный или нагнетательный клапан.

Затрагивая вопрос о передвижении животных (§ 125), Рело замечает, что «на предыдущих страницах мы рассматривали естественные механизмы и кинематические цепочки только снаружи и внутри тела животного. Передвижение последнего, т.е. его отношение к локальному внешнему миру, мы затрагивали лишь поверхностно. Здесь же мы должны вкратце вернуться к этой теме,

так как речь пойдет о «приведении в движение» животного, а именно с помощью каких механизмов это происходит»¹⁵¹.

Все передвижения живущих в природе живых существ в мире, с которым он соприкасается, — рыб в воде, птиц или летающих насекомых в воздухе, ходящих, ползающих, прыгающих, бегающих по земле существ происходят за счет возвратно-поступательных движений частей тела, поскольку, как мы уже видели, поступательно-вращательные движения здесь исключаются. В этом заключается огромная разница между механическими средствами животных и машины, созданной человеком, разница, которую дилетанты очень часто просто не замечают, но которая также часто делает перенос от одного к другому невозможным.

Далее следует параграф, прямо не относящийся к кинематике, по весьма интересному вопросу, который занимал Рело. Он называется «Конструкции внутри тела животного и конструирование с помощью него».

«Как мы выше смогли убедиться (§ 104 и далее), определить, как деятельность машины повлияет на конструкцию и форму, можно лишь тогда, когда тело («заготовка» как звено или кинематическая деталь), которое необходимо сформировать, «войдет» в машину и станет принадлежать ей. Такое же определение понятия будет применяться и здесь. Если мы примем его за масштаб, то мы заметим, что лишь небольшое количество случаев как таковых будет приведено, в которых тело, организм животного влияет на конструкцию, ее форму принудительно»¹⁵².

В качестве примера в первую очередь следует назвать прядение нитей паутины, за ним следуют еще несколько видов выделения веществ из организма животного.

От этих конструкций следует полностью отделить те, которые животные производят своими конечностями на телах внешнего мира и которыми невозможно не восхищаться (в частности, у насекомых). Эти конструкции являются самыми оригинальными орудиями труда, «потому что, кто бы не изумился, увидев лапку паука (рис. 131), которой он сначала достает из запасника нить и расчесывает ее обеими лапками-расческами «а», а затем разглаживает острой пилочкой-щеточкой, и которые он бережет как драгоценный хрупкий инструмент, подгибая ее во время ходьбы и наступая на землю только ходячей лапкой «b»»¹⁵³. Сравнить эту деятельность животных можно непосредственно только с мане-

¹⁵¹ Reuleaux F. Lehrbuch der Kinematik, Bd. II. S. 763.

¹⁵² Vgl. d. S. 764.

¹⁵³ Vgl. d. S. 764.

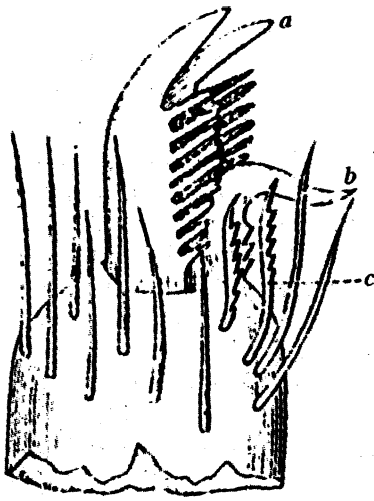


Рис. 131

рой поведения человека, который следует точно прописанному технологией образу действий. У животных можно почерпнуть всю полноту видов работ: для производства – как они устраивают свои жилища; для строительства – коконы для зимней спячки; для строительства и использования – камеры с запасами; для охоты – тактику поведения пауков; затем для устройства незрелого молодняка – как у скарабея с его бомбами удобрений или у пчелы-трубковертки (*Megochile*) с ее трубочками, свернутыми из кругло нарезанных кусочков листьев и и.д.

Сходство с нашей ручной работой разительно и очевидно, и проявляется оно и в том, что работа эта выполняется с соображением и с волей, которая выражается в самых разнообразных формах. Перед последними однообразные кинематические законы отступают абсолютно, как если бы это был ручной труд человека. Обычно эту деятельность описывают при изображении жизни различных классов животных. Обобщив этот опыт, можно было бы создать целое учение. Но это не была бы «технология», так как мы не можем творчеству одних животных научить других животных, наша задача сначала познакомиться и исследовать это творчество; т.е. это была бы «техногнозия» животного мира. И она могла бы быть наверняка полезной в силу общности, сходства определенных исходных моментов и сопоставимости. Но к кинематике это не относится.

Наконец, в параграфе 127 содержится рассуждение о мускульной силе.

Рело отмечает, что это бесконечно трудное исследование того, как кинетическая энергия, взятая в форме питательных веществ, преобразуется в работу, отдаваемую во вне, привело к мнению, что энергетическая машина животного являет собой пример богато расчлененной и эффективной химико-динамической машины. Эта машина действует по отношению к внешнему миру посредством мускул или мышц, которые, в свою очередь, приводятся в действие под работой нервов. То, что влияние нервов имеет элек-

трическую природу, четко доказывает наблюдение; работа же мускулов, напротив, все еще покрыта мраком.

«Однако большинство физиологов сходится во мнении, что предположительно “освобождение” кинетической энергии происходит в самой мышечной массе, в частности в ее клетках ткани, и происходит “как взрыв” или, как мы говорили в § 90, срабатывает как натяжной механизм. Процесс деятельности мышц кто-то сравнил с поджиганием заложенной взрывчатки на шахте (“выброс”, как говорят шахтеры) с помощью электричества, которое подается по проводу (в данном случае нерву) и производит мощное действие путем преобразования твердых веществ в газы в результате их расширения»¹⁵⁴.

В конце второго тома Рело приводит некоторое резюме. Завершенное исследование показало, что кинематика царит в животном мире в бесчисленных примерах. Вначале представлены кинематические элементарные пары, в большинстве низшие, но затем различные более высокие, в «шарнирах» животных. Наиболее часто встречается цилиндрическая пара, реже – призматическая; примечательно, что до сих пор ни разу не встретились точная винтовая пара на теле жуков. «Незакрытые», но весьма совершенные по конструкции цепи, можно обнаружить в конечностях; «закрытые» цепи, движимые силами, т.е. «механизмами», можно встретить также в значительном разнообразии видов. Самыми же распространенными, в результате, оказались такие замкнутые цепи, которые сохранились в природе в правильном, но не произвольном функционировании, те механизмы, которые порождаются самой жизнью. Итак, они представляют собой полноценные и ходячие природные машины и подчиняются, так же как и любая искусственно созданная машина, по своей рабочей конструкции законам кинематики, в частности, нашему определению понятия машины. Их классы не многочисленны. В основном это жидкостные механизмы включения (или поворота), работающие за счет ритмического сокращения мышц. По своим видам они достаточно разнообразны, а по исполнению – практически неисчислимы и в этом пункте бесконечно превосходят искусственные машины.

«Установленная в предыдущем повествовании конструктивная общность природных и искусственных машин ставит создание человека – машину как таковую на самостоятельное место. Машина – это создание человека, – не просто неотделима от при-

¹⁵⁴ *Reuleaux F. Lehrbuch der Kinematik. Bd. II. S. 765.*

роды, не говоря уже о том, что она не антагонистична ей, как это можно иногда слышать, но по законам строения своего тела находится в гармонии с природой. Нельзя также и делать вывод, это утверждают некоторые, что искусственные машины возникли в подражание природе. Потому что на протяжении тысяч лет человек делал и использовал машины, прежде чем он смог попытаться проникнуть в суть движения в животном мире. Но естествознание и наука о машине могут сегодня протянуть руки друг другу для совместного изучения еще не исследованных областей»¹⁵⁵.

Этот раздел второго тома, посвященный кинематике в животном мире, послужил как бы катализатором для целого научного направления: уже в первые годы XX века выходит серия работ О. Фишера, посвященных кинематике и динамике человеческого организма. Из них особенно заслуживают внимания две монографии¹⁵⁶.

Это направление, явившееся в сущности новой наукой, возникшей на стыке механики машин и физиологии, может служить одним из примеров характерной для XX века интеграции наук.

¹⁵⁵ Vgl. d. S. 777.

¹⁵⁶ Fischer O. Theoretische Grundlagen für eine Mechanik der lebenden Körper mit spezieller Anwendung auf den Menschen sowie auf einige Bewegungsvorgänge an Maschinen. Leipzig – Berlin, 1906; *idem*. Kinematik organischer Gelenke. Braunschweig, 1907.

Заключение

В конце XIX в. идеи кинематической геометрии были использованы немецкими учеными, создавшими свою школу теории машин и механизмов. Большую роль в этом сыграло учение Ф. Рело о кинематических цепях, которое явилось методологической предпосылкой слияния кинематической геометрии и теории механизмов, так как дало возможность представить механизм в виде некоторой геометрической фигуры с подвижными сторонами — звеньями.

Наука о машинах первых двух десятилетий XX в. представляет собой осторожные поиски решения некоторых задач механики машин, от учения Рело осталось лишь «самое существенное» — теория пар, над которой, впрочем, работали до него и одновременно с ним и которая отнюдь не была самой сильной стороной его учения. Ф. Виттенбауэр (1857—1927) писал по поводу колебаний между математическими и описательными методами в прикладной механике: «...Одно время переоценивали математические методы и недооценивали естественно-исторический характер задачи, что можно показать на одном определенном примере. Существует одна отрасль механики, называемая кинематикой. Под этим понимают геометрическое исследование движения некоторой системы в пространстве по отношению к требуемому для этого времени, в особенности тех систем технической практики, которые называются приводами. К этим приводам относятся, между прочим, управляющие приборы, которые, как известно, ставят перед изобретателями и инженерами-конструкторами самые сложные задачи. Поэтому в 70—80-х годах XIX столетия с огромным напряжением ожидали развития кинематики машин. Однако ожидаемый успех не получился: кинематика, которой вначале так восхищались, стремилась отвечать не на те вопросы, которые ей ставила практика, и сегодня из-за этого взаимного непонимания прекрасная по своей методике наука оказалась несостоятельной перед нуждами техники. Почему так произошло? Совершенно ясно, что пропустили то обстоятельство, что в машинной технике

имеют дело не с движущимися точками и плоскостями, а с весьма массивными телами, которые движутся не в фантазии исследователя, не требуя никакой тормозящей силы, а подчинены действию вполне реальных сил. Таким образом, кинематике ставили вопросы, на которые она не могла ответить: полагали, что можно обойтись чистой математикой, и забыли, что движение машины является естественно-научной задачей¹⁵⁷?

В последней четверти XIX вв. немецкой технической школе проявилась тенденция отрицания роли математики в деле подготовки инженера, о которой мы уже упоминали. В первом десятилетии XX в. разрыв между теоретическими и прикладными знаниями не только не уменьшился, а, наоборот, постоянно нарастал. Бурное развитие техники требовало от инженера умения принимать быстрые решения, и техническая школа учила этому, не вдаваясь в дебри теоретического исследования вопроса, т.е. опять-таки «на глазок», только на более высоком техническом уровне. Получилась своеобразная «диалектика» развития технической школы: в начале XIX в. производственными предприятиями руководили практики, в середине века – ученые техники, а в начале XX в. техническая школа начала выпускать обученных практиков, обладающих минимумом технической культуры. Виттенбауэр пишет: «В те годы усилился отрыв технического исследования от математических методов; интерес в инженерных кругах к теоретическим работам пропал...». И далее: «Следует отметить, что область исследования технической механики подчиняется и моде... Теперь исследователи преимущественно занимаются вопросами динамики, обусловленными некоторыми вытекающими из практики задачами. К этим новейшим вопросам динамики мы относим движение махового колеса, уравнивание масс, в особенности на корабельных машинах, движение волчка, все большую область колебаний, далее, ряд гидравлических вопросов и, наконец, самые современные – законы сопротивления воздуха и движения аэроплана. При исследовании всех этих вопросов становилось все яснее, что при помощи математики можно продвинуться лишь до определенных пределов»¹⁵⁸.

Значительные исследования в области теории кинематических пар и структуры механизмов принадлежат французскому механику Г. Кенигсу (1858–1931). Он был, несомненно, в определенной степени последователь и продолжатель Рело.

¹⁵⁷ *Wittenbauer F. Zukunft und Ziele der technischen Mechanik. Graz, 1911. S. 24.*

¹⁵⁸ *Vgl. d. S. 26–29.*

Он рассматривал пары как некоторые связи, наложенные на движение механизма, а теорию механизмов – как исследование связей в машинах. Учение о шарнирных механизмах он считал переходным от теоретической кинематики к общей теории механизмов. Основные положения теории механизмов Кенигса охватывают учение о кинематических парах и принципы структурного анализа механизмов. Часть этого исследования, посвященная кинематическим парам, была полностью перекрыта результатами П.О. Сомова и Х.И. Гохмана, которые разработали эту теорию гораздо глубже, не говоря уже о том, что их работы были опубликованы значительно раньше публикаций Кенигса.

На развитие кинематики механизмов в первые годы XX в. определенное влияние оказали классическая французская кинематика и техническая кинематика Рело.

Одновременно с В.Н. Лигиным и его учениками в Петербурге вопросы кинематики механизмов разрабатывали ученики П.Л. Чебышева. Наиболее существенным вкладом в науку о механизмах являются труды представителя Петербургской школы П.О. Сомова (1852–1919) (сына академика О.И. Сомова)¹⁵⁹.

П.О. Сомова всегда отличали глубокое понимание сущности проблемы и строгий математический подход к ее решению. Так и в данном случае ученый исходил из главного значения теории Ф. Рело, которая *«приводит не только к естественной классификации механизмов, но и дает возможность теории механизмов развиваться строго научным путем, по одному общему плану, а не путем случайных изобретений тех или других механизмов»*¹⁶⁰. (Выделено нами. – Авт.). Следовательно, делал вывод Сомов, и приемы их исследования должны быть общими, пригодными для любых механизмов.

П.О. Сомов начал с уточнения определения механизма у Ф. Рело. «Мы будем...называть механизмом такую кинематическую цепь, – писал он, – в которой каждая точка описывает определенную траекторию, если один из членов цепи будет закреплен неподвижно, т.е. такую цепь, в которой ни один из членов не имеет более одной степени свободы»¹⁶¹. Отсюда, указывал ученый, и путь к решению: «Определение числа степеней свободы кинематической цепи должно играть основную роль при решении вопро-

¹⁵⁹См. обстоятельную книгу Л.Д. Ледневой «Павел Осипович Сомов». М.: Наука. 1989 // Отв. ред. чл.-корр. АН УССР А.Н. Боголюбов.

¹⁶⁰Сомов П.О. О степенях свободы кинематической цепи // Журн. Рус. физ.-хим. о-ва. Отд.-ние 1. Физика. Т. 9. С. 443.

¹⁶¹Там же.

са о том, насколько будет определено движение каждого члена цепи, т.е. может ли данная цепь служить механизмом или нет»¹⁶². Анализируя неточности Рело, Сомов подчеркивал, что «если не иметь в виду изучение геометрических свойств движения различных членов кинематической цепи, траекторий их точек и т.п.», то для решения вопроса о структуре механизмов не столь существенно определение вида поверхностей или кривых линий, на которых происходит соприкосновение членов цепи, «сколь важен вопрос о подсчете числа степеней свободы, которые эти члены имеют один по отношению к другому».

Таким образом, глубокое понимание сущности определения механизма позволило ему создать общий метод изучения структуры механизмов любой сложности. «Несмотря на то что школа Рело оказывает сильнейшее влияние на русскую науку, — писал 60 лет спустя академик Иван Иванович Артоболевский (1905–1977), — стремления к обобщениям, столь свойственные русской науке, проявляются во всем своем научном блеске. Я в первую очередь должен упомянуть о проф. П.О. Сомове. Его работы явились громадным шагом вперед по сравнению с теорией кинематических цепей, разработанной Рело. Рело устанавливает конструктивные критерии оценки цепей, Сомов же выдвигает более общий критерий — количество степеней свободы. Он подводит серьезную научную базу под дальнейшие работы русских ученых, посвященные теории механизмов и машин»¹⁶³ (выделено нами. — Авт.).

Научное творчество П.О. Сомова охватывает ряд труднейших и наименее разработанных вопросов кинематики механизмов, большинство которых он не только исследовал, но и сам поставил. Сюда относятся задачи структуры, классификации механизмов, кинематика подобно изменяемой системы, вопросы распределения скоростей и ускорений в изменяемых системах, теории механизмов с несколькими степенями свободы, теории ускорения высших порядков.

Выдающийся русский ученый, профессор Московского университета, Московского технического училища, основоположник динамики машин и теории пространственных механизмов Николай Иванович Мерцалов (1866–1948) начинает свой курс «Кинематика механизмов» (1916) с определения машины по Рело.

¹⁶² Там же.

¹⁶³ Артоболевский И.И. Русская школа теории механизмов // Роль русской науки в развитии мировой науки и культуры. М.: Изд-во МГУ. 1947. Т. 1. С. 153. (Учен. зап. МГУ. Вып. 91).

Он критически анализирует его, так как «это определение есть собственно описание, но такое, которое хорошо формулирует сущность решаемой нами при помощи машин задачи» и, отдавая должное этому определению, продолжает: «Заметим, что из приведенного определения непосредственно вытекает подразделение науки о машинах на соответствующие отделы»¹⁶⁴. Далее в разделе «Преобразование вращательного движения около одной оси во вращательное же около другой» (с. 284–286) он приводит метод Рело для определения профилей зубцов некруглых полодий, позволяющий строить огибающую по точкам.

А вот что пишет о Рело академик И.И. Артоболевский: «Во второй половине XIX в. публикуются работы выдающегося немецкого ученого Ф. Рело. Его труды обогатили науку о машинах принципиально новым содержанием. Им вводятся важнейшие в теории механизмов понятия о кинематической паре и кинематической цепи. Его «Теоретическая кинематика» может быть признана трудом энциклопедическим, охватывающим все стороны учения о механизмах.

Работами Виллиса, Чебышева и Рело определялись основные научные направления, ставшие впоследствии содержанием науки, которую мы теперь называем «Теория механизмов и машин»¹⁶⁵.

Как же закончить жизнеописание замечательного человека? Нам представляется уместным привести слова любимого поэта Франца Рело – Лонгфелло, которые выражают, пожалуй, жизненное кредо ученого:

...Так трудился Гайавата,
Чтоб народ его был счастлив,
Чтоб он шел к добру и правде.

¹⁶⁴ Мерцалов Н.И. Кинематика механизмов (Прикладная механика. Ч. I). Курс лекций. М., 1916. Стр. IX–X.

¹⁶⁵ Академик И.И. Артоболевский. Воспоминания современников. Статьи И.И. Артоболевского. М.: Знание. 1983. Возраст познания. С. 129.

Dr. jur. CHRISTIAN REULEAUX D-3000 HANNOVER 71 (KIRCHRODE), den
8. Okt. 1989
Ostfeldstraße 32
Telefon (05 11) 52 06 70

Herrn

Prof. Dr. Alexis N. Bogoliubow
Tscheliuskintsev 15, kw. 28
Kiew - 1, URSS

Betr.: Prof. Dr. Franz Reuleaux

Sehr geehrter Herr Professor!

Vielen Dank für Ihren Brief vom 5. September, der hier am ca. 20. September eintraf. Ich war gerade dabei zu verreisen und kann Ihnen daher erst heute antworten.

Franz R. war mein Ur-Großvater
geb. am 30.9.1829 in Eschweiler Pumpe (in der Nähe von Aachen)
Sohn von Johann Joseph R. und Ehefrau Heloise, Walburga R. geb.
Graeser
gest. am 20.8.1905 in Berlin
Verheiratet am 26.4.1856 in Bonn am Rhein mit
Charlotte, Wilhelmine, Friederike Overbeck (geb.28.3.1829
inBorghout bei Antwerpen)

Das Ehepaar hatte 3 Töchter und 2 Söhne. Zwei Töchter und ein Sohn – mein Großvater – wurden während der Lehrtätigkeit von Franz R. an der ETH in Zürich geboren, ein Sohn und eine Tochter dann während der Berliner Zeit.

Die Wissenschaftler Braun und Weber haben 1979 in den «Beiträgen zur Geschichte der Technischen Universität Berlin» Leben und Wirken von Franz Reuleaux sehr eingehend und gut beschrieben. Eine Kopie der Arbeit lege ich bei.

Eine Portraitaufnahme unseres Ur-Großvaters und seiner Familie habe ich leider nicht, lediglich die auch beiliegende Zeichnung. Außerdem habe ich das Negativ des Bildes mit seiner Spindel-sammlung – siehe Seite 294 des Artikels Braun/Weber. Davon mache ich Ihnen gern einen Abzug, wenn Ihnen das hilft – Sie brauchen mir nur zu schreiben.

Ich habe noch viele Unterlagen im Nachlaß unseres 1979 verstorbenen Vaters gefunden, die aber überhaupt noch nicht gesichtet sind. Dafür fehlte mir bisher die Zeit – ich weiß also heute garnicht, was da noch erhalten ist.

Nun hoffe ich, daß diese Sendung gut bei Ihnen ankommt und freue mich, daß die Wissenschaft ohne Grenzen zusammenwirken kann.

Hoffentlich konnte ich Ihnen helfen. Mit den besten Grüßen und guten Wünschen für den Erfolg Ihrer Arbeit.

Перевод Приложения

Д.ю.н. КРИСТИАН РЕЛО Д-3000 ГАННОВЕР 71 (КИРХРОДЕ), 8. окт. 1989
Остфельдштрассе 32
Телефон (0511) 52 06 70

Господину
Проф. д-ру А.Н. Боголюбову
КИЕВ-1
Ул. Челюскинцев, д. 15 кв. 28
СССР

Кас.: Проф. д-р Франц Рело

Глубокоуважаемый господин профессор!

Большое спасибо за Ваше письмо от 5 сентября, которое мы получили 20 сентября. Я как раз собирался уезжать, поэтому смог ответить Вам только сегодня.

Франц Р. – приходится мне прадедом.

Родился 30.09.1829 в Эшвейлер Пумпе (недалко от Аахена).
Сын Иоганна Йозефа Р. и его супруги Элоизе, Вальбурга Р.
(урожденная Грэзер)
Умер 20.08.1905 в Берлине
Сочетался браком 26.4.1856 в Бонне-на-Рейне с
Шарлоттой, Вильгельминой, Фредерикой Овербекк (род.
28.3.1829 в Боргенхуте под Антверпеном)

В браке у них родились 3 дочери и 2 сына. Две дочери и один сын – мой дед – родились в Цюрихе, когда Франц Р. работал там преподавателем в Высшей Технической школе, еще один сын и одна дочь родились уже в Берлине.

Ученые Браун и Вебер в статье об истории Берлинского технического университета очень хорошо и подробно описали жизнь и деятельность Франца Рело. Копию этой работы я прилагаю.

Портретного снимка нашего прадеда и его семьи у меня, к сожалению, нет, есть только рисунок с его изображением, который я также прилагаю. Кроме этого, у меня есть негатив с его собранием шпинделей – см. стр. 294 статьи Брауна/Вебера. Я охотно сделаю для Вас копию, если это Вам поможет, Вы только напишите.

Еще я нашел кипу документов, оставшихся от отца, который умер в 1979 году, но их я даже еще не просматривал. Я все никак не мог выбрать время – поэтому я сегодня так и не знаю, что там еще сохранилось.

Я надеюсь, что это послание до Вас благополучно дойдет, и радуюсь тому, что для науки не существует границ.

Надеюсь, что мне удалось вам помочь. Передаю вам сердечные приветы и искренне желаю успеха Вашей работе.

Ваш Кристиан Рело

Литература

- Артоболевский И.И.* Теория механизмов и машин. М., 1975.
- Боголюбов А.Н.* Теория механизмов и машин в историческом развитии ее идей. М., 1976.
- Боголюбов А.Н.* Математики, механики. Биографический справочник. Киев, 1983.
- Боголюбов А.Н.* Творения рук человеческих. Естественная история машин. М., 1988.
- Вейсбах Ю.* Теоретическая и практическая механика. Т. I–III. СПб., 1859–1863.
- Головин А.А., Костиков Ю.В., Красовский А.Б., Никоноров В.А., Рябинин М.В.* Динамика механизмов. М., 2001.
- Гохман Х.И.* Кинематика машин. Т. I. Основы познания и создания пар и механизмов. Одесса, 1890.
- Жуковский Н.Е.* Некролог и очерк ученой деятельности Орлова. История механики с конца XVIII века до середины XX века. М., 1972.
- Курилов В.В.* Столетний юбилей Берлинского университета 1810–1910. Варшава, 1911.
- Лейбензон Л.С.* Николай Егорович Жуковский. М.-Л., 1947. С. 76.
- Лигин В.Н.* Очерк новых воззрений Рело на машину. Одесса, 1878.
- Орлов Ф.Е.* Дневник заграничной командировки 1869–1872 гг. М., 1898.
- Орлов Ф.Е.* Лекции прикладной механики. М., 1873–1874.
- Орлов Ф.Е.* Экономическое значение машин. Речь профессора Императорского технического училища Ф.Е. Орлова // «Отчет Императорского московского технического училища» за 1878. 2-е изд. М.: Университетская типография. 1879.
- Орлов Ф.Д.* Теория механизмов (Литография). М., 1887.
- Сидоров А.И.* Основные принципы проектирования и конструирования машин. М., 1929.

- Тарле Е.В.* Рабочий класс во Франции в первые времена машинного производства (1815–1831). М., 1928.
- Федосова С.А., Токаренко А.М.* Развитие математических методов исследования механизмов. Киев, 1988.
- Цыганкова Э.Г.* У истоков дизайна. М., 1977.
- Шпанов Н.* Рождение мотора. М.-Л., 1934.
- Энгельмейер П.К.* Философия техники. М., 1912. Вып. 1–4.
- Baumgartner A.* Die Mechanik in ihrer Anwendung auf Kunste und Gewerbe. Wien, 1823.
- Beck Th.* Bemerkungen zu F. Reuleaux's Kinematik über Stützung // Civilingenieur, 1876, Bd. XXII.
- Beck Th.* Über den Begriff «Maschine» // Bemerkungen zu F. Reuleaux's Kinematik. 1877. Bd. XXIII.
- Beck Th.* Noch ein Wort über den Begriff «Maschine». 1877. Bd. XXIII.
- Braun H.J., Weber W.* Ingenieurwissenschaft und Gesellschaftspolitik Das Wirken von Franz Reuleaux // Wissenschaft und Gesellschaft, Beihage zur Geschemte der Techn. Universität Berlin, 1879–1979. Berlin, 1979. Bd I.
- Burmester L.* Lehrbuch der Kinematik. Leipzig, 1888.
- Euler L.* De machinis in genere // Novi Commentarii Academiae Scientiarum Petropoe. 1753. T. III.
- Grübler M.* Wandlungen der Kinematik in der Gegenwart // Civilingenieur, 1889. Bd. XXXV.
- Haton J.N.* de la Goupilliere. Traité théorique et pratique des engrenages. Paris, 1861.
- Kennedy A.B.W.* The Mechanics of Machinery. London, 1886.
- Laboulaye Ch.* Traité de cinématique ou théorie des mecanismes, 3-ed. Paris, 1878.
- Lagsdorf C.Ch.* Ausführliche System der Maschinenkunde. Bd. I. Heidelberg, 1826.
- Leupold J.* Theatrum machinarum generale. Leipzig, 1724.
- Niemann M.* Erläuterungen und Zusätze zu F. Reuleaux's Kinematik. Berlin, 1877.
- Poncelet J.-V.* Mécanique industrielle, exposant les principes de statique et de dynamique, les organes mécaniques et les moteurs. Bruxelles, 1839.
- Redtenbacher F.* Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaues. Mannheim, 1852.
- Rittershaus T.* Zur heutigen Schule der Kinematik zugleich kritische Bespfechung von Reuleaux's «Theoretische Kinematik» // Civilingenieur, 1875. Bd. XXI.

Salzenberg N. Vortage uber Maschinenbau. Berlin, 1842.

Wiebe F.K. Lehre zu den einfachen Maschinenteilen. Bd. 1–2. Berlin, 1854–1860.

Weihe Carl. Franz Reuleaux und seine Kinematik. Berlin, 1925.

Weisbach J. Lehrbuch der Ingenieur und Maschinenmechanik. Bd. I–III. 1845–1860.

Основные даты жизни

- 1829** Родился 30 сентября в Эшвейлере вблизи Ахена (Германия).
- 1846–1850** Ученик, машиностроитель в мастерских завода, основанного его отцом в Эшвейлере.
- 1850–1854** Студент Политехникума в Карлсруэ, студент Берлинского и Боннского университетов.
- 1854–1856** Инженер Кельнского машиностроительного завода.
- 1854** В соавторстве с инженером К. Моллем издает «Учение о конструировании для машиностроителей».
- 1856** Ординарный профессор Цюрихского Политехникума.
- 1856** Брак с Ш.-В.-Ф. Овербек.
- 1861** Издает энциклопедический труд «Конструктор». Построение коллекции.
- 1864** Ординарный профессор Берлинского ремесленного института, позже – Ремесленной академии (с 1866 г.), позже – Высшей технической школы (с 1890 г.).
- 1868–1879** – Директор Ремесленной академии.
- 1862, 1867, 1873, 1876** – член комитетов по премиям Всемирных выставок.
- 1879, 1881, 1893** Участник международных выставок.
- 1875** Издает главный труд «Теоретическая кинематика». Том I.
- 1890–1891** Ректор Берлинской высшей технической школы. В 1896 г. подает в отставку.
- 1900** Издает «Теоретическую кинематику». Том 2. (Второе название – «Учебник кинематики».
- 1905** Скончался 20 августа в Берлине.

Список основных трудов Ф. Рело

1858

Reuleaux F. Konstruktionslehre für den Maschinenbau. Braunschweig. 1858 (und Moll C.L.).

Reuleaux F. Das Zahnexzentrik ein neuer Bewegungsmechanismus. Der Civilingenieur. I.

1861

Reuleaux F. Der Konstrukteur. Braunschweig.

1862

Reuleaux F. Die Tomassche Rechenmaschine / Civiling.

1865

Reuleaux F. Universalgelenk // Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes. S. 53–56.

Reuleaux F. Schieberumsteuerung // Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes. S. 89–102.

Reuleaux F. Vüber die Koppellrader // Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes. S. 47–52.

1870

Reuleaux F. Vorträge über Maschinenbaukunde (als Manuscript gedruckt). 2-e Aufl. Berlin.

Reuleaux F. Vorträge über Regulatoren. Berlin.

Reuleaux F. Sector Geradfuhungen // Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes. S. 95–96.

Reuleaux F. Wie beschreibt man eine Maschine // Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes. S. 106.

Reuleaux F. Kinematische Mitteilungen // Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes. fast ganz Band.

1875

Reuleaux F. Theoretische Kinematik. Braunschweig.

1877

Reuleaux F. Über die Sperrwerke und ihre Anwendung // Verhandlungen
des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes.

Reuleaux F. Briefe aus Philadelphia.

1889

Reuleaux F. Der Konstrukteur. Braunschweig, 4-e Auff.

1890

Reuleaux F. Über das Verhältnis zwischen Geometrie. Mechanik und
Kinematik // ZVDI. V. 34. S. 217.

1900

Reuleaux F. Lehrbuch der Kinematik. 2. Die praktische Beziehungen
der Kinematik zu Geometrie und Mechanik. Braunschweig.

Литература о Ф. Рело

- Billig und schlecht; Franz Reuleaux zu den Weltausstellungen in Philadelphia und Chicago // Kultur & Technik .Author: Remberger, Sebastian. 2000.
- Braun H. Franz Reuleaux // Techniker. 1990.
- Denavit J., Hartenberg R.S. Kinematic Synthesis... What it's All About, in: Machine design. 1956.
- Denavit J., Hartenberg R.S. Kinematic Synthesis of Linkages. 1964.
- Ferguson R. Kinematics of mechanisms from the time of Watt. Ferguson, E. S. 1962.
- Ferguson E.S. The Mind's Eye – Nonverbal Thought in Technology // Science. 1977.
- Heymann M. «Kunst» und Wissenschaft in der Technik des 20. Jahrhunderts; Zur Geschichte der Konstruktionswissenschaft. 2005.
- Kerle H. On the development of the constraint motion theory of Franz Reuleaux – an overview // International Workshop on Founders and Theorems of Mechanism Theory at the Technical University Dresden. Germany. 2004. Oct. 6–8.
- Koetsier T. Some Remarks on and Around Burmester's Work at the Occasion of the Centenary of His «Lehrbuch der Kinematik». 1988.
- Koetsier T. Mechanism and machine science; its history and its identity, in: Proceedings HMM 2000: International Symposium on History of Machines and Mechanisms. 2000.
- Mauersberger K. Die Herausbildung der technischen Mechanik und ihr Anteil bei der Verwissenschaftlichung des Maschinenwesens // Dresdener Beiträge zur Geschichte der Technikwissenschaften. 1980.
- Mauersberger K. Bewegungswanclung im Entwicklungsprozeß der Betriebsdampfmaschine //NTM. 1990.
- Mauersberger K. Konsolidierung der Maschinenwissenschaften in der Zeit der aufkommenden Massenfertigung // Geschichte der Maschineningenieurwissenschaften. 1991.
- Mauersberger K. Zur Geschich der Getriebetechnik an der TH Dresden vor Lichtenheld // Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden, Getriebetechnik. Tradition und Modeme. 2001.
- Mauersberger K. Sammlungen und Geschichte // International Workshop on Founders and Theorems of Mechanism Theory at the Technical University Dresden. Germany. 2004. Oct., 6–8.

- Moon F.S.* Franz Reuleaux – Contributions to 19th C. Kinematics and Theory of Machines // Applied mechanics reviews. 2003.
- Moon F.S.* Robert Willis and Franz Reuleaux – pioneers in the theory of machines // Notes and records of the Royal Society of London. 2003.
- Moon F.S., Mauersberger K., Wauer J.* Ferdinand Redtenbacher – Der Begründer des wissenschaftlichen Maschinenbaus in Deutschland. 2006.
- Remberger S.* Franz Reuleaux – Ansichten und Selbstverständnis eines Ingenieurs in der deutschen Gesellschaft des späten 19. Jahrhunderts. 1999.
- Richten S.H.* Methodenentwicklung und Methodenstreit in Lehre und Forschung der mechanischen Technologie im 19. Jahrhundert in Deutschland // Dresdener Beiträge zur Geschichte der Technikwissenschaften. 1984.
- Severin D.* Franz Reuleaux, der Wissenschaftler und Ingenieur // 1799–1999, von der Bauakademie zur Technischen Universität Berlin. 2000.
- Some Remarks on the Restraint Motion Theory of Franz Reuleaux Which Advantages Took Kinematicians in the Past and Take Still Today of His Ideas? 2002.
- Strandh S.* Die Maschine: Geschichte, Elemente, Funktion; ein enzyklopädisches Sachbuch. 1992.
- Weihe C.* Franz Reuleaux und die Grundlagen seiner Kinematik // Deutsches Museum. Abhandlungen und Berichte. Berlin. 1942. 14. Jahrgang. Heft 4.
- Wollgast S. (Ed.); Banse G. (Ed.)* Biographien bedeutender Techniker, Ingenieure und Technikwissenschaftler; Eine Sammlung von Biographien. 1987.
- Zopke J.* Professor Franz Reuleaux: a biographical sketch, in: Cassier's magazine. 1896.
- Zur Herausbildung der Getriebelehre bis zum Beginn der zwanziger Jahre unseres Jahrhunderts unter besonderer Berücksichtigung der Entwicklung an der TH Dresden // Dresdener Beiträge zur Geschichte der Technikwissenschaften. Author: Kastner. M., 1991.

Указатель имен

- Ампер А.-М. – 13, 67, 75, 128, 182, 183, 184
Айтельвайн – 123
Аронгольд З. – 58, 59, 75, 124, 137
Артоболовский И.И. – 61, 250, 251, 256
Арцбергер И. – 26
Архимед – 191, 192
Ашетт Ж. Н. – 36, 62, 67, 182
- Баумгартнер А. – 9
Барроу И. – 170
Бек Т. – 124, 125, 126, 195, 257
Беланже Ж.Б. – 15, 16, 68, 123
Белидор Б. – 50, 51
Бернулли Я. – 169, 171
Бетанкур А. – 13, 36, 52, 62, 67, 135
Бисмарк О. – 67
Бобилье – 172
Борньи Д.А. – 36
Борхардт К.В. – 33
Брашман Н.Д. – 138
Брауэр Ф. – 36
Брем – 228
Брессон – 121
Бур Ж.Э. – 15
Бург А. – 42
Бурместр Л. – 37, 127, 128, 168, 257
Бэйт П. Х. – 57
Бунин И.А. – 153
- Ван де Вельде – 166
Вейерштрасс К. – 130
Вейсбах Ю.Л. – 12, 40, 42, 45, 52, 121, 256, 258
Верникке – 122
Вибе К. – 42, 45, 59, 258
Вивиани В. – 171
Виллис Р. – 13, 15, 17, 36, 38, 51, 67, 76, 122, 226, 251
Виттенбауэр Ф. – 247, 248
Витрувий – 123, 217
Вышнеградский И.А. – 138
Вольф Ф. – 32
- Галилей Г. – 177
Гартман В. – 172
Герике О. – 66
Галлоуэйм – 82
Герон Александрийский – 217
Герман Я. – 169
Герстнер Ф.И. – 8
Гейне Г. – 37
Гёте И.В. – 31, 66, 69, 70
Гильберт Д. – 18
Гохман Х.И. – 144, 145, 168, 249, 256
Гомер – 84, 125
Грабер В. – 228
Грасгоф Ф. – 12, 57, 139, 168
Гроссман – 59
Гроте – 59
Грюблер – 128, 168, 257
Гумбольдт А. – 32
Гумбольдт В. – 31, 32, 56

Гупийер Ж.-Н. Г – 15, 16, 68, 123,
257

Гюйгенс Х. – 174

Дела-Вос В.Л. – 139

Давидов А.Ю. – 138

Дезарг Ж. – 49

Декарт Р. – 57, 76

Делоне – 122

Джолли – 123

Джулио – 122

Дизель Э. – 133

Дирихле П.Г.Л. – 33

Доуз Г. – 80

Жиро Ш. – 15, 68

Жуковский Н.Е. – 61, 141, 142,
166, 256

Жирар – 208

Зальценберг Н. – 39, 258

Земпер Г. – 159, 163

Кайзер – 122

Камю Ш. – 76

Каммерер П. – 42

Кардано Дж. – 47, 48

Кант Э. – 157

Карно Л.Н. – 48, 52

Кармарш – 123

Кеннеди А. – 136, 257

Кёнигс Г. – 168, 248, 249

Кеплер И. – 177, 181

Клебш Р. Ф. – 33

Клейн Ф. – 18

Каднат – 208

Коперник Н. – 177

Кориолис Г.Г. – 13

Коули А. – 66

Коши О. – 13

Крелле А.Л. – 33

Кристиан Ж.Ж. – 36

Кристоффель Э.Б. – 59, 131

Кулон Ш. – 138

Кульман К. – 46

Курилов В.В. – 256

Кювье Ж. – 68

Лагранж Ж.Л. – 13

Лаваль – 133, 194, 208

Ланген Е. – 132, 133, 134

Ланц Х.М. – 13, 36, 52, 62, 67,
135

Лабулэ Ш.П. – 13, 14, 67, 68, 123,
226, 257

Лагир Ф. – 46, 76

Лангсдорф К. Х. – 12, 39, 123,
257

Лейбензон Л.С. – 142, 256

Лейбниц Г. – 57

Лейпольд Я. – 49, 50, 51, 67, 123,
257

Лежандр – 164

Ленуар – 132

Леонардо да Винчи – 47, 57, 159

Лигин В.Н. – 123, 137, 142, 143,
144, 249, 256

Лиль Р. – 48

Линней К. – 68

Лонгфелло Г.У. – 153, 251

Лосс А. – 166

Лютер М.

Леффлер М. – 50

Мангейм – 124

Маннесманн Р. – 134, 135

Мерцалов Н.И. – 250

Микеланджело – 57

Молль К.И. – 35

Монж Г. – 17, 38, 40, 48, 52, 62, 67,
68, 182, 203

Монтюкла Ж.Е. – 36

Морен А. – 15

Нибур Б.Г. – 31

Ниман М. – 126, 127

Ньюконем Т. – 66

Ньютон И. – 66, 181

Орлов Ф.Е. – 15, 52, 54, 56, 57, 59,
61, 63, 137, 138, 140, 141, 142,
151, 256

Остроградский М.В. – 13

Отто Н. – 132, 133

Платарет – 208

Папп Александрийский

Папен Д. – 66

Парсон – 194

Пифагор – 180

Поппе И.Г.М. – 37, 122

Понселе Ж.В. – 13, 38, 48, 121,
125, 257

Пуансо Л. – 60, 68

Пуассон С.Д. – 13

Подемс А. – 50

Рело К. – 255

Ранкин М. – 51, 138

Редтенбахер Ф.Я. – 12, 9, 26, 27,
28, 29, 33, 35, 36, 37, 43, 46, 47,
51, 53, 54, 66, 72, 123, 126, 203,
257

Резаль А. А. – 17

Ремер О. – 49

Реомюр Р.А. – 49

Ридлер А. – 165

Риттерсхаус Т. – 124, 125, 126,
257

Роберваль Ж.П. – 170, 174

Рюльман М. – 40, 121, 122

Риман – 59

Савари Ф. – 172

Савиньи Ф.К. – 31

Салливен Л. – 166

Сей Ж.Б. – 51

Сидоров А.И. – 27, 28, 256

Сильвестр – 168

Сименс В. – 135, 155

Сомов П.О. – 168, 249, 250

Сомов О.И. – 249

Соловьев В. – 149

Сегнер – 208

Тиме И.А. – 40

Томас – 126

Торричелли Э. – 171, 174

Тредгольд Т. – 42

Тэт Т. – 51

Томпсон – 208

Уатт Дж. – 50, 51, 57, 66, 79, 86,
203, 220

Фейрберн У. – 51

Фикк Л. – 232

Фишер О. – 246

Фихте И.Г. – 31

Цайзинг – 123

Цыганкова Э.Г. – 160, 257

Цейнер Г.А. – 12, 30, 40, 45, 46, 52,
53, 57, 59, 132, 138, 139, 208

Чебышев П.Л. – 14, 36, 37, 127,
128, 168, 249, 251

Шаль М. – 68

Шелль В. – 63

Шлейермахер Ф. – 32

Шопенгауэр А. – 69

Шрадер – 122

Штенберг – 133

Штамм Э. – 68

Хиндли – 50

Хагрит – 196

Хольцманн – 123

Хюльзе – 45

Эйлер Л. – 29, 62, 257

Энгельмейер П.К. – 147, 151, 257

Якоби К.Г. – 33

Оглавление

К читателю	5
Введение	
Немецкая культура второй половины XIX века. Машиностроение в Германии. Учение о машинах	7
Глава 1	
Семья Рело. Учеба	19
Глава 2	
Инженер Кёльнского машиностроительного завода	35
Глава 3	
Цюрих	45
Глава 4	
В Берлин	55
Глава 5	
Теоретическая кинематика Рело	64
Глава 6	
Педагог, теоретик, практик	129
Глава 7	
Работы Рело в областях литературы и искусства. Участие в международных выставках. У истоков дизайна	147
Глава 8	
«Лебединая песня» Рело	168
Заключение	247
Приложение	252
Литература	256

Основные даты жизни	259
Список основных трудов Ф. Рело	260
Литература о Ф. Рело.....	262
Именной указатель	264

Научно-биографическое издание

Боголюбов Алексей Николаевич,
Чиненова Вера Николаевна

Франц Рело
1829–1905

*Утверждено к печати
Редколлегией серии
«Научно-биографическая литература»
Российской академии наук*

Редактор *Р.С. Головина*
Художественный редактор *Ю.И. Духовская*
Технический редактор *Т.В. Жмелькова*
Корректоры *З.Д. Алексева,*
А.Б. Васильев, Р.В. Молоканова, Т.И. Шеповалова
Компьютерная верстка *С.В. Ишутинной*

**Иллюстрации воспроизведены в соответствии
с представленными архивными оригиналами**

**Подписано к печати 04.03.2014. Формат 60 × 90^{1/16}
Гарнитура Таймс. Печать офсетная
Усл.печ.л. 17,0 + 1,0 вкл. Усл.кр.-отт.18,3. Уч.-изд.л. 19,5
Доп. тираж 170 экз. Тип. зак. 3185**

**Издательство «Наука»
117997, Москва, Профсоюзная ул., 90**

**E-mail: secret@naukaran.ru
www.naukaran.ru**

**Первая Академическая типография «Наука»
119034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12/28**

АДРЕСА МАГАЗИНОВ «АКАДЕМКНИГА»

Магазины «Академкнига» с «Книга-почтой»

- 119192 Москва, Мичуринский просп., 12 корп.1; (495) 932-78-01
Сайт: <http://LitRAS.ru/> e-mail: okb@LitRAS.ru
- 199034 Санкт-Петербург, Менделеевская линия, д. 1;
(812) 328-38-12
e-mail: naukaspb1@yandex.ru

Магазины «Академкнига» с букинистическими отделами

- 117312 Москва, ул. Вавилова, 55/7;
(499) 124-55-00
- 119192 Москва, Мичуринский проспект, 12;
(495) 932-74-79
- 127051 Москва, Цветной бульвар, 21, строение 2;
(495) 621-55-96
- 191104 Санкт-Петербург, Литейный просп., 57;
(812) 272-36-65 academkniga.spb@bk.ru
- 101000 Москва, Б. Спасоглинищевский пер., 8 строение 4;
(495) 624-72-19
- 142290 Пушкино Московской обл., МКР «В», 1;
(49677) 3-38-80
- 664033 Иркутск, ул. Лермонтова, 289;
(3952) 42-96-20 akademkniga@list.ru
- 660049 Красноярск, ул. Сурикова, 45;
(3912) 27-03-90 akademkniga@bk.ru

Магазины «Академкнига»

Коммерческий отдел, г. Москва
Телефон для оптовых покупателей:
(499) 143-84-24
Сайт: <http://LitRAS.ru/>
e-mail: info@LitRAS.ru
Отдел логистики:
тел. (495) 932-74-71;
факс (499) 143-84-24

*По вопросам приобретения книг
государственные организации
просим обращаться также
в Издательство по адресу:
117997 Москва, ул. Профсоюзная, 90
тел. факс (495) 334-98-59
E-mail: initsiat@naukaran.ru
www.naukaran.ru*

НАУЧНО-БИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

Франц Рело – ученый-машиностроитель, один из основателей и инициаторов теории механизмов в Германии XIX столетия. Его «Теоретическая кинематика» привнесла принципиально новый взгляд на машиностроение как науку. Рело впервые четко сформулировал и изложил основные вопросы структуры и кинематики механизмов, которые ранее содержались в неявной форме в работах П. Л. Чебышева и др. Он связал теорию механизмов и машин с принципами конструирования; пытался решить проблему эстетичности технических объектов.

ISBN 978-5-02-038148-3



9 785020 381483



А. Н. Боголюбов В. Н. Чиненова

Франц РЕЛО