**ГЛАВА 6. РАЗВИТИЕ МЕХАНИКИ КАК НАУКИ В РОССИИ.**

Еще в глубокой древности Русь славилась своими умельцами – литейщиками, оружейниками, ювелирами, строителями ветряных и водяных мельниц. Материалы археологических раскопок показывают, что уже в VІІІ веке наши предки применяли токарную обработку. В период Киевской Руси еще совершеннее становится техника ремесел. Славилась, в частности, своей добротностью проволока, изготовленная мастерами, искусно владевшими техникой волочения.

Средневековые русские мастера умели делать сложные механические устройства – часы, хитроумные замки, сверлильные и токарные станки, станки для чеканки монет, ткацкие станки, самопрялки, копры для забивания свай, подъемные сооружения, лесопильни. Русские мастера искусно поднимали на высокие башни огромные колокола.

Опыт, накопленный русскими ремесленниками, создал благодатную почву для развития теории, накопления практических знаний.

Отечественные ученые внесли много ценного в разработку теории машин, механизмов, строительных конструкций. В отечественных древних книгах на эту тему излагались знания, накопленные русскими и иностранными мастерами в практической деятельности. Можно упомянуть, например, вышедшее на рубеже XVI–XVII веков руководство по бурильной технике «Роспись, как зачат делат новая труба на новом месте» (1620 г.) Много ученых сведений по технике содержал знаменитый «Устав ратных, пушечных и других дел, касающихся воинской науки». Автором этой книги был выдающийся деятель русской техники XVII века Онисим Михайлов (предшественницей «Устава» была «Воинская книга», напечатанная Михаилом Юрьевым и Иваном Фоминым). Большая часть книги посвящена артиллерии и фортификации. Однако в «Уставе» разбирается и много общетехнических вопросов. Замечательно, что в книге изложение технических вопросов основано на данных математики. Много сочинений, посвященных технике, появилось во второй половине XVII века.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| https://pastvu.com/_p/a/v/f/6/vf66ktihjxsum4rfet.jpg | | http://www.arkran.ru/picture_library/history/2-4.jpg |
| а | б | |
| Рисунок 6.1. Царь-колокол:  а - общий вид (фото 1900х годов), б - схема подъема Царь-колокола в Московском Кремле (немецкая рукопись XVII века) | | |
| Царь-пушка стреляла. | | https://avatars.mds.yandex.net/get-zen_doc/3680683/pub_60311df2084cc34524df1084_60311e0bbd729c71d11b919a/scale_1200 |
| а | б | |
| Рисунок 6.2. Царь-пушка.  а - фотография конца 19 века, б-современная фотография | | |

|  |  |
| --- | --- |
| https://avatars.mds.yandex.net/i?id=2a0000017fad6bab4509688de391256f90c0-467069-fast-images&n=13 | https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/53/Bronze_Horseman_unveiling.jpg/400px-Bronze_Horseman_unveiling.jpg |
| а | б |
| https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/29/Thunder_Stone.jpg/250px-Thunder_Stone.jpg | https://img-fotki.yandex.ru/get/9324/97833783.58d/0_cbc38_55dd0c8c_XXXL.jpg |
| в | г |
| Рисунок 6.3. Памятник Петру I.  а-современная фотография, б-открытие памятника (гравюра XVIII века), в-перевозка камня-основания (гравюра XVIII века), г-возведение памятника | |

В начале XVIII века в России стали появляться сочинения, написанные уже специалистами-учеными. Одним из таких ученых был Г.Г.Скорняков-Писарев, выпустивший в 1722 г. книгу «Наука статическая, или механика» – первый русский труд, посвященный специально механике. В 1738 г. вышла в свет книга «Краткое руководство к подписанию простых и сложных машин, сочинение для употребления российского юношества». То был перевод с латинского языка (на котором в те времена писались научные труды) сочинения петербургского академика Крафта. Перевод был сделан адъюнктом Академии наук В.Е. Адодуровым. Книга эта послужила источником знаний для нескольких поколений русских механиков. Примечательна эта книга еще тем, что в ней впервые шла речь о машиноведении как об отдельной науке, а не только как о разделе физики.

Во второй половине XVIII в. появляется новый оригинальный учебник механики, написанный русским автором. Эта книга, изданная в 1764 г. Яковом Козельским, называлась «Механические предложения для употребления обучающегося при Артиллерийском и Инженерном шляхетном кадетском корпусе благородного юношества». Ценные учебники по механике и сопрадельным научным дисциплинам написали Д. С. Аничков, Н. Г.Курганов, Е. Д. Войтяховский.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\145C73E7.tmp | | C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\83873E2A.tmp | C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\CDE887C8.tmp |
| а | б | | в |
| Рисунок 6.4. Ученые, внесшие вклад в развитие инженерного дела в России:  а-Я.П. Козельский, б-Л. Эйлер, в-М.В. Ломоносов | | | |

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\2B26E916.tmp | C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\3B584885.tmp |
| Рисунок 6.5. Титульные листы важнейших книг | |

Русскими учеными и исследователями были решены важные вопросы машиностроения. Так, Леонард Эйлер выводит знаменитую формулу (1765 г.), которая дает возможность по коэффициенту трения определить основные конструктивные элементы механизма с гибкими звеньями. Эта формула является только составным звеном общей теории трения. Эйлер занимался изучением трения в течение многих лет, продолжая исследования трения в машинах и механизмах. Первый труд, посвященный трению в машинах и механизмах был издан в Петербурге в 1727 году. Л. Эйлер необычайно углубил теорию трения и придал ей математически совершенный вид. В своем классическом сочинении «Механика» он успешно решил вопросы механики методом математического анализа. От этой книги идут, как признают ученые, пути дальнейших поисков в области аналитической механики.

В 1760 году Эйлер выпустил в свет труд «О движении твердого тела». В этом сочинении, как писал академик А.Н. Крылов, «вопрос о составлении дифференциональных уравнений получил полное и окончательное решение, которым пользуются и до сих пор».

Следует еще раз сказать, что в богатом наследии Эйлера – им оставлено 865 трудов – многое посвящено механике. Эйлер был не только ученым-теоретиком, но занимался и чисто инженерными делами, проверкой качеств насосов и чувствительности весов для взвешивания монет, принимал участие в экзаменах «машинных дел подмастеров».

Говоря о вкладе отечественных ученых в развитие и становление механики, инженерного дела нельзя не остановиться на вкладе М.В. Ломоносова в решение названных выше проблем. Исходим мы здесь не из традиционного подхода оценки Ломоносова как величайшего русского ученого, а из его конкретного вклада в механику, в инженерное дело.

Понимая огромную важность «приборного искусства» для создания машин и механизмов, Ломоносов изобрел ряд специальных устройств и приборов: машины для испытания материалов на твердость, инструмент «для раздавливания и сжимания тел», с помощью которых он исследовал прочность различных материалов. В лаборатории Ломоносова родился первый вискозиметр – прибор для определения вязкости жидкостей. Такими приборами пользуются машиностроители для правильного подбора смазочных материалов.

М.В. Ломоносов оставил ряд интереснейших исследований часовых механизмов, высказал мысль об использовании в часах хрусталя и стекла для уменьшения трения. Ученый выступал не только как теоретик, но и как конструктор. Им были построены токарный и лобовые станки, созданы проекты коленчатых валов, водяных помп, лесопильных мельниц.

Заслуга М.В. Ломоносова перед механикой состоит и в том, что под его руководством работали мастерские Академии наук, ставшие одним из центров русской технической мысли. После смерти М.В. Ломоносова они пришли в упадок и только после того как в 1769 г. во главе мастерских становится Иван Петрович Кулибин (рис.7.6), они занимают то место, которое занимали при М.В. Ломоносове.



Рисунок 6.6. Изобретатель XVIII века И.П. Кулибин

Многочисленные изобретения Кулибина свидетельствуют, что он был инженером в современном смысле слова. Об этом говорят факты. Он строил свои творческие замыслы на прочной основе строгих расчетов и тщательных исследований. В частности, задумав мост через Неву, Кулибин воплотил его в точные и подробные чертежи. К 1776 г. изобретатель закончил проект, доныне удивляющий нас замечательной глубиной инженерного решения, красотой и изяществом конструкций. Интересен метод, при помощи которого Кулибин провел предварительную проверку возможностей сооружения. Натянув веревку и подвешивая к ней в определенных местах грузики, изобретатель воспроизвел как бы подобие своего моста и сил, действующих на мост. Построил Кулибин и специальную испытательную машину, с помощью которой он проверял свои расчеты.

Создав подобие моста и определив нагрузки, которые способна выдержать модель, Кулибин мог совершенно точно установить и наибольшую нагрузку, которую сможет вынести его мост-гигант. Таким образом, знаменитый российский механик внес важное решение: как в модели воспроизвести точное механическое, а не только геометрическое, внешнее подобие крупного сооружения.

Следует заметить, что Эйлер тщательно проверил расчеты Кулибина и, убедившись в их абсолютной правильности, дал о них восторженный отзыв. Эйлер облек теоретическое открытие Кулибина в математическую форму. Метод подобия вошел в технику как одно из мощнейших ее средств. В практике ни одно ответственное сооружение не строится, прежде чем его маленькое подобие – модель – не пройдет всесторонних испытаний.

Неустанно работала отечественная мысль над развитием теории механики. Так, продолжая дело Ломоносова и Эйлера, академик С. Котельников в 1774 г. выпустил книгу, содержащую учение о равновесии и движении тел. Особенно активизировались поиски решения технических проблем после открытия в 1755 г. Московского университета. В начале ХІХ века академик С. Е. Гурьев опубликовал несколько работ по теории машин и механизмов, в том числе «Основы механики» и «Главные основания динамики». С особенно пристальным вниманием ученый разбирал «общее правило равновесия с приложением оного к «махинам».

Вопросы механики занимают большое место в «Начальных основаниях общей физики», выпущенных в 1801 г. профессором Московского университета П. И. Страховым.

Трудно перечислить все имена выдающихся деятелей российской науки и техники. Имена многих из них стали гордостью всего передового человечества. Одним из таких людей был гениальный математик и механик Михаил Васильевич Остроградский (1801–1862), который был учеником известного математика Огюстена Коши (преподавал в Политехнической школе и Сорбонне). Принцип Остроградского–Гамильтона – жемчужина теоретической механики. Все механические системы подчиняются этому принципу. Руководствуясь им, можно в математических уравнениях отобразить механические процессы. Уравнения, основанные на принципе Остроградского-Гамильтона подсказывают инженерам пути наилучшего разрешения стоящих перед ними задач.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\E8E3A1.tmp | | C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\AFAB896C.tmp | C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\6159EE5A.tmp |
| а | б | | в |
| Рисунок 6.7. Ученые математики и механики:  а - М.В. Остроградский, б - О. Коши, в - А. Бетанкур | | | |

Остроградский занимался теорией волн, теорией теплоты, изучал упругие колебания тел, вопросы равновесия и движения твердых тел, вековые неравенства в движении планет. Большое внимание он уделял педагогической работе. Кстати, прикладная механика была высоко поставлена в петербургских высших школах. В определенной мере это было заслугой А.Бетанкура (1758–1824), который приехал в Россию в 1808 г. Он принимал участие в организации службы путей сообщения, построил ряд заводов и зданий (в частности, по его проектам был построен Манеж в Москве и заложен фундамент Исакиевского собора), руководил застройкой Петербурга, в Нижнем Новгороде построил ансамбль ярмарочных зданий, с 1818 г. был генеральным директором путей сообщения. А. Бетанкур являлся одним из учредителей и руководителей первого в России высшего учебного заведения нового типа – Петербургского института путей сообщения, открытого в 1809 г. Именно он привлек к преподаванию несколько выдающихся механиков, выпускников Политехнической школы, воспитал в Институте путей сообщения русских ученых – прикладников. Из профессоров этого института важный вклад в механику внесли Габриэль Ламе (1795–1870) и Бенуа Поль Эмиль Клапейрон (1799–1864).

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\CFD01778.tmp | Бенуа Клапейрон |
| а | б |
| Рисунок 6.8. Профессора Петербургского института путей сообщения, внесшие вклад в механику:  а - Г. Ламе, б - Б.П.Э. Клапейрон | |

В связи с задачами строительства железных дорог в 30-х годах ХІХ в. активизируется работа над созданием строительной механики и теории сооружений. Важную работу в этом направлении выполнили воспитанники института путей сообщения. Станислав Кербедз (1810–1893), профессор прикладной механики, который спроектировал и построил первый в России металлический мост через Неву. Мост имел семь прочных чугунных пролетов по 32–48 м. длиной каждый, восьмой пролет был разводным. Его строительство было окончено в 1850 г. При расчете моста впервые был применен кинематический метод. Герман Егорович Паукер (1822–1889) исследовал устойчивость сводов и пришел к соответствующим теоретическим выводам. При этом пользовался статистическими и кинематическими методами и получил идентичные результаты.

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\ED8CD91.tmp | C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\B5D136C7.tmp |
| а | б |
| Рис.6.9. Создатели первого металлического моста через Неву:  а-профессор механики С. Кербедз, б-Г.Е. Паукер | |
| C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\B2D1724B.tmp | C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\EFBCFB75.tmp |
| а | б |
| Рис.6.10. Инженеры-мостостроители:  а - Д.И. Журавский, создатель большей части железнодорожных мостов между Петербургом и Москвой, б - Н.А. Белелюбский, последователь Д.И. Журавского | |

Многим обогатил механику замечательный мостостроитель Дмитрий Иванович Журавский (1821–1891). Достаточно сказать, что именно он спроектировал и построил большинство мостов железной дороги между Петербургом и Москвой, прокладка которой началась в 1843 г. Следует заметить, что опыт предшественников – создателей мостов обычного назначения – мало годился для проектирования железнодорожных мостов, которые должны были выносить значительно большие динамические нагрузки. Известные в ту пору мосты, составленные из форм системы инженера Ф. Х. Гау, не обладали надежной прочностью. Ф. Х. Гау строил мостовые фермы, элементы которых были совершенно одинаковы по всей длине, как близ «опор, так и в средней части. Журавский подверг тщательному исследованию ферму Ф. Х. Гау. Построив модель ее, русский инженер заменил в ней болтовые соединения проволоками. Нагрузив модель и заставляя скрепляющие ферму проволоки колебаться, как струны, он обнаружил, что они в разных частях фермы издают звуки разных типов. Предвидения Журавского оправдались: нагрузка в разных частях фермы оказалась неодинаковой. Так изящным опытом Журавский установил серьезный недостаток мостов конструкции инженера Ф. Х. Гау. Исследование его ошибки послужило Журавскому отправной точкой для создания научно обоснованных методов мостостроения. Применив свой метод раскосных ферм, Журавский в 1855 г. построил Веребьинский мост длиной более чем в полкилометра. Имя русского инженера получило известность во всем мире. Ни одной катастрофы не случилось с мостами, построенными Журавским, хотя часть их приходилось строить из дерева. Способности Журавского к научному осмысливанию задач строительной практики ярко проявилось и тогда, когда ему пришлось заняться проектированием и постройкой металлического шпиля для собора Петропавловской крепости. Опыты над моделями и методические расчеты, которые Журавский производил во время конструирования шпиля, позволили открыть очень важные для техники методы расчета двутавровых балок.

Такие балки – необходимый элемент мостов, перекрытий зданий, железных каркасов заводских цехов – словом, всякого крупного сооружения. Тогда же Журавским была разработана и общая теория проектирования сквозных пирамидальных сооружений, заложены основы теории сопротивления материалов и конструкций.

Последователь Журавского Николай Аполлонович Белелюбский (1845–1922) вошел в историю техники как создатель большого числа замечательных мостов, пришедших на смену деревянным. Более пятидесяти сооружений спроектировал Белелюбский. Так, Сызранский мост через Волгу, построенный им в 1875–1881 гг, долгое время не имел равных в Европе по величине и оригинальности конструкций (13 пролетов по 111 метров каждый). Огромен и мост через Днепр из 15 пролетов по 71,3 метра, созданный им в 1881 году. Белелюбский был инициатором широкого применения в железнодорожном строительстве научных методов испытания материалов, для чего он создал специальную лабораторию, равной которой не было за границей.

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\136E136D.tmp | C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\6D976503.tmp |
| а | б |
| Рисунок 6.11. Математики и механики, создатели первых счетных машин  а - П.Л. Чебышев, б - В.Т. Однер | |

Богатейшее наследство оставил в механике Пафнутий Львович Чебышев. Великий теоретик, прославивший себя блестящими открытиями в математике, с увлечением решал насущные задачи промышленной практики, как математик нередко предлагал оригинальные решения инженерных задач. Интересен факт решения им проблемы выпрямляющего механизма (или параллелограмма Уатта). Выпрамляющий механизм Уатта, названный по имени изобретателя, был предназначен для превращения кругового движения в прямолинейное, выполнял свою задачу не совсем удовлетворительно. Движение только в грубом приближении можно было считать прямолинейным. А из-за такого несовершенства параллелограмма Уатта в машинах возникали вредные сопротивления. Чебышев разрабатывает метод теоретического расчета выпрямляющих механизмов, то есть механизмов, способных «выпрямлять» вращательное движение, превращать его в прямолинейное. Подобные механизмы стали основой многих совершенных конструкций. Следует заметить, что работа над выпрямляющим механизмом была для Чебышева отправной точкой в его деятельности по созданию теории механизмов и машин. Проявляя незаурядные инженерные способности, Чебышев создает и разнообразнейшие механизмы, способные точно воспроизводить движения, работать с остановками, превращать непрерывное движение в движение прерывное. Он строит свою знаменитую переступающую машину, точно воспроизводящую движение идущего животного, создает гребной механизм, повторяющий движение весел, самокатное кресло, модель новой сортировальной машины.

Чебышев изобрел и автомат для вычислений. Созданный в 1881 году, он явился как бы продолжением его работы над совершенствованием оригинальной суммирующей машины, которую Чебышев изобрел тремя годами раньше. Здесь уместно указать, что арифмометр построен в 1874 г. петербургским изобретателем В.Т. Однером. Это прототип арифмометров, которыми пользовались длительное время в ХХ веке и кое-где пользовались донедавно. В отличие от других счетная машина Чебышева могла работать в быстром темпе, превышающем 500 вычислений в час. Поэтому принцип, положенный Чебышевым в конструкцию счетного автомата, привлекал и привлекает к себе внимание многих инженеров. К сожалению, данная модель распространения в России не получила и очутилась в Париже, в музее искусств и ремесел.

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\1F002909.tmp | C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\4EEBB8FF.tmp |
| а | б |
| Рисунок 6.12. Ученые-механики, продолжатели дела Чебышева  а - А.М. Ляпунов, б - Х.И. Гохман | |

Инженеры и ученые черпают в трудах Чебышева методы, формулы, идеи. Когда нужно узнать, при каких условиях проектируемая система рычагов, шарниров, колес может стать цельным механизмом, обращаются к знаменитой структурной формуле Чебышева. Это одна из необходимейших формул для инженеров. Важным достижением русского ученого было и доказательство знаменитой теоремы трехшарнирных четырехзвенников, расписывающих одну и туже шарнирную крутую. Являясь основателем и руководителем петербургской математической школы, он впервые вводит в теорию механизмов (т.е. в прикладную кинематику) математические методы (работа «Теория механизмов», известных под названием параллелограммов).

По совету Чебышева кинематикой механизмов занимались Джеймс Джозеф Сильвестр и ряд английских ученых, которые работали над вопросом о воспроизведении математических зависимостей при помощи механических средств.

Идеи Чебышева получили развитие в работах его учеников. Перу ученика Чебышева – Александра Михайловича Ляпунова, гениального математика и механика, принадлежит изложение теории устойчивости движения. Всякая система, механическая или электрическая, во время работы испытывает ряд внешних и внутренних воздействий. Зачастую эти воздействия нарушают согласованность работы отдельных частей системы. Она при этом теряет устойчивость движения, «разлаживается». Возникают вредные вибрации, толчки, усилия.

Теория Ляпунова, рассматривающая условия устойчивости движения, стала основой научного проектирования самых разнообразных машин и устройств. Вся ценность этой теории выявилась лишь позже, в дни техники больших скоростей, реактивной авиации, автоматики, телемеханики, радиотехники. Конструкторы сложнейших механических и электрических устройств проверяют методом, созданным Ляпуновым, будет ли устойчива, надежна в работе созданная ими система.

Новую теорию пространственных зубчатых механизмов создал другой ученик Чебышева – Х. И. Гохман. Над теорией структуры плоских и пространственных механизмов успешно работал П. И. Сомов.

Во второй половине ХІХ в., когда в промышленности все шире и шире стали распространяться первые двигатели. Перед инженерами встал вопрос о создании надежно работающих регуляторов, способных точно и безотказно реагировать на малейшие изменения нагрузки на паровую машину. К плеяде выдающихся ученых-механиков принадлежит Иван Алексеевич Вышнеградский (1831–1895) - рис.7.13. Именно он положил начало теории автоматического регулирования. Этот труд явился ответом русского ученого на настоятельные требования инженерной практики. Дело в том, что от качества точности изготовления регулятора, его расчета и исполнения зависела работа машины. Неоднократные попытки создать методы предварительного расчета регулятора не давали результатов. И. А. Вышнеградскому удалось решить эту важнейшую научную и техническую задачу. Вышнеградский, в отличие от своих многочисленных предшественников рассматривал движение регулятора не изолированно, а во взаимодействии с движением самой машины. Он вывел ряд математических уравнений и блестяще их проанализировав, создал знаменитые «неравенства Вышнеградского».



Рисунок 6.13. И.А. Вышнеградский, основоположник теории автоматического регулирования

Выводы русского ученого имели первостепенное значение для практики. «Неравенства» и «диаграммы Вышнеградского» стали основой расчета чувствительных, безотказно работавших в свое время регуляторов. Работа И. А. Вышнеградского «О регуляторах прямого действия» была сразу же переведена на несколько иностранных языков. С развитием техники значение ее раскрывалось все шире и шире. Все позднейшие изыскания в области автоматического регулирования опирались на эту работу. И сегодня теория, созданная Вышнеградским, помогает инженерам создавать различные автоматические устройства.

Крупные успехи были достигнуты российскими исследователями и в изучении трения в машинах. Борьба с трением, правильно разработанный режим смазки имеют огромное значение в технике.

В конце ХІХ в., когда промышленность развивалась особенно бурно, от правильного решения этих проблем зависел дальнейший прогресс техники, успех борьбы за высокие скорости и большие мощности. Русский ученый Николай Павлович Петров (1836–1920), впоследствии почетный академик, опубликовал в 1883 г. в «Инженерном журнале» работу о трении в машинах. Он осветил одно из самых «темных» мест механики. Большое внимание ученый уделил проблеме смазывания трущихся поверхностей.



Рисунок 6.14. Исследователь трения в машинах, основоположник классической гидродинамической теории трения, академик Н.П. Петров

Н. П. Петров доказал, что правильно смазанные твердые поверхности не приходят в соприкосновение: их разделяет жидкая пленка. «Если же, – писал он – жидкий слой, смазывающих два твердых тела – вполне отделяет их одно от другого, то непосредственного трения твердых тел уже, очевидно, не может быть. Таким образом, трение в смазанном подшипнике имеет иную природу, нежели трение «сухое»; оно складывается из трения между твердым телом и жидкостью и трением, возникающим при вращении в слоях самой жидкости».

Труд Н.П. Петрова «Трение в машинах» положил начало классической гидродинамической теории трения. Развитию и углублению этой теории ученый посвятил множество работ, вошедших в золотой фонд современной механики. Формула Н.П. Петрова, позволяющая определить силу трения в зависимости от качеств смазочной жидкости, скорость движения и давления на единицу трущейся поверхности, – одна из важнейших инженерных формул, которой пользуются механики.

Создание аэродинамики в значительной степени связано с именем Николая Егоровича Жуковского (1847–1921). Его деятельность не исчерпывается кругом определенных вопросов механики. Имея огромные заслуги в создании авиационной науки он вел исследования турбин, ткацких машин, велосипедных колес, речных судов, мукомолен и т.д. Он составил уравнения динамики для центра тяжести птицы и определил ее траекторию при различных условиях движения воздуха. Особенно плодотворны для Жуковского были 1894–1898 гг., когда он интенсивно работал над изучением полета тел тяжелее воздуха. Крупной научной работой Жуковского является доказательство теоремы о так называемом жестком рычаге. Значение этого труда неизмеримо велико. Почти в каждом механическом устройстве мы найдем либо рычаги, либо их разновидности: ворот, шкивы, шестерни. Этот метод только часть, только звено этой стройной теории механики, в которой Жуковский слил воедино кинематику, кинемостатику и динамику механизмов.

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\FAC1205D.tmp | C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\A3270CF9.tmp |
| Рисунок 6.15. Н.Е. Жуковский, один из основоположников аэродинамики | Рисунок 6.16. С.В. Ковалевская, первая русская женщина-математик |
|  | |

Существенный вклад в науку в ХІХ в. внесла первая русская женщина-математик Софья Васильевна Ковалевская (1850–1891). Став профессором Стокгольмского университета (1884 г.), она блестяще прочла 12 различных курсов, в том числе курс механики. В области механики особенно велик ее вклад в теорию гироскопов: в 1888 г. она опубликовала «Задачу о вращении твердого тела вокруг неподвижной точки», в которой указала на новый случай гироскопа. Впервые после Эйлера и Легранжа было сказано новое слово в теории волны. Своим вкладом в эту область механики С. В. Ковалевская продвинула теорию далеко вперед, оставив блестящие исследования вращения твердого тела вокруг неподвижной точки.

Резание металлов. Говоря о развитии инженерных наук, нельзя не сказать о заслугах отечественных ученых в создании теоретических основ одного из важнейших производственных процессов – процесса резания. Резание – это точение на токарных станках, это фрезерование, сверление, строжка, протягивание, шлифовка – все то, что принято называть «холодной обработкой металлов». Следует сказать, что резание – один из старейших способов придать изделию нужную форму. Многими тысячелетиями отделен от нас тот момент, когда впервые острие инструмента, зажатого в руке человека, сняло стружку с дерева или кости.

Возникновение токарного станка. Токарные станки были изобретены и применялись еще в глубокой древности. Они были очень просты по устройству, весьма несовершенны в работе и имели вначале ручной (рис. 7.17), а впоследствии ножной привод (рис. 7.18).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рисунок 6.17. Древнеегипетский токарный станок  приблизительно 300-й век до нашей эры | Рисунок 6.18. Древнекитайский токарный станок  с ножным приводом |

При ручном приводе обтачиваемое изделие, установленное на двух деревянных стойках, обрабатывали два человека. Один вращал при помощи веревки изделие то вправо, то влево, а другой держал в руках инструмент и обрабатывал им изделие (рис. 6.19).

Следы первых подобных станков найдены на изображениях гробниц Древнего Египта, станок состоял из двух деревянных или костяных центров, в которых заготовку вращали также с помощью лука (рис. 6.20). Суппортом древнему токарю служила собственная рука или нога, поэтому и производительность, и точность обработки по нынешним меркам оставляли желать лучшего. Впрочем, некоторым африканским племенам лучковые станки служат до сих пор. Интересное наблюдение, что во все времена существования токарного ремесла всегда изготавливались детские игрушки. В г. Зонненберге в музее игрушки хранится коллекция игрушек, изготовленных в Греции в V веке до н.э.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рисунок 6.19. Древний токарный станок | Рисунок 6.20. Древний токарный станок,  вращающийся с помощью лука |

Средневековый токарный станок с оцепом (гибкой жердью) устроен следующим образом (рис. 7.21). Оцеп связан с педалью веревкой, обвивающей деталь. При нажатии на педаль деталь закручивается, при отпускании делает обратное движение. Позднее оцеп стали делать жестче и связывать с маховиком, что позволяло запасать значительную энергию. Вследствие этого изобретения токарь свободно владел двумя руками для удержания резца, хотя мог точить только тогда, когда деталь вращалась в нужном направлении. Процесс изготовления становится более рациональным.

Принципиальный переворот в развитие токарного дела внес Леонардо да Винчи, он изобрел маховик, зубчатую передачу, винтовую резьбу, а также токарный станок, нарезающий резьбу с прерывистым движением. Правда, намного более удачным был резьбонарезной станок с непрерываемым движением, который был оценен в промышленности и введен в эксплуатацию лишь через несколько столетий.

Старинный русский токарный станок ножного привода показан на рис. 6.22. Этот станок совершеннее ручного: более устойчивое взаимное положение изделия и инструмента обеспечивало и более точную обработку, а замена ручного привода ножным позволила работать на станке вместо двух одному человеку. Обтачиваемое изделие устанавливалось на заостренных деревянных клиньях 1 и 2 (первых представителях современных центров). Клин 1 закреплялся в стойке наглухо, а клин 2 передвигался до упора в изделие 3 и закреплялся вспомогательным клином 4. Веревка 5, навитая на изделие на 1–2 оборота, одним концом прикреплялась к гибкой жерди 6, а другим – к деревянной подножке 7. Нажимая ногой на подножку, токарь приводил во вращение обтачиваемое изделие. Удерживая обеими руками режущий инструмент, опирающийся о деревянный брусок 8, он прижимал инструмент к изделию и обрабатывал его.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рисунок 6.21. Средневековый токарный станок  с оцепом (гибкой жердью) | Рисунок 6.22. Старинный русский токарный станок |

Затем нажим ноги на подножку прекращался, гибкая жердь выпрямлялась, тянула веревку вверх и вращала изделие в обратном направлении. Обтачивание в это время прерывалось, и таким образом, как и на ручном станке, почти половина рабочего времени тратилась бесполезно.

Токарные станки, показанные на рис. 6.17-6.22, применялись главным образом для обработки деревянных изделий. Необходимость обработки металлических изделий ускорила развитие токарных станков, хотя это развитие происходило очень медленно.

Примерно к 1430 г. вместо очепа стали применять механизм, включающий педаль, шатун и кривошип, получив, таким образом, привод, аналогичный распространенному в XX веке ножному приводу швейной машинки. С этого времени заготовка на токарном станке получила вместо колебательного движения вращение в одну сторону в течение всего процесса точения.

В 1500 г. токарный станок уже имел стальные центры и люнет, который мог быть укреплен в любом месте между центрами.

На таких станках обрабатывали довольно сложные детали, представляющие собой тела вращения (вплоть до шара). Но привод существовавших тогда станков был слишком маломощным для обработки металла, а усилия руки, держащей резец, недостаточными, чтобы снимать большую стружку с заготовки. В результате обработка металла оказывалась малоэффективной, необходимо было заменить руку рабочего специальным механизмом, а мускульную силу, приводящую станок в движение, более мощным двигателем.

Появление водяного колеса привело к повышению производительности труда, оказав при этом мощное революционизирующее действие на развитие техники. А с середины XVI в. водяные приводы стали распространяться в металлообработке.

В середине XVI Жак Бессон (умер в 1569 г.) изобрел токарный станок для нарезки цилиндрических и конических винтов.

В начале XVIII века [Андрей Константинович Нартов](http://turner.narod.ru/dir1/nartov.htm) (1693-1756), механик Петра I, изобрел оригинальный токарно-копировальный и винторезный станок с механизированным [суппортом](http://turner.narod.ru/dir1/support.htm) и набором сменных зубчатых колес.

К идее механизированного передвижения резца изобретатели шли долго. Впервые эта проблема особенно остро встала при решении таких технических задач, как нарезание резьбы, нанесение сложных узоров на предметы роскоши, изготовление зубчатых колес и т.д. Для получения резьбы на валу, например, сначала производили разметку, для чего на вал навивали бумажную ленту нужной ширины, по краям которой наносили контур будущей резьбы. После разметки резьбу опиливали напильником вручную. Не говоря уже о трудоемкости такого процесса, получить удовлетворительное качество резьбы таким способом весьма трудно. А.К. Нартов не только решил задачу механизации этой операции, но в 1718-1729 гг. сам усовершенствовал схему. Копировальный палец и суппорт приводились в движение одним ходовым винтом, но с разным шагом нарезки под резцом и под копиром. Таким образом было обеспечено автоматическое перемещение суппорта вдоль оси обрабатываемой заготовки. Правда, поперечной подачи еще не было, вместо нее было введено качание системы «копир-заготовка». Поэтому работы над созданием суппорта продолжались. Свой суппорт создали, в частности, тульские механики Алексей Сурнин и Павел Захава.

Андрей Константинович Нартов, один из самых замечательных русских техников XVIII в., воспитанник Московской школы «математических и навигационных наук», впервые в мире в 1715 г. изобрел и затем построил токарно-копировальный станок с суппортом – механическим держателем режущего инструмента, заменяющим руку человека. На этом станке, хранящемся ныне в Государственном Эрмитаже в Санкт- Петербурге, сохранилась надпись: «Начало произвождения к строению махины 1718-го, решена 1729 году. Механик Андрей Нартов». В 1719 г. Нартов писал Петру I из Лондона о том, что он «здесь таких токарных мастеров, которые превзошли российских мастеров, не нашел, и чертежи махинам, которые ваше царское величество приказал здесь сделать, я мастерам казал, и оные сделать по ним не могут...». Так при первом знакомстве Нартова с зарубежной техникой он смог убедиться в том, что русские мастера не только не уступают зарубежным, но и превосходят их.

|  |  |
| --- | --- |
| nartov  а | б |

Рисунок 6.23. Ученые, занимавшиеся разработкой токарных станков:

а – А.К. Нартов; б – Г. Модсли

А.К. Нартов опередил почти на столетие Генри Модсли, которому необоснованно приписывается буржуазными авторами изобретение суппорта в 1797 г. Хранящиеся в Государственном Эрмитаже станки Нартова доказывают, что он еще в начале XVIII в. работал на станках своего изобретения, на которых еще с большей точностью, чем в конце XVIII в. у Модсли, можно было изготовлять, притом автоматически, металлические изделия любой формы. Изобретение суппорта ознаменовало собой начало новой эпохи в развитии не только токарных, но и других металлорежущих станков. Следовательно, благодаря изобретению А. К. Нартова Россия почти на столетие опередила Западную Европу и Америку в создании токарных станков с суппортами (рис. 6.23).

Накопленный опыт позволил к концу XVIII века создать универсальный токарный станок, ставший основой машиностроения. Его автором стал [Генри Модсли](http://turner.narod.ru/dir1/modsli.htm). В 1794 г. он создал конструкцию суппорта, довольно несовершенную. В 1798 г., основав собственную мастерскую по производству станков, он значительно улучшил суппорт, что позволило создать вариант универсального токарного станка (рис. 7.24). В 1800 г. Модсли усовершенствовал этот станок, а затем создал и третий вариант, содержащий все элементы, которые имеют токарно-винторезные станки сегодня. При этом существенно то, что Модсли понял необходимость унификации некоторых видов деталей и первым стал внедрять стандартизацию резьб на винтах и гайках. Он начал выпускать наборы метчиков и плашек для нарезки резьб.

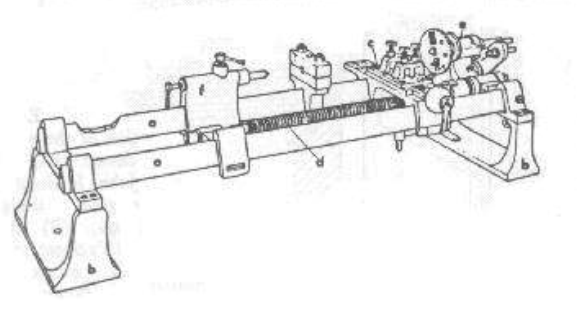
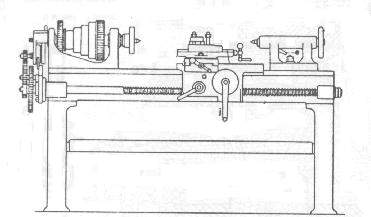
 

Рисунок 6.24. Токарный станок Г.Модсли (1797)

Одним из учеников и продолжателей дела Модсли был Р. Робертс. Он улучшил токарный станок тем, что расположил ходовой винт перед станиной, добавил зубчатый перебор, ручки управления вынес на переднюю панель станка, что сделало более удобным управление станком. Этот станок работал до 1909 г.

Другой бывший сотрудник Модсли – Д. Клемент создал лоботокарный станок для обработки деталей большого диаметра. Он учел, что при постоянной скорости вращения детали и постоянной скорости подачи по мере движения резца от периферии к центру скорость резания будет падать, и создал систему увеличения скорости.

В 1835 г. Д. Витворт изобрел автоматическую подачу в поперечном направлении, которая была связана с механизмом продольной подачи. Этим было завершено принципиальное совершенствование токарного оборудования.

Следующий этап – автоматизация токарных станков. Здесь пальма первенства принадлежала американцам. В США развитие техники обработки металлов началось позднее, чем в Европе. Американские станки первой половины XIХ в. значительно уступали станкам Модсли.

Во второй половине XIХ в. качество американских станков было уже достаточно высоким. Станки выпускались серийно, причем вводилась полная взаимозаменяемость деталей и блоков, выпускаемых одной фирмой. При поломке детали достаточно было выписать с завода аналогичную и заменить сломанную деталь на целую без всякой подгонки.

Во второй половине XIХ в. были введены элементы, обеспечивающие полную механизацию обработки: блок автоматической подачи по обеим координатам, совершенная система крепления резца и детали. Режимы резания и подач изменялись быстро и без значительных усилий. В токарных станках имелись элементы автоматики: автоматический останов станка при достижении определенного размера, система автоматического регулирования скорости лобового точения и т.д.

Производственники не имели правильного представления о том, что происходит с металлом в момент, когда лезвие резца вживается в него и отделяет от него слой стружки. Токари подбирали режимы резания, углы заточки инструмента, основываясь только на опыте.

По-научному подошел к проблеме резания ученый Иван Тиме, опубликовавший в 1870 году труд «Сопротивление металлов и дерева резанию» – плод многолетних исследований. И.Тиме установил новые законы резания. Проделав огромное количество опытов, он показал, что в момент снятия стружки под действием резца в металле происходит постепенное непрерывное разрушение частиц, а стружка отделяется в результате скалывания частиц. Русский ученый дал научно обоснованные таблицы резания и формулы, которые перешли затем во все руководства по металлообработке.

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\16DEAE35.tmp | C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\FE4D730B.tmp |
| а | б |
| Рисунок 6.25. Ученые, исследовавшие процесс резания  а-И.А. Тиме, б-К.А. Зворыкин | |

В 1893 г. с теорией резания выступил профессор К. А. Зворыкин. Исходя из исследований, в которых применяется изобретенный им прибор для измерения сил резания, Зворыкин предложил формулу, позволяющую установить зависимость толщины снимаемой стружки от силы, действующей на инструмент.

Три года спустя, в 1896 г., другой российский ученый, А. А. Брикс выпустил книгу «Резание металлов», где дал научную разработку режимов резания, показал какие углы резания, какие режимы следует применять при обработке металла той или иной твердости.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\DDFA4C51.tmp | | C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\767AE387.tmp | Alexandr Mikhailovich Ignatyev.jpg |
| а | б | | в |
| Рисунок 6.26. Ученые, внесшие вклад в обработку металлов и создание металлообрабатывающего инструмента:  а - А.А. Брикс, б - Я.Г. Усачев, в - А.М. Игнатьев | | | |

Большое значение для продвиждения вперед науки о резании металлов имели работы Я. Г. Усачева, талантливого техника мастерских Петербургского политехнического института. Усачев провел большие исследования микроструктуры металлической стружки: стал фотографировать микрошлифы, полученные из металла стружек. Это позволило ему в подробностях изучить процессы, происходящие в стружке в момент отделения ее от обрабатываемого изделия. Усачев положил начало исследованию одного из важнейших явлений, сопровождающих резание, – выделение тепла. Вклад ученых практиков в создание режущего инструмента в металлообработке весьма значителен. Так, изобретатель А. М. Игнатьев создал самозатачивающие инструменты. Резцы, ножи, пилы, зубья ковшей экскаваторов, сделанные по методу Игнатьева, не только не тупятся во время работы, но даже становятся острее. К изобретению этих замечательных инструментов, А. М. Игнатьев биолог по образованию, пришел оригинальным путем. Он начал с разгадки удивительного факта: почему зубы грызунов и когти хищников всегда остры, никогда не тупятся. Он разгадал, что самая твердая часть когтя или зуба – его сердцевина. Поэтому чем дальше слой находится от сердцевины, тем он быстрее стирается во время работы. Сердцевина вследствие этого возвышается над окружающими слоями, поэтому зуб или коготь всегда имеют заостренную форму. Угол резания такого природного инструмента неизменен. Разгадав секрет неизменной остроты зубов и когтей, Игнатьев положил этот принцип в основу своих самозатачивающихся инструментов. Он собрал их из отдельных листков стали, изобретя для этого и особый способ сварки по всей поверхности предмета. Листки были изготовлены из сталей самых разных твердостей: начиная от самых мягких, кончая самыми твердыми, из которых делались сердцевинные слои.

Большую работу провел А. М. Игнатьев по внедрению трубчатого вращающегося резца. При неподвижном резце половина, а порой и больше всей энергии, потребляемой для резания металла, непроизводительно тратится на преодоление трения между стружкой и резцом. Остроумным путем он сумел избежать этих потерь. Резец Игнатьева, похожий на чашку с заточенной кромкой, укрепляется в подшипнике. Стружка металла, ползущая с изделия, приводит резец во вращение. Резцы, над которыми работал Игнатьев позволяют добиваться огромных скоростей резания, достижимых только с резцами из специальных твердых сплавов. Вообще следует сказать, что своими методами скоростного резания прославились многие ученые и новаторы производства. Рядом с именем известного физика В. Д. Кузнецова и его учеников, разработавших теорию скоростного резания, стоят имена мастеров усовершенствованной обработки металлов: Г. Борткевича, П. Быкова, Ю. Дикова, А. Чикарева, В. Колесова и других.

Огромное значение как для теории механики, так и для практики инженерного дела имели работы по научной классификации механизмов. Нужда в такой классификации машин относится к ХVIII веку: французский ученый Монж еще тогда попробовал навести порядок в мире механизмов. Однако классификация Монжа получилась столь громоздкой, что ученый, доведя составление ее до 21 класса, прекратил свою работу. Позднее за разработку классификации механизмов брались многие ученые – Гашет, Бетанкур, Виллис. Но эти системы оказались недостаточно жизненными. Задача создания действительно научной системы механизмов долгое время оставалась нерешенной. Первым, кто занялся последовательным построением классификации механизмов, был ученик Жуковского – русский ученый-механик Леонид Владимирович Ассур (1878–1920). Он пришел к выводу, что любой, даже самый сложный механизм можно рассматривать как сочетание нескольких более простых элементов. Образование механизмов по Ассуру можно представить, как своеобразное наслоение таких элементов. Анализ этих-то составных частей механизма и положил ученый в основу своей классификации.

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\43A764A.tmp | C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\6F6E9336.tmp |
| а | б |
| Рисунок 6.27. Создатели классификации механизмов  а - Л.В. Ассур, б - И.И. Артоболевский | |

Разработка структурной теории Ассура была продолжена советским ученым Иваном Ивановичем Артоболевским (1905–1977). Работая на протяжении ряда лет над развитием идей своего предшественника и исследуя важный вопрос о возможности их применения, он построил стройную структурную и классификационную систему механизмов.

Тончайший вопрос теоретической механики нашел свое разрешение в трудах русского ученого Ивана Всеволодовича Мещерского (1859–1935) – автора классического учебника и задачника по теоретической механике, которые не утратили практическое значение и сегодня. Выдающийся теоретик Мещерский основал новый раздел науки – механику тела с переменной массой. Это, как казалось когда-то, далекое от практики исследование с развитием техники, особенно в наши дни, приобрело исключительное значение. К телам с переменной, главные законы движения которых установил Мещерский, принадлежит и ракета: во время полета масса ее по мере сгорания топлива резко меняется. И сейчас, когда в авиации созданы аппараты с реактивными двигателями, труды русского исследователя привлекают пристальное внимание инженеров и ученых, используются при расчете космических аппаратов.

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\28D38D25.tmp | C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\2D92DF7B.tmp |
| Рисунок 6.28. И.В. Мещерский, основатель нового раздела в науке – механике тела с переменной массой | Рисунок 6.29. А.Н. Крылов, основоположник теории моделирования кораблей |

Многим обогатил механику и «создатель кораблестроительной науки» Алексей Николаевич Крылов (1863–1945). Разрабатывая метод подобия, основы которого заложил еще Кулибин, он дал теорию моделирования кораблей. Крылов оставил глубокие исследования в труднейшей отрасли механики, изучающей жироскопы. Его труды по теории жироскопа, стали настольными книгами конструкторов навигационных приборов. Теория Крылова помогает строить морские и авиационные жирокомпасы и автопилоты.

Новое слово в машиностроении сказал академик Василий Прохорович Горячкин (1868–1935). С его именем связано рождение новой науки – науки о сельскохозяйственных машинах. Возраст плуга исчисляется многими тысячами лет, но и в конце ХIХ в. это важнейшее сельскохозяйственное орудие конструировали, основываясь только на одном опыте, не вводя теоретических расчетов. Так же обстояло дело и с машинами, появившимися позднее, – жатками, сеялками, молотилками. Науки о сельскохозяйственных машинах не существовало. Тем более не делалось попыток установить зависимость конструкции земледельческих машин от свойств зерна, почвы и особенностей растений.

Не отбрасывая пока старого, чисто описательного курса машиностроения, В.П. Горячкин (рис.6.30) с 1896 г. читает курс сельскохозяйственных машин в Петровской сельскохозяйственной академии (ныне им. Тимирязева) и активно работает над теоретическими основами и конструированием сельскохозяйственных машин. В.П. Горячкин создает теорию для сельскохозяйственного машиностроения – теорию построения плуга. В 1900 г. он печатает научные работы «Бороны», «Веялки», «Сортировки», «Жатвенные машины». Раскрывая законы механики, на которых основано действие машин, он впервые пытается теоретически решить, каким требованиям должно отвечать устройство земледельческой машины. Этими трудами и ознаменовалось рождение новой науки – науки о сельскохозяйственных машинах, названной В.П. Горячкиным «Земледельческая механика»; он и заложил также основы общей теории сельскохозяйственных машин.



Рисунок 6.30. В.П. Горячкин, ученый, внесший вклад в создание сельскохозяйственных машин

Первые годы ХХ в. характеризовались повышенной активностью машиностроителей. Появлением новых типов машин, в особенности транспортных, заставило обратить серьезное внимание на материалы, применяемые в машиностроении, и на совершенствование расчетных методов теории упругости. Степан Прокофьевич Тимошенко (1878–1971), бывший первые годы ХХ в. профессором Петербургского института инженеров путей сообщения, решил ряд задач изгиба и кручения призматичных стержней. Важное значение в теории упругости получили в это время двухмерная и трехмерная задачи. Для решения двухмерной задачи Г.В. Колосов (1877–1936) воспользовался аппаратом теории функций комплексного переменного. Эти идеи были развиты его учеником Н.И. Мусхелишвили (1891–1976), который изучил концентрацию напряжений и впервые учел связь термических и силовых напряжений. Решение трехмерной – пространственной задачи было дано С. П. Тимошенко, А. Фепплем, К. Рунге. Несколько позже, в конце 20-х годов, Мусхелишвили предложил и в этом случае использовать методы теории функций комплексного переменного. Как уже отмечалось, к началу ХХ в. относится становление неголономной механики. Как известно, этим термином Герц предложил называть системы, движения которых подчинено неинтегрированным кинетическим связям, и впервые использовал его в своих «Основаниях механики» (1894). В 1895 г. С. А. Чаплыгин составил дифференциальные уравнения движения системы в обобщенных голономных координатах при наличии линейных неголономных связей и равного числа циклических координат. Важный вклад в теорию внес профессор Киевского университета Петр Васильевич Воронец (1871–1923). Впервые он занялся неголономной механикой в 1901 г. Позже вывел общие уравнения движения неголономных систем. В 1909 г. в работе «Задача о движении твердого тела» и в последующих работах ввел условие зависимости силы лишь от положения точки от поверхности.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\4686DB1D.tmp | | C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\8F367833.tmp | C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\FE6913B9.tmp |
| а | б | | в |
| Рисунок 6.31. Ученые, работавшие над совершенствованием расчетных методов теории упругости:  а - С.А. Чаплыгин, б - С.П. Тимошенко, в - Н.И. Мусхелишвили | | | |

На стыке многих направлений – механики, математики, различных отраслей техники – возникла в конце ХІХ в. теория устойчивости. Здесь, наряду с Анри Пуанкаре, громадная заслуга принадлежит Александру Михайловичу Ляпунову. Его основополагающие научные поиски, и особенно докторская диссертация «Общая задача об устойчивости движения» (1892) послужили основой теории.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\A605E72F.tmp | | | | C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\845BE815.tmp | | C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\FC527EB.tmp |
| а | | | б | | | в |
| C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\CD777048.tmp | | | C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\94C0EC9F.tmp | | |  |
| г | | | д | | |  |
| Рисунок 6.32. Российские и советские ученые, внесшие вклад в технические науки на стыке дисциплин в начале XX века:  а - Я.И. Грдина, б - Н.Н. Лузин, в - П.С. Александров, г - М.А. Лаврентьев,  д - А.Н. Колмогоров | | | | | | |
| C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\9446BF05.tmp | | C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\8B8B4C5B.tmp | | | C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\F678221.tmp | |
| а | б | | | | в | |
| C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\CC6A29D7.tmp | C:\Users\szolotov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.MSO\914048FD.tmp | | | |  | |
| г | д | | | |  | |
| Рисунок 6.33. Российские и советские ученые, представители московской математической школы:  а - И.И. Привалов, б - Д.Е. Меньшов, в - Н.К. Бари, г - М.В. Келдыш,  д - В.В Голубев | | | | | | |

Период, охватывающий конец ХІХ и первые десятилетия ХХ в., оказался чрезвычайно плодотворными в истории развития теоретической и прикладной механики. В эти годы были высказаны многие идеи, развитые впоследствии в целые научные направления.

Очень важную роль в развитии отечественного математического естествознания сыграла московская математическая школа, основанная А. Д. Егоровым и его учеником Н.Н.Лузиным. К этой школе принадлежат такие крупные ученые, как П.С.Александров, М. А. Лаврентьев, А. Н. Колмогоров, И. И. Привалов, Д. Е. Меньшов, Н. К. Бари, М. В. Келдыш, В. В. Голубев и др. Н. Н. Лузин и его ученики развили ряд важнейших направлений математики и создали математический аппарат для решения многих задач теоретической и прикладной механики.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ...заведующий кафедрой нефтепромысловой механики Леонид Самуилович Лейбензо... | Некрасов-АИ.jpg | Kochin n.e .jpg |
| а | б | в |
| Дородницын Анатолий Алексеевич.jpg | N.G. CHetaev.jpg |  |
| г | д |  |
| Рисунок 6.34. Ученые, внесшие вклад с советское авиастроение  а – Л.С. Лейбензон, б – А.И. Некрасов, в – Н.Е. Кочин, г – А.А. Дородницын, д – Н.Г Четаев | | |

С появлением и развитием автомобильного, а затем авиационного транспорта повысился интерес к нефти и ее транспортировке. Возникла практическая задача движения вязкой жидкости. В бывшем СССР над ее решением работал один из учеников Жуковского – Л. С. Лейбензон.

В 20-30-е годы самыми важными задачами в области аэрогидродинамики продолжали оставаться те, что были связаны с теорией самолета. В эти годы Н. Е. Кочин решал задачу об установившемся движении круглого в плане крыла в идеальной несжимаемой жидкости, В. В. Голубев развил теорию машущего крыла, А. А. Дородницын решил задачу полета для случая стреловидного крыла и крыла, летящего со скольжением. Идеи Н. В. Жуковского и получили дальнейшее развитие в работах А.И.Некрасова, М. А. Лаврентьева, М. В. Келдыша, Л. И. Сизова.

Проблемы, которые имели ранее только теоретическое значение, получили важное практическое применение. К ним относилась, в частности, проблема устойчивости. Она имеет важное значение для самых различных областей науки и техники, имевших дело с системами, состояниями и процессами. А.Н.Ляпунов в монографии «Общая задача об устойчивости движения» (1892) решил эту проблему для систем с конечным числом степеней свободы. Н.Г.Четаев (1902–1959) применял теорию Ляпунова к проблеме неустойчивости движения и решил ряд технических задач, которые относились к устойчивости полета снаряда и устойчивости самолета. В 1936 г. он предложил постулат устойчивости, содержащий требование малых отклонений между теорией и экспериментом. Методы Ляпунова нашли применение также в учении о колебаниях. Повышение рабочих скоростей заставило обратиться к нелинейной теории колебаний. К началу 30-х годов в СССР ею занимались две школы: Л. И. Мандельштама, Н. Д. Папалекси и А. А. Андропова, которые исходили из нелинейной теории колебаний, применяя при этом методы Ляпунова, и школы И. М. Крылова и Н. Н. Боголюбова, которые развивала асимптотические методы. Исследования Крылова и Боголюбова привели к созданию нового научного направления, получившего название нелинейной механики. Методы нелинейной механики тогда же были применены к решению важнейших задач строительной механики, авиастроения, машиностроения, электротехники и радиотехники.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Мендельштам Л.И., портретное фото. | Паплекси НД.jpg | Боголюбов Николай Николаевич.jpg |
| а | б | в |
| Рисунок 6.35. Ученые, исследовавшие колебания  а – Л.И. Мандельштам, б – Н.Д. Папалекси, в – Н.Н Боголюбов | | |

|  |  |
| --- | --- |
| Boris Grigoryevich Galerkin.jpg | Александр Николаевич Динник.jpg |
| а | б |
| Рисунок 6.36. Ученые, исследовавшие свойства упругости в машиностроении  а – Б.Г. Галеркин, б – А.Н. Динник | |

В это же время одно из первых мест по важности технических решений заняли вопросы механики сплошной среды.

В области теории упругости Н.И.Мусхелишвили и его ученики исследовали плоскую задачу при помощи методов теории функций комплексного переменного. В середине 30-х годов ХХ в. Б. Г. Галеркин (1871–1945) построил теорию изгиба пластинок и начал исследования по теории оболочек, которые привели к значительным результатам: он обеспечил большую точность расчетов и распространил теорию на оболочки средней толщины. Предложенное им приближонное решение для цилиндрической оболочки дало возможность рассчитывать трубопроводы под произвольной нагрузкой.

Подобные задачи были необходимы для строительной техники. В это же время возникают и комплексные проблемы, относящиеся одновременно к строительной механике, теории упругости и теории устойчивости, например, проблема устойчивости упругих систем, теория стержневых систем. А. Н. Диннин (1876–1950) развил теорию устойчивости элементов сооружений и применил методы теории упругости к решению задач горной механики, в частности, к теории прочности шахтных каналов. П. Ф. Паппович (1887–1946) решил ряд общих задач теории устойчивости и развил экспериментальные методы изучения прочности корабля. А. Н. Крылов активно занимался строительной механикой корабля. Его работа «О расчете балок, лежащих на упругом основании» (1930) явилась важным вкладом в строительную механику. В это же время В. М. Майзель начал исследования в области термоупругости, которые продолжил А. Д. Коваленко.

|  |  |
| --- | --- |
| Papkovich PF.gif | https://upload.wikimedia.org/wikipedia/uk/a/ab/%D0%9A%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE_%D0%90%D0%BD%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BB%D1%96%D0%B9_%D0%94%D0%BC%D0%B8%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87.gif |
| а | б |
| Рисунок 6.37. Ученые, исследовавшие прочность конструкций  а – П.Ф. Папкович, б – А.Д. Коваленко | |

Важным методом исследования напряжений в машинных деталях стал оптический метод, который разрабатывали как советские, так и зарубежные (английские, американские) ученые. Еще в ХIХ в. начинает оформляться новое направление механики – теория пластичности. Математическая теория пластичности была построена в 1870–1871 гг. Сен – Венаном и Морисом Леви. С середины 30-х годов ХХ в. инициатива в дальнейшем решении ее задач переходит к советским ученым. Ряд задач решил С. А. Христианович. Затем С. Л. Соболев, который рассмотрев, в частности, состояние переходное от упругого к пластичному.

|  |  |
| --- | --- |
| Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН.... | В 1934-м вместе с Математическим институтом Сергей Львович Соболев переехал... |
| а | б |
| Рисунок 6.38. Ученые, исследовавшие напряжения в деталях машин  а – С.А. Христианович, б – С.Л. Соболев | |

Возникают и новые методы обработки и соединения деталей. Важнейшим из них стала сварка.

Кузнечная сварка и пайка были ведущими процессами сварочной техники вплоть до конца ХIХ в., когда начался совершенно новый, современный период развития сварки. Несоизмеримо выросло производство металла и всевозможных изделий из него, многократно – потребность в сварочных работах, которую не могли уже удовлетворить существовавшие способы сварки. Началось стремительное развитие сварочной техники – за десятилетие она совершенствовалась больше, чем за столетие предшествующего периода. Быстро развивались и новые источники нагрева, легко расплавлявшие железо: электрический ток и газокислородное пламя.

Особо нужно отметить открытие электрического дугового разряда, на использовании которого основана электрическая дуговая сварка – важнейший вид сварки настоящего времени. Видная роль в создании этого способа принадлежит ученым и инженерам нашей страны. Само явление дугового разряда открыл и исследовал в 1802 году русский физик и электротехник, впоследствии академик Василий Владимирович Петров (рис. 7.39).

|  |  |
| --- | --- |
| Петров Василий Владимирович | 664153219 |
| а | б |
| 125057242 | Патон, Евгений Оскарович — Википедия |
| в | г |

Рисунок 6.39. Создатели электродуговой сварки:

а – В.В. [Петров](http://www.autowelding.ru/index/petrov_vasilij_vladimirovich/0-8), б – Н.Н. [Бенардос](http://www.autowelding.ru/index/benardos_nikolaj_nikolaevich/0-7), в – Н.Г. [Славянов](http://www.autowelding.ru/index/slavjanov_nikolaj_gavrilovich/0-10), г – Е.О. Патон

Академик В.В. Петров обратил внимание на то, что при пропускании электрического тока через два стержня из угля или металла между их концами возникает ослепительно горящая дуга (электрический разряд), имеющая очень высокую температуру. Он изучил и описал это явление, а также указал на возможность использования тепла электрической дуги для расплавления металлов и тем заложил основы дуговой сварки металлов.

Н.Н. Бенардос в 1882 г. изобрел способ дуговой сварки с применением угольного электрода. В последующие годы им были разработаны способы сварки дугой, горящей между двумя или несколькими электродами; сварки в атмосфере защитного газа; контактной точечной электросварки с помощью клещей; создан ряд конструкций сварочных автоматов. Н.Н. Бенардосом запатентовано в России и за границей большое количество различных изобретений в области сварочного оборудования и процессов сварки.

Автором метода дуговой сварки плавящимся металлическим электродом, наиболее распространенного в настоящее время, является Н.Г. Славянов, разработавший его в 1888 г.

Н.Г. Славянов не только изобрел дуговую сварку металлическим электродом, описал ее в своих статьях, книгах и запатентовал в различных странах мира, но и сам широко внедрял ее в практику. С помощью обученного им коллектива рабочих-сварщиков Н.Г. Славянов дуговой сваркой исправлял брак литья и восстанавливал детали паровых машин и различного крупного оборудования. Н.Г. Славянов создал первый сварочный генератор и автоматический регулятор длины сварочной дуги, разработал флюсы для повышения качества наплавленного металла при сварке. Созданные Н.Н. Бенардосом и Н.Г. Славяновым способы сварки явились основой современных методов электрической сварки металлов.

Внедрение сварки в производство проходило очень интенсивно, так, в России с 1890 по 1892 года было по их технологии отремонтировано с высоким качеством 1631 изделие общим весом свыше 17 тыс. пудов, это в основном чугунные и бронзовые детали. Они даже разработали проект ремонта российского памятника литейного производства «Царь-колокола», но работа не была разрешена, и мы сейчас можем любоваться на российские нетленные символы: колокол, который не звонил, и на пушку, которая не стреляла.

Известный мостостроитель академик [Евгений](http://www.autowelding.ru/index/paton_evgenij_oskarovich/0-12) Оскарович Патон, предвидя огромное будущее электросварки в мостостроении и в других отраслях хозяйства, резко сменил поле своей научной деятельности и в 1929 году организовал сначала лабораторию, а позднее первый в мире институт электросварки (г. Киев). Им было разработано и предложено много новых и эффективных технологических процессов электросварки. В годы войны в короткий срок под его руководством были разработаны технология и автоматические стенды для сварки под слоем флюса башен и корпусов танков, самоходных орудий, авиабомб.

Метод соединения элементов металлоконструкций при помощи сварки был лишь одним из практических выходов прикладной механики. 20 – 30-е годы принесли много проблем, связанных с созданием новых конструкций. В строительную практику начал внедряться железобетон, появились рамные конструкции, элементы которых работают в основном на изгиб. Для расчета таких конструкций были созданы новые методы, основанные на учении деформации.

Паровые двигатели, несомненно, дали мощный толчок развитию мельничного дела, но они имели недостатки. Во-первых, такие двигатели требовали наличия котельной и паропроводов, во-вторых, с экономической точки зрения эксплуатация паровых двигателей выгодна только на основе общетрансмиссионного привода. У него были свои недостатки: громоздкость, опасность в эксплуатации, вибрации несущих конструкций, отсутствие регулировок приводов отдельных машин.

Все это пододвигало конструкторов машин к идее индивидуального привода. В 80-е годы ХІХ века был разработан двигатель внутреннего сгорания (ДВС), но для привода мельничного оборудования он не подходил, так как это оборудование работает в помещении, где загазованность выхлопными газами недопустима.

Параллельно с работой над ДВС ученые занимались и разработкой электродвигателей.

Один из первых совершенных электродвигателей, работавших от батареи постоянного тока, создал в 1834 году русский электротехник Б.С. Якоби (рис. 6.40). Этот двигатель имел две группы П-образных электромагнитов, из которых одна группа располагалась на неподвижной раме. Их полюсные наконечники были устроены асимметрично – удлинены в одну сторону. Вал двигателя представлял собой два параллельных латунных диска, соединенных четырьмя электромагнитами, поставленными на равном расстоянии один от другого.

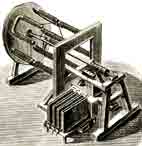


Рисунок 6.40. Общий вид электродвигателя Б.С. Якоби

При вращении вала подвижные электромагниты проходили против полюсов неподвижных. У последних полярности шли попеременно: то положительная, то отрицательная. К электромагнитам вращающегося диска отходили проводники, укрепленные на валу машины. На вал двигателя был насажен коммутатор, который менял направление тока в движущихся электромагнитах в течение каждой четверти оборота вала. Обмотки всех электромагнитов неподвижной рамы были соединены последовательно и обтекались током батареи в одном направлении. Обмотки электромагнитов вращающегося диска были также соединены последовательно, но направление тока в них изменялось восемь раз за один оборот вала. Следовательно, полярность этих электромагнитов также менялась восемь раз за один оборот вала, и эти электромагниты поочередно притягивались и отталкивались электромагнитами неподвижной рамы.

Двигатель Б.С.Якоби для своего времени был самым совершенным электротехническим устройством. В том же 1834 году подробное сообщение о принципах его работы было представлено Парижской Академии наук.

В 1838 году Б.С.Якоби усовершенствовал свой электромотор и, установив его на гребном боте, с десятью спутниками совершил небольшое плавание по Неве со скоростью 4,5 км/ч. Источником тока ему служила мощная батарея гальванических элементов. Однако такие электродвигатели не могли найти широкого применения, так как питать их от батареи было слишком дорого и невыгодно. Поэтому ученые и изобретатели стали заниматься созданием электродвигателей переменного тока, который был к тому времени более или менее изучен.

Вначале была разработана модель так называемого синхронного двигателя переменного тока. Один из первых таких двигателей построил в 1841 году Чарльз Уитстон. Его система обладала большими недостатками: кроме того, что синхронный двигатель требовал для своего запуска дополнительный разгонный двигатель, он имел и другой изъян – при перегрузке синхронность его хода нарушалась, магниты начинали тормозить вращение вала, и двигатель останавливался. Поэтому тогда синхронные двигатели не получили широкого распространения.

Подлинная революция в электротехнике произошла только после изобретения асинхронного двигателя.

В конце 80-х гг. XIX в. одними из первых разработкой двигателей переменного тока начали заниматься итальянский физик Г. Феррарис и американский изобретатель сербского происхождения Н. Тесла. Однако созданные ими двухфазные двигатели не смогли найти эффективного практического применения из-за конструктивных недоработок, связанных с теоретическими просчетами.

Блестяще решил вопрос в пользу переменного тока наш соотечественник Михаил Осипович Доливо-Добровольский (1862–1919) – изобретатель трехфазного асинхронного электродвигателя и разработчик основных элементов трехфазной системы переменного тока.

Доливо-Добровольский установил, что для создания вращающегося магнитного поля – основы работы асинхронного двигателя – технически и экономически целесообразно применение симметричной трехфазной магнитной системы со сдвигом фаз на 120°. Трехфазный асинхронный электродвигатель, изготовленный М.О. Доливо-Добровольским в 1889 г., продемонстрировал высокую эффективность и неоспоримые преимущества перед двухфазными двигателями Г. Феррариса и Н. Теслы (рис. 6.41).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| lenz  а | б | 79d8d200568f  в |
| Рисунок 6.41. Ученые, занимавшиеся разработкой электродвигателей:  а – Б.С. Якоби; б – Н. Тесла; в – М.О. Доливо - Добровольский | | |

Первой демонстрацией практического применения асинхронного двигателя и трехфазной системы стала Международная электротехническая выставка 1891 г. во Франкфурте-на-Майне. Выставку с гидроэлектростанцией на реке Неккар в городе Лауфен соединила 170-километровая линия электропередачи. А 25 августа на выставке зажглась тысяча электроламп, питаемых током от Лауфенской электростанции. Затем был пущен трехфазный асинхронный двигатель М.О. Доливо-Добровольского мощностью 75 кВт, приводивший в действие декоративный десятиметровый водопад.

Впечатление, произведенное первым запуском двигателя, было огромным. Для многих стало очевидно, что долгий тернистый путь создания промышленного электродвигателя наконец пройден до конца. По своим техническим показателям двигатели М.О. Доливо-Добровольского превосходили все существовавшие тогда электромоторы: обладая очень высоким КПД, они безотказно работали в любых режимах, были надежны и просты в обращении. Поэтому они сразу получили широкое распространение по всему миру. С этого времени началось быстрое внедрение электродвигателей во все сферы производства и повсеместная электрификация промышленности, в том числе и мукомольной.

Использование трехфазного асинхронного электродвигателя позволило сделать индивидуальный привод для каждой машины. Вместо паропроводов и общетрансмиссионных валов создавалась электрическая сеть, в которую включались электродвигатели машин. В таком виде эта система существует и сейчас.

Дальнейшим перспективным развитием мельничных машин является внедрение электродвигателя не только для привода машин, но и для привода ее рабочих органов. Такая система не только значительно упрощает кинематические схемы пищевых машин (а они очень сложны), но и открывает большие возможности регулировки кинематических параметров рабочих органов не механическими, а электрическими способами.

ВЫВОДЫ.

Надежность – это оценка качества функционирования изделий и объектов на предмет соответствия их свойств заданным требованиям. Эта оценка присутствовала всегда в явном и неявном виде. Ещё при царе Петре I были узаконены испытания выборочных единиц стрелкового оружия до окончательного разрушения.

Как отрасль науки надежность сложилась только в середине XX века. Большой вклад в развитие надежности внесли советские ученые. Надежность и качество взаимосвязанные показатели и надежность является одним из параметров качества как комплексного показателя. В этой системе надежность выступает как граница, переход которой приводит к выходу объекта из строя.

Надежность базируется на теории вероятности, математической статистики и комплексе инженерных дисциплин, связанных с прочностью и долговечностью.

Теория надежности позволяет оценивать функционирование сложных систем, включающих и человека как элемент системы.

Появление компьютерных технологий открывали новые возможности в оценке надежности и качества функционирования таких систем.