

А. Ершов

**Основания кинематики, или
Элементарное учение о
движении вообще и о
механизме машин в
особенности**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
А11

А11 **А. Ершов**
Основания кинематики, или Элементарное учение о движении вообще
и о механизме машин в особенности / А. Ершов – М.: Книга по Требованию,
2021. – 295 с.

ISBN 978-5-458-58319-0

ISBN 978-5-458-58319-0

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Въ новѣйшее время промышленная дѣятельность народа вызвала содѣйствіе правительствъ. Оно выразилось въ учрежденіи Земледѣльческихъ, Горныхъ, Технологическихъ и Ремесленныхъ Институтровъ, имѣющихъ въ виду различныя искусства и цѣлыя отрасли Государственнаго Хозяйства. Прибавимъ къ этому, что, по словамъ Гумбольдта, «тѣ народы, которые отстаютъ въ общей промышленной дѣятельности, въ приложеніи Механики и Химіи, въ заботливомъ выборѣ и обработкѣ естественныхъ произведеній, и у которыхъ уваженіе къ этой дѣятельности не проникаетъ во всѣ классы общества, неудержимо должны упасть съ высоты своего благосостоянія». ¹

Дѣйствія человѣка на вещественный міръ почти всегда сопровождаются перемѣщеніемъ предметовъ, или измѣненіемъ ихъ наружнаго вида, посредствомъ различныхъ снарядовъ и машинъ. Поэтому приложенія Практической Механики должны быть чрезвычайно разнообразны, и въ слѣдствіе того преподаваніе ея введено во всѣ означенныя учебныя заведенія.

Но кромѣ важной роли, какую Практическая Механика играетъ въ Инженерномъ искусствѣ, принимая это слово въ

¹ Cosmos v. Humboldt 1. p. 34.

саномъ обширномъ его значеніи, кельзя не признать ея полезнаго вліянія вообще на успѣхъ народнаго образованія и благосостоянія.

Считаемъ излишнимъ распространяться объ этомъ предметѣ, потому что сочиненіе это скорѣе всего попадетъ въ руки такимъ читателямъ, которые не менѣе нашего убѣждены въ тоиъ же; но любопытно повѣрить свое мнѣніе инѣиємъ такихъ людей, которыхъ обширнѣйшія и многостороннія познанія извѣстны всему міру. Укажемъ только на Ювеля (Whewell) и Александра Гумбольдта. Знаменитый Кембриджскій Профессоръ, знатокъ Исторіи положительныхъ наукъ ¹, издалъ еще въ 1842 году Практическую Механику для университетовъ, въ которой онъ ясно высказываетъ свою мысль, что въ распространеніи преподаванія этой науки онъ видитъ улучшение не только техническаго, но и общаго образованія.

Превосходны слова Гумбольдта, находящіяся на первыхъ страницахъ его Космоса: «Не будемъ бояться, чтобы особенная, столь замѣтная въ наше время, любовь къ изученію Природы и къ успѣхамъ промышленности повредила изысканіямъ въ области Философіи, Археологіи и Исторіи, а равно и занятіямъ Изыщными Искусствами. Подъ кровомъ мудрыхъ законовъ могутъ свободно развертываться всѣ цвѣты гражданской образованности; каждая дѣятельность принесетъ свои плоды: одни увеличиваютъ вещественное благосостояніе, другіе же

¹ Извѣстнѣйшія сочиненія этого автора суть:

a) Ueber die Grundsätze der englischen Universitätsbildung. Переводъ съ англ. 1845 г.

b) History and Philosophy of the Inductive Sciences, by William Whewell.

c) The Mechanics of Engineering. 1842.

VII

плоды творческой силы воображенія, болѣе прочныя, нежели это благосостояніе, передаютъ отдаленному потомству славное имя народовъ.»

«По счастливому сцѣпленію человѣческихъ дѣлъ, часто, неожиданнымъ образомъ, истинное, прекрасное и доброе свя-зывается съ полезнымъ».

Будемъ же твердо вѣрить, что человѣчество не увлекается ложнымъ, блудящимъ огнемъ, но идетъ по пути, указуемому и освѣщаемому свыше.

Въ Россіи давно уже признаны эти истины, давно уже многія прикладныя извѣстности нашли себѣ мѣсто въ нашихъ университетахъ — въ средѣ различныхъ отраслей человѣческаго вѣдѣнія. И гдѣ ищъ найти болѣе надежный пріютъ, какъ не въ нашихъ Физико-Математическихъ Факультетахъ, въ которыхъ преподаются, въ возможно полномъ объемѣ, всѣ основныя и вспомогательныя для нихъ науки?

Практическая Механика разсматриваетъ машины съ трехъ сторонъ: со стороны передачи и измѣненія движенія, со стороны принятія и передачи работы силъ, приводящихъ ихъ въ движеніе, и наконецъ со стороны построенія.

Отсюда происходятъ три обширныя части науки: 1) Передача и измѣненіе движеній, или *механизмъ* машинъ, 2) сило-измѣненіе, теорія двигателей, и динамическая теорія машинъ, и 3) построеніе машинъ, основанное на теоріи сопротивленія матеріаловъ.

Долгое время машины разсматривались только со второй точки зрѣнія, то есть, какъ орудія для принятія и передачи работы силъ. Превосходные и обширные труды Навье, Коріолиса, Мозеля, а особенно Понселе, относились къ этой части нашей науки.

Любопытнѣйшее изученіе механизма машинъ долго упу-

VIII

скалось изъ виду; а это изученіе всего лучше вводить насъ въ область машиновѣдѣнія, въ этотъ особый міръ, созданный изобрѣтательностію и трудолюбіемъ челоѣка.

Было время, когда описывали машины, раздѣляя ихъ на классы, смотря по цѣли, для которой онѣ назначались. Такимъ образомъ составлялись отдѣлы машинъ, употребляемыхъ въ военномъ искусствѣ, горномъ дѣлѣ, земледѣліи, для поднятія воды, распилки дерева, и пр. Можно было бы представить цѣлый рядъ такихъ сборниковъ, начиная съ Витрувія и до нашихъ временъ. Въ одномъ изъ такихъ сочиненій: «Theatrum machinarum» (1724) Леупольда, находимъ первую попытку въ разсмотрѣніи частей машины, независимо отъ назначенія ея, отдѣльно отъ работы. Въ немъ есть главы о *машиннахъ* для преобразованія круговаго движенія въ прямолинейное, или въ движеніе взадъ и впередъ (качательное, — *va et vient*) и для преобразованія качательнаго движенія въ круговое непрерывное. Дѣйствительно, это былъ первый опытъ систематическаго ученія о механизмѣ.

Но первый, кто увидѣлъ вполне возможность и пользу изученія машинъ въ отношеніи къ передачѣ и преобразованію движеній, былъ Монжъ, который изложилъ наукообразно *способъ проложеній*, и которому Начертательная Геометрія обязана своимъ существованіемъ.

Укажемъ на значеніе точки зрѣнія, съ которой Монжъ предлагаетъ разсматривать машины.

Силы Природы, какъ на пр. мускульная сила животныхъ, упругость пара, напоръ вѣтра или воды, сообщаютъ машиннамъ *опредѣленные* движенія, совмѣстныя съ свойствомъ самихъ силъ и съ условіями ихъ выгоднаго дѣйствія. Такимъ образомъ движеніе поршня паровой машины бываетъ *приближенное* качательное со скоростію 4-хъ футовъ; движеніе водяна-

IX

го колеса — круговое со скоростью, равною половинѣ скорости воды, и т. д.

Съ другой стороны *орудія*, которыми производятся различныя промышленныя работы, должны также двигаться известнымъ образомъ для успѣха производства. Замѣчено, что пила должна имѣть скорость въ 4 фута, жерновъ долженъ быстро вращаться въ горизонтальной плоскости со скоростью 30 футовъ на окружности, и т. д. Эти движенія, и по направленію, и по скорости, могутъ отличаться отъ движеній тѣхъ частей машины, которая непосредственно *примимають* дѣйствіе двигающихъ силъ. Иногда различныя орудія приводятся въ движеніе однимъ и тѣмъ же *пріемникомъ* — водянымъ колесомъ или паровою машиною.

Во всѣхъ этихъ случаяхъ необходимо передавать и измѣнять движенія. Изученіе способовъ передачи и измѣненія движеній и составляетъ предметъ первой части Практической Механики.

Монжъ называлъ эти способы *элементами машинъ* и говорилъ, что самыя сложныя машины представляютъ только соединеніе нѣкоторыхъ изъ этихъ элементовъ. Такимъ образомъ съ 1794 года положено было основаніе тому изученію машинъ, которое въ послѣдствіи все болѣе и болѣе развивалось и составило любопытнѣйшую часть науки.

Впрочемъ еще и прежде Монжа многіе между известными учеными занимались отдѣльными частями механизма, на пр. Лагиръ и Камусъ, обработывавшіе теорію зубчатыхъ колесъ, Вокаисонъ, прославившій себя своими автоматами: игроками на флейтѣ и тамбуринѣ, утками и змѣею, и оставившій свое имя одному роду цѣпей, Депарсье, и другіе. Монжу же принадлежитъ высокая честь указанія на возможность привести

Х

въ систему эту часть машиновѣдѣнія. Въ 1808 году Гашеттъ, и независимо отъ него, Ланцъ и Бетанкуръ составили классификацію частей машинъ по идеѣ Монжа.

Эти послѣдніе въ своемъ сочиненіи: «*Essai sur la composition des machines*» описали употребляемыя тогда части машинъ, но не подвергли вычисленію измѣненія движеній и не искали отношеній между скоростями разныхъ точекъ механизма.

Гашеттъ, съ своей стороны, также издалъ сочиненіе о машинахъ. Карно, разсматривая оное, (1811 г.) высказалъ свою мысль о важности изученія машинъ съ точки зрѣнія Монжа.

Но никто лучше Ампера не выразилъ того, въ чемъ должно состоять это изученіе, и какое мѣсто оно должно занять въ ряду другихъ наукъ. Вотъ что онъ говоритъ въ своемъ «Опытѣ классификаціи наукъ», изданномъ въ 1834 году.

«Долго прежде занятія этимъ трудомъ я замѣтилъ, что вообще, въ началѣ всѣхъ сочиненій о движеніяхъ и силахъ, упускаютъ изъ виду многія изслѣдованія, которыя, при достаточномъ развитіи, составили бы науку третьяго рода. Нѣкоторыя части этой науки были уже изложены въ запискахъ и въ отдѣльныхъ сочиненіяхъ, таковы, на пр.» записка Карно «о движеніи, разсматриваемомъ геометрически,» и «опытъ о составѣ машинъ» Ланца и Бетанкура. Эта наука должна содержать все то, что можетъ быть сказано о различныхъ видахъ движенія, независимо отъ силъ, ихъ производящихъ. Сначала она должна заниматься разсматриваніемъ пространствъ проходимыхъ въ различныхъ движеніяхъ, временъ, на то употребляемыхъ, и скоростей, опредѣляемыхъ по отношеніямъ между пространствами и временами.

«Потомъ она должна изучать различные снаряды, посредствомъ которыхъ одно движеніе переходитъ въ другое: такъ что, прилагая къ этимъ снарядамъ названіе машинъ, должно будетъ опредѣлить машину по такимъ снарядамъ, посредствомъ

XI

котораго можно измѣнять направленіе и напряженіе данной силы, но такимъ, которымъ можно измѣнять направленіе и скорость даннаго движенія.»

«Такии образоиъ это опредѣленіе дѣлается независимымъ отъ разсмотрѣнія силъ, дѣйствующихъ на машину,—отъ разсмотрѣнія, которое будетъ только развлекать вниманіе изучающаго механизмъ. Нужно ли, на пр. знать силу, приводящую часы въ движеніе, чтобы понять, почему минутная стрѣлка совершаетъ двѣнадцать оборотовъ, тогда какъ часовая только одинъ? Дѣйствіе зубчатыхъ колесъ не измѣнится, то есть, отношеніе между скоростями стрѣлокъ останется одно и тоже, будетъ ли движеніе стрѣлокъ произходить отъ пружины, или отъ пальца, и т. д.»

«Сочиненіе, въ которомъ разсматривались бы все движенія, независимо отъ силъ, было бы чрезвычайно полезно для восптанія, представляя трудности механизма, отдѣльно отъ тѣхъ, которыя могли бы еще произойти отъ разсмотрѣнія равновѣсія силъ.»

«Этой-то наукѣ, въ которой движенія должны быть изслѣдованы сами въ себѣ, какъ мы ихъ занѣчаемъ въ тѣлахъ, насъ окружающихъ, и особенно въ машинахъ, я далъ бы названіе *Кинематики*, отъ греческаго слова *κίνημα* — движеніе.»

Разсмотрѣвши, что такое движеніе и скорость, Кинематика особенно должна показать отношенія, существующія между скоростями различныхъ точекъ механизма во всѣхъ движеніяхъ, въ которыхъ онъ можетъ находиться. Этими, въ послѣдствіи, облегчится изложеніе *начала возможныхъ перемещеній*, принадлежащее Аналитической Механикѣ¹.

¹ Посредствомъ этого начала все сказанное объ отношеніи скоростей можетъ быть приложено къ отношенію силъ.

XII

Желанія знаменитаго Физика исполнились , предчувствія , «милыя его сердцу», оправдались, новыя спеціальныя сочиненія не замедлили слѣдовать по пути, указанному Амперомъ.

Сослуживецъ Ювеля, котораго мнѣніе объ изученіи Практической Механики мы привели въ началѣ предисловія, также Профессоръ Кембриджскаго Университета, Виллисъ, издалъ въ 1841 году свои лекціи о механизмѣ, начатыя съ 1837 года.

Такимъ образомъ, на призывъ Французскаго ученаго скорѣе всѣхъ отозвался ученый страны, которая всегда была хранилищею классическаго ученія , членъ университета , въ которомъ Словесность и Геометрія Древнихъ всегда были главными предметами изученія. Не должно ли одно это обстоятельство говорить въ пользу возрѣній Ампера?

Самъ Ювель призналъ пользу отдѣльнаго разсматриванія движенія, посвятивши ему цѣлую главу въ своей Философіи Индуктивныхъ наукъ. Между тѣмъ соотечественники Ампера трудились также на новомъ поприщѣ. Профессоры Политехнической Школы: Араго, Савари, Леруа и Шаль обогатили ученіе о механизмѣ любопытнѣйшими изслѣдованіями; Оливье издалъ превосходное сочиненіе о зацѣпленіяхъ; Лабуле и Моренъ представили полные трактаты о Кинематикѣ; наконецъ, знаменитый ветеранъ нашей науки, Понседе преподавалъ въ Парижскомъ Физико-Математическомъ Факультетѣ Кинематику, какъ первую часть науки о машинахъ, которую онъ обогатилъ своими безсмертными трудами.

И такъ , свѣдѣнія о механизмѣ , бывшія прежде удѣломъ составителей автоматовъ, планетаріевъ и башенныхъ часовъ, приведены теперь въ систему и вошли въ науку. Онѣ необходимы для составленія и быстрого пониманія устрой-

XIII

ства машинъ, нерѣдко поражающихъ насъ своею сложностію, а равно и для критическаго сужденія о способахъ, употребленныхъ для передачи и преобразованія движеній. Нерѣдко для достиженія одной и той же цѣли употребляются различные средства. Такъ, движенія круговыя передаются зубчатыми колесами, безконечными ремнями, веревками, струнами и цѣпами, безконечными винтами, колѣнчатымъ шарнеромъ Гука, шатунами или штангами, и наконецъ муфтами, когда два вала находятся на продолженіи одинъ другаго.

Теорія механизма должна рѣшить, въ какомъ случаѣ каждый изъ этихъ способовъ употребляется, и потомъ показать, какъ избранный способъ долженъ быть осуществленъ, и по какому закону онъ будетъ передавать и измѣнять движенія.

Классификація частей машинъ у насъ основана на понятіяхъ Монжа, то есть, на различеніи видовъ движеній по формѣ и направленію.

Виллисъ за основаніе дѣленія принимаетъ дѣйствіе, производимое элементомъ на *отношеніе скоростей и направленій*. Не говоря уже о чрезмѣрной отвлеченности этого начала, въ классификаціи Виллиса находимъ то важное неудобство, что одна и та же часть машины, на пр. эксцентрикъ, встрѣчается у него въ различныхъ отдѣленіяхъ, смотря по производимому имъ отношенію между скоростями.

Иногда въ машинахъ скорость измѣняется такъ значительно, что соединеніе двухъ только частей дѣлается недостаточнымъ, и оказывается надобность въ цѣломъ рядѣ органовъ. Простѣйшими примѣрами могутъ служить молотильныя машины, стѣнные или карманные часы: въ послѣднихъ колесо, подверженное дѣйствію регулятора (маятника), совершаетъ

довольно скоро свой полный оборотъ, на пр. въ одну минуту, тогда какъ барабанъ, приводимый въ движеніе пружиною или гирею, оборачивается одинъ разъ въ полсутки, въ двое сутокъ и т. д. Въ этомъ случаѣ употребляется цѣлая система зубчатыхъ колесъ.

Теорія механизма показываетъ правила, по которымъ надобно располагать и вычислять колеса.

Этого мало. При рѣшеніи такого рода вопросовъ представляются особенныя требованія, состоящія въ томъ, что одна часть механизма обращается *несоизмѣримо* съ другою, такъ на пр. одно колесо обращается въ сутки, а другое въ годъ.

Для рѣшенія такого рода вопросовъ употребляются различные способы, изъ которыхъ лучшей состоитъ въ составленіи движеній и въ *эпициклическомъ* расположеніи зубчатыхъ колесъ. Этотъ способъ объясненъ въ третьей главѣ издаваемого нами сочиненія; кажется, что онъ былъ извѣстенъ въ 1767 г. Мудге, устроившему механизмъ съ точнымъ мѣсячнымъ оборотомъ колеса, то есть, въ 29 д. 12 ч. 44" 3'.

Приложенія этого способа довольно часто встрѣчаются теперь въ разныхъ фабричныхъ машинахъ и орудіяхъ.

И такъ, теорія механизма разсматриваетъ сперва передачу, потомъ преобразованіе, далѣе совокупленіе многихъ частей съ цѣлю передачи движеній на большія разстоянія, или съ цѣлю значительнаго измѣненія скорости, и наконецъ обращаетъ вниманіе на составленіе движеній, то есть, на тотъ случай, когда одна и та же часть машины, кромѣ общаго движенія съ другою, имѣетъ еще свое собственное, относительное движеніе. Цѣль этого изслѣдованія состоитъ въ объясненіи такъ называемыхъ *дифференціальныхъ* движеній, изъ которыхъ нѣкоторыя, по простотѣ своей, были разсмотрѣны въ главахъ первой и второй, но общая теорія ихъ изложена въ третьей. Легко можно было бы представить эту любопыт-