МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«Харківський політехнічний інститут»

А. О. Ларін

Історія науки і техніки

Підручник для студентів машинобудівних
спеціальностей технічних ЗВО

Харків 2021

УДК [50 (091)+62]: [008+37]
Л25

Публікується за рішенням вченої ради Національного технічного університету «ХПІ», протокол № 7 від 25.09. 2018 р.

Рецензенти: *Д. В. Бреславський,* д-р техн. наук, проф. (Національний технічний університет «ХПІ»)
С. М. Куделко, канд. іст. наук, проф. (Харківський державний університет)
В. М. Скляр, д-р іст. наук, проф. (Національний технічний університет «ХПІ»)

Підручник призначений для студентів машинобудівних спеціальностей технічних вузів, які вивчають курс історії науки і техніки. Але в той же час він може бути також корисний студентам інших спеціальностей, науковим співробітникам, аспірантам, і всім тим, хто цікавиться історією розвитку науки і техніки.

Ларін А. О.
Л25 Історія науки і техніки : підручник / А. О. Ларін ; Харків : НТУ «ХПІ», 2021. – 294 с.

Учебник предназначен для студентов машиностроительных специальностей технических вузов, изучающих курс истории науки и техники. Но в то же время он может быть также полезен студентам других специальностей, научным сотрудникам, аспирантам, и всем тем, кто интересуется историей развития науки и техники.

УДК [50 (091)+62]: [008+37]

© А. О. Ларін, 2021

ЗМІСТ

Передмова.....4

Глава 1. Вступ до історії науки і техніки.....6

Глава 2. Розвиток техніки в первісний період.
Зародження наукових знань 15

Глава 3. Антична наука і техніка..... 32

Глава 4. Розвиток науки і техніки в Середні віки..... 67

Глава 5. Наука і техніка в епоху Відродження 83

Глава 6. Наукова революція XVII століття
та епоха Просвітництва 107

Глава 7. XVIII століття – аналітичний період розвитку науки... 123

Глава 8. Створення парової машини і промислова революція
XVIII століття 145

Глава 9. Розвиток техніки в XIX столітті 170

Глава 10. Розвиток науки в XIX столітті..... 212

Глава 11. Наука і техніка в першій половині XX століття..... 234

Глава 12. Науково-технічна революція та її наслідки для
людства..... 257

Список літератури 277

Передмова

Наука і техніка є основою існування людей в навколишньому світі і найважливішою рисою сучасної культури. Без науки і техніки неможливо існування сучасної людини. Саме науково-технічний прогрес формує сучасне суспільство і визначає економічний розвиток держави в цілому і кожного окремо взятого суб'єкта господарювання. Тому історія науки і техніки є найважливішою складовою загальної історії. Рівень розвитку техніки і наукових знань дає уявлення про конкретний етап розвитку людства. Тому для вивчення конкретного історичного етапу розвитку суспільства необхідно й вивчення науки і техніки цього етапу.

Широке поширення технічних пристосувань в наш час випереджає інтелектуальний рівень масової свідомості, що призводить до неоднозначних і суперечливих наслідків. Небувале зростання ролі науки і техніки в сучасному суспільстві і проблема осмислення наслідків цього зростання для життя людини набуває особливої значущості. Технологічний розвиток породжує численні екологічні проблеми, які потребують невідкладного вирішення. Розвиток комп'ютерних і телекомунікаційних технологій не просто робить життя людини більш комфортним, а й кардинально змінює

всі форми його діяльності і формує нову сферу – віртуальну реальність. Нанотехнології і генна інженерія не просто дають людству більші можливості в перетворенні навколишнього світу, а й можуть втручатися до самої природи людини.

У зв'язку з вищесказаним дослідження нової наукової проблеми або створення нового об'єкта техніки вимагає знань з історії науки і техніки. Знання законів розвитку науки і техніки в контексті загального розвитку людства допоможуть у вирішенні проблем, що виникають перед фахівцями різних спеціальностей. Це особливо важливо в сучасному світі, в якому вирішення глобальних проблем неможливо без широкого міждисциплінарного підходу. Тому історія науки і техніки важлива і для гуманітарної, і для природничо-наукової, і для технічної освіти.

Цей підручник призначений для студентів вищих технічних навчальних закладів. У ньому узагальнено досвід автора в читанні курсу історії науки і техніки в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ»). Крім загального курсу історії науки і техніки в ньому викладається історія розвитку таких наук як математика, механіка, фізика, хімія, теплотехніка, електротехніка та ін., а також тих галузей машинобудування, для яких готують фахівців в НТУ «ХПІ». Особливістю підручника є відображення досягнень України в галузі науки і техніки, включно з тими, які були зроблені харківськими вченими та інженерами.

ГЛАВА 1

Вступ до курсу історії науки і техніки

1.1. Наука і техніка в житті людини

Мета курсу історії науки і техніки як міждисциплінарної дисципліни полягає в тому, щоб висвітлити історію формування, розвитку і трансформування наукового світогляду, рушійні сили і механізми корінних змін в уявленнях про навколишній світ.

Історія являє собою комплекс суспільних наук, що вивчають минуле людства у всьому його різноманітті. При вивченні історії науки і техніки слід орієнтуватися на загальну історію людства, оскільки розвиток науки і техніки відбувається в конкретних історичних умовах. Ці умови в кожен певний період визначаються, перш за все, продуктивними силами суспільства. Історія знає чимало прикладів того, коли низький рівень розвитку суспільства і продуктивних сил перешкоджав розвитку науки і використанню її досягнень.

Дамо визначення поняттям наука і техніка.

Технікою називається сукупність засобів людської діяльності, створюваних для здійснення процесів виробництва і обслуговування невиробничих потреб суспільства. У техніці матеріалізовані знання і досвід, накопичені в процесі розвитку суспільного виробництва.

Основне її призначення полягає в полегшенні життя людини і підвищенні продуктивності її праці. До техніки належать не тільки складні машини, але і найпростіші пристосування. Тому можна вважати, що техніка зародилася на світанку людства і дозволила людині виділитися з тваринного світу. Природно, що вона з'явилася набагато раніше за науку.

Суспільні потреби формуються і регулюються, перш за все, економічними відносинами і так само формують конкретні умови для розвитку техніки. Внутрішня логіка розвитку техніки обумовлена взаємодією її з людиною і природою. У результаті застосування техніки відбувається заміна людської сили силами природи, трудові зусилля людини замінюються механічними. Це дозволяє подолати протиріччя між розвитком техніки і обмеженням людських психофізичних можливостей. Історія свідчить, що поступальний розвиток суспільства завжди пов'язаний з розвитком його продуктивних сил. Основна соціальна функція техніки полягає в тому, що вона є складовим елементом матеріально-технічної культури людей. Техніка розширює масштаби трудової діяльності і підвищує її ефективність. Вона розвивається, спираючись на закони природи і виробничий досвід. Створення нової техніки є неможливим без певного рівня знань, відповідного об'єктивним законам природи і здатного керувати практичними діями людини.

Класифікація техніки, як правило, проводиться за її призначенням: транспортна, військова, побутова і т. д. Зі свого боку ці великі категорії мають свою кваліфікацію з високим ступенем поділу.

Іншим критерієм класифікації є принцип дії техніки: механічна, теплотехніка, електрична, електронна техніка і таке інше.

Наука – особлива сфера людської діяльності, функцією якої є вироблення, теоретичне обґрунтування і систематизація об'єктивних знань про дійсність. Це одна з форм суспільної свідомості. Безпосередні цілі науки – пояснення і передбачення явищ дійсності, що складають предмет її вивчення, здійснювані на підставі відкритих нею законів. Анрі Пуанкаре сказав: «Наука будується з фактів, як будинок з цеглин, нагромадження фактів не є наукою, так само як купа цегли не є будівлею».

Система наук ділиться на природничі, суспільні і технічні.

До природничих відносяться науки, що займаються дослідженням природи, тобто науки про фізичних, хімічних, біологічних та ін. процесах і системах і відповідних формах руху матерії. Головні сфери природничих наук:

матерія – фізика, хімія, фізична хімія;

життя – біологія, ботаніка, зоологія;

людина – анатомія, фізіологія, вчення про походження і розвиток, вчення про спадковість;

Земля – геологія, мінералогія, палеонтологія, метеорологія, фізична географія;

Всесвіт – астрономія, астрофізика і астрохімія.

При цьому природничі науки можна ще розділити на фундаментальні (раніше їх зазвичай називали «чистими»), які обмежуються науковим дослідженням та прикладні, які використовують знання для освоєння і перетворення природи. До них відносяться, наприклад, медицина, сільське і лісове господарство і т.д.

З розвитком техніки з природничих наук в окремий клас виділилися **технічні (інженерні)** науки – науки в галузі природознавства, які вивчають явища, важливі для створення і розвитку техніки. **Технічні** науки вивчають різні напрямки розвитку техніки, наприклад, теплотехніка, електротехніка, радіотехніка, і ґрунтуються на природничих науках. Діяльність учених в галузі технічних наук має прикладний характер.

Фундаментальні дослідження є теоретичною основою для проведення прикладних досліджень, а з іншого боку, результати науково-технічної діяльності надають свідоцтва, які можуть або підтвердити, або спростувати наукові теорії і гіпотези, сформульовані вченими-теоретиками.

Суспільні (соціальні) науки вивчають суспільство. До них відносяться економіка, соціологія, політологія, історія, юриспруденція і т.п. Різновидом суспільних є **гуманітарні** науки – науки про духовний світ людини, її ставлення до навколишнього світу, суспільства та інших людей (педагогіка, психологія, етика, естетика та ін.).

Особливе місце в системі наук займають **філософія, математика, кібернетика, інформатика** та інші науки, які через свій загальний характер не можуть бути віднесені до будь-якої однієї групи, а застосовуються в будь-яких дослідженнях і формують мислення та світогляд вченого.

У міру розвитку суспільства наука із заняття одинаків поступово перетворюється в особливу форму суспільної свідомості і сферу людської діяльності. Вона є результатом тривалого розвитку культури і цивілізації. Наука представляє особливий суспільний організм зі своїми типами спілкування, поділу та кооперування окремих видів наукової діяльності.

1.2. Періодизація розвитку науки і техніки

Виникнення техніки пов'язане з формуванням людини. Останнє відбулося два з половиною мільйона років тому, коли австралопітеки стали застосовувати палиці, уламки каміння і кісток тварин і риб в якості знарядь праці. Одним з найбільш давніх винаходів є важіль. Основними заняттями людини були полювання і збирання плодів і коріння, що і визначило тип знарядь – ножі, сокири, наконечники списів і стріл, скребки та ін. Освоєння і використання вогню стало новим етапом в розвитку людства і розширило зону його розселення. Розвиток мисливської техніки призвело до винищення багатьох видів тварин, і людині довелося перейти до скотарства і землеробства. Це означало аграрну (неолітичну) революцію, яка почалася 12 – 19 тисяч років тому.

У VII тисячолітті до н.е. починається формування ремісничого виробництва, виникає металургія. Потім відбувається відділення скотарства від землеробства. Розвиток землеробства в долинах річок, будівництво зрошувальних систем потребували концентрації великої кількості працівників. Як результат, виникають перші держави. Відокремлення скотарства від землеробства та ремесла від сільського господарства, а також поява надлишкового продукту призводить до виникнення торгівлі і грошей.

Потреби суспільної практики спонукають формування науки, хоча продуктивною силою суспільства вона стає значно пізніше. Наука зародилася лише з появою класового суспільства, і то не відразу. Сучасні дослідники вважають, що вона з'явилася в Стародавній Греції в VI столітті до н.е.

Витоки науки сягають давніх цивілізацій Месопотамії (межиріччя Тигру і Євфрату), Єгипту, Індії і Китаю. Але перші наукові і філософські системи виникли в Стародавній Греції. Першими науками були філософія, математика і фізика, а саме розділ механіка. У філософії склалися дві основні концепції – матеріалізм і ідеалізм. У математиці отримала розвиток арифметика, геометрія, були закладені основи стереометрії, зародилася теорія музики. У працях видатного вченого античності Архімеда були закладені основи диференціального й інтегрального числення. В астрономії геліоцентрична система будови світу вже була відома (Аристарх Самоський), хоча перемогла система геоцентрична (система Птолемея). У механіці помітний розвиток отримали статика і кінематика. Динаміка ж ґрунтувалася на помилкових уявленнях Аристотеля, який, ґрунтуючись на побутових повсякденних спостереженнях, вважав, що для підтримки рівномірного прямолінійного руху тіла до нього необхідно постійно прикладати сили. Саме його зусиллями також утвердилася геоцентрична система будови світу.

В античному світі склалася не тільки система знань, а й система освіти. Спадкоємницею грецької науки була наука Стародавнього Риму. Однак статус вченого в Римі був непрестижним, і поступово наука почала приходити до занепаду. Із падінням Західної Римської імперії центр науки перемістився на Схід, в Східну Римську імперію. Однак там після приходу до влади імператорів-християн великого удару розвиткові науки завдала релігія. Християнські фанатики закривали «язичницькі» школи, знищували бібліотеки. Велика кількість вчених емігрували в Азію, в основному в Іран.

Що стосується техніки античності, то вона перебувала в доволі примітивному стані. Це пояснюється тим, що рабовласницька система не сприяла розвитку техніки, оскільки дешева робоча сила була в надлишку. Більшого розвитку очевидно досягла військова техніка. Щоправда, військові кораблі були неморехідні, оскільки призначалися для нападу поблизу берегів. Краще були розвинені торговельні судна, хоча вони і поступалися військовим у швидкості.

У VI – VIII століттях араби під прапором нової релігії – ісламу захопили величезні території в Азії, Африці та Піренейський півострів. Тільки у 732 році франки дали їм відсіч у битві при Пуатьє. Арабські завоювання довершили розгром античної науки. Але, починаючи з VIII століття, в Арабських Еміратах починається

її відродження. Саме арабським вченим ми зобов'язані не тільки збереженням, але і примноженням наукових досягнень античності. Варто додати, що переважна кількість збережених творів античних вчених дійшли до нас в арабських перекладах. Саме арабам ми також зобов'язані поширенням у Європі індійської десяткової системи числення і створенням алгебри.

Що стосується Європи, то в Середні віки упродовж 1000 років спостерігається занепад науки і культури. Розвитку науки також перешкоджало те, що католицька церква, спочатку вороже налаштована до Аристотеля, з XIII століття визнала його найбільшим авторитетом з усіх питань, що не стосувалися, щоправда, догматів релігії. Таким чином, була узаконена й геоцентрична система будови світу, і механіка Аристотеля, заснована на хибних припущеннях. Хоча філософи й вважають Аристотеля «засновником істинного природознавства», він зовсім не вважається таким у фізиків і механіків.

Відродження (Ренесанс) античного мистецтва, культури і науки почалося в Італії в XIV столітті. Ренесанс відповідав потребам нового класу буржуазії і сприяв руйнуванню феодальних відносин. У XVI столітті набуває поширення геліоцентрична система будови світу Коперника. Відбувається реформація церкви. Відповіддю на це стає інквізиція. По всій Європі палають її багаття, на яких спалюють не тільки інакодумців, але й ні в чому не винних людей.

На хвилі Ренесансу в кінці XVI століття зародилася істинно наукова динаміка. З її появою механіка перетворилася в науку про рух, в якій з'явилися спроби пояснити всі явища природи на основі розвитку логічних принципів. Одним з перших, хто засумнівався в правильності вчення Аристотеля, був Джамбатіста Бенедетті, який звернув увагу на те, що дія сил виражається не в підтримці, а в зміні руху. Достовірність наукових уявлень в рамках механічної картини світу тісно була пов'язана з розвитком експериментальних методів дослідження. Статика, на відміну від динаміки, не знайшла підтвердження такою ж мірою експериментами. Динаміка, відповідаючи на питання про перехід тіла або механічної системи з початкового стану до подальшого під дією заданих сил, могла бути підтверджена відповідним експериментом. Це і додало механічному природознавству ту незворотність розвитку і ту достовірність, які відрізняють науку XVII століття від наукових уявлень попереднього періоду.

Одними з перших експериментальних досліджень в механіці були досліди Галілео Галілея, який відкрив закони падіння важких тіл, а також встановив закони руху тіл по похилій площині. Він повністю довів неспроможність динаміки Аристотеля і накреслив шлях до створення нової динаміки – ньютонівської. Таким чином, Галілей почав наукову революцію, яку завершив Ісаак Ньютон. У 1686 році побачила світ його визначна праця «Philosophiae Naturalis Principia Mathematica» («Математичні начала натуральної філософії»). Ньютон першим з учених висловив думку про те, що рух космічних і земних об'єктів відбувається за тими самими законами. Славетний вчений заклав основи теоретичної механіки, застосувавши її до вивчення руху небесних тіл. У його роботі проблеми динаміки отримали математичну розробку. Ньютон створив методологію точного природознавства і став засновником усього сучасного природознавства.

З цього моменту розвиток науки набув незворотного характеру, кількість наукових знань, як і кількість вчених, подвоювалася кожні 10 – 15 років. З'явилася класична механіка, вища математика, нові розділи фізики, хімія, аналітична механіка, математична фізика та інші науки. Велика французька революція сприяла розвитку науки і освіти. Не випадково Французька наукова школа стала в XIX столітті найбільш передовою в світі.

Що стосується розвитку техніки, то він відбувався і в період Середньовіччя. До XVII століття виникло мануфактурне виробництво, засноване на застосуванні енергії води і вітру. Але подальший розвиток промисловості гальмувався відсутністю джерел енергії. Людство опинилося в енергетичному тупику. Виходом з нього стало застосування енергії пари. Перші парові машини (вірніше їх називати пароатмосферними) з'явилися в кінці XVII століття. Проте справді універсальний паровий двигун був створений Дж. Ваттом в 1786 році. З упровадженням парових машин пов'язана промислова революція XVIII століття – перехід до індустріального суспільства, заснованого на машинному виробництві.

Роль науки в розвитку техніки не завжди була провідною. Аж до кінця XVIII століття наука майже не впливала на виробництво і техніку. Знання, яких потребував розвиток техніки, як правило, мали емпіричний характер. Це були знання про конкретні речі, які не

суперечать законам природи. Однак машинне виробництво, що розвивалося, потребувало об'єднання в одному технологічному циклі різних механічних і фізико-хімічних процесів, використання нових матеріалів і видів енергії. Завдяки цьому незмірно зросла роль науки у створенні нової техніки. У XIX столітті прогрес техніки диктується вже не тільки потребами людини, а й розвитком світової науки і практики. Поєднання науки і практики створило нову галузь промисловості – електротехніку. Її застосування зробило революцію в промисловості, змінило побутові умови життя людини, зробило переворот в засобах зв'язку і т. д. У кінці XIX століття з'являються нові типи двигунів – ДВЗ (двигуни внутрішнього згоряння) і парові турбіни. Усе вищезгадане дозволило створити нові види транспорту, судна, літальні апарати, важчі за повітря.

У кінці XIX – на початку XX століть виникла криза у фізиці. У результаті з'явилася теорія відносності, атомна фізика і квантова механіка.

Протягом першої половини XX століття людство накопичило більше знань, ніж за всю попередню історію свого існування. У розвитку техніки в XX столітті стався прорив – за цей час з'явилося 90% всіх винаходів і відкриттів. Саме вони і стали рушійною силою науково-технічної революції (НТР), яка почалася в 1960-і роки з появою перших ЕОМ і промислової робототехніки.

Удосконалення ДВЗ і парових турбін, автомобілів, літаків і т.д. потребувало залучення наукових знань. У 1940-і роки, насамперед для військових цілей, з'являються зовсім нові галузі промисловості: атомна, ракетобудування, реактивна авіація. Все це вже вимагає проведення якісно нових видів розрахунків. Удосконалені технологічні процеси також вже не можуть управлятися людиною. Іншими словами, людство знову зайшло в своєму розвитку в глухий кут – цього разу інформаційний.

Виходом із цієї ситуації стало створення цифрових електронних обчислювальних машин. Це досягнення людства неможливо переоцінити. Воно не тільки вивело його з інформаційного тупика, але й змінило все його життя. Саме створення комп'ютерів і розвиток на цій основі науки і техніки створило науково-технічну

революцію. Автоматизація виробництва на основі ЕОМ веде до зростання можливостей застосування нових високоефективних технологічних процесів. Розвивається енергетика, виробництво синтетичних матеріалів, створюються нові засоби управління, зв'язку та інформації, починається освоєння космічного простору. Наука стає безпосередньою продуктивною силою суспільства. У теперішній час створення нової техніки неможливе без найбільш передових досягнень науки.

Таким чином, з огляду на все вищесказане і спираючись на періодизацію загальної історії людства, в розвитку науки і техніки можна виділити наступні періоди:

I. Первісний – від зародження людства до виникнення перших цивілізацій;

II. Зародження наукових знань в перших цивілізаціях Стародавнього Сходу (III – I тисячоліття до н.е.);

III. Античний – від зародження науки до падіння Західної Римської імперії (VI століття до н. е. – V століття);

IV. Середньовічний (V – XIV століття);

V. Ренесанс і наукова революція (XV – XVII століття);

VI. Промислова революція і епоха Просвітництва, аналітичний період розвитку науки (XVIII століття);

VII. Період зближення науки і промисловості (XIX століття);

VIII. Фізико-технічний період (перша половина XX століття);

IX. Науково-технічна революція (з другої половини XX століття до теперішнього часу).

ГЛАВА 2

Розвиток техніки в первісний період. Зародження наукових знань

2.1. Поява техніки в давнину

В основі формування людини лежить праця, а виготовлення знарядь праці виділяє її з тваринного світу і створює основні передумови для формування людського процесу праці та розвитку техніки. Як вже зазначалося, перші знаряддя праці стали застосовувати австралопітеки приблизно два з половиною мільйона років тому. Це були палиці, а також уламки каміння і кісток тварин і риб. Пізніше вони почали цілеспрямовано обробляти дерево. Використання палиці в якості важеля належить до найбільш давніх винаходів людини.

Згодом починається виготовлення знарядь із каменю, які пройшли досить тривалу еволюцію. Тип знарядь визначили основні заняття людини – полювання і збирання плодів і коріння. Це були ножі, сокири, наконечники списів і стріл, скребки та ін. Для їх виготовлення використовувалася техніка сколювання, яка полягала в тому, що по оброблюваному каменю вдаряли більшим каменем. Отримувані при цьому сколи, які є різновидами клина з гострими краями, використовувалися в якості знарядь.

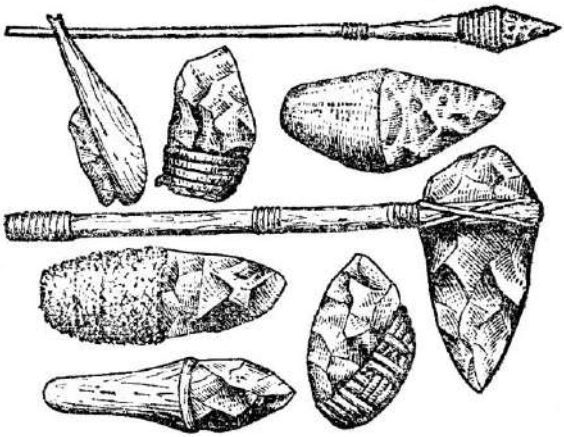

Рис. 2.1. Кам’яні знаряддя первісної людини

Поряд з удосконаленням знарядь і процесу праці виникає й розвивається членороздільна мова. Мова сприяє появі колективної праці, що уможливлює виробничу діяльність. Все це мало великий вплив на розвиток мозку. Найважливішим досягненням людини стало освоєння й використання вогню. Вогонь відкрив новий етап в розвитку людства і дозволив розширити зону розселення людини, ефективно боротися з хижаками, а також урізноманітнити її харчування. Спочатку первісні люди навчилися тільки підтримувати вогонь, а пізніше й добувати його. Уже неандертальці в період верхнього палеоліту (давньокам’яного віку) оволоділи цим мистецтвом.

У період нижнього палеоліту (40 тис. – 12 тис. роки до н. е.) сформувалася людина сучасного типу. Накопичення досвіду, вдосконалення знань, розвиток техніки дозволило йому пристосуватися до різних кліматичних умов. Як результат, поселення людей розповсюджуються на більшій території земної кулі. Людина освоїла багато нових порід каменю, навчилася виготовляти понад двадцять видів різних кам’яних знарядь. У цей період з’являються нові знаряддя – гарпун і списомет, які використовуються для полювання на рибу і звіра, також з метою самооборони. Списомет є прикладом використання важеля, за допомогою якого збільшується швидкість і дистанція польоту списа. Ще більш досконалою зброєю став лук, який успішно

застосовувався протягом багатьох тисячоліть, аж до XIX століття. Застосування лука зробило полювання на звірів настільки ефективним, що призвело до повного знищення багатьох видів тварин. У результаті мисливцям довелося шукати нові можливості для прожитку і перейти до скотарства і землеробства.

До періоду нижнього палеоліту відноситься і зародження лічби. Можна з упевненістю сказати, що першим обчислювальним «пристроєм» були пальці рук. Для того ж, щоб зафіксувати результати обчислень використовувалися насічки на дереві або на кістці. Про це свідчать й археологічні розкопки. Найдавнішим із знайдених таких інструментів вважається «вестоніцька кістка», знайдена в стародавньому поселенні 30-го тисячоліття до н.е. Дольні Вестоніці на південному сході Чехії, в Моравії. Зарубки, нанесені на кістки, свідчать про те, що вже тоді наші предки були знайомі з початками лічби.

Широкомасштабне застосування луків, шліфованих сокир, тесел, мотик, доліт й інших технічних досягнень новокам'яного віку (неоліту) підготувало виробничу, так звану неолітичну революцію. Її сутність полягає в переході від полювання до землеробства і скотарства. Землеробство давало можливість створювати і зберігати тривалий час запаси зерна. Завдяки господарській революції чисельність населення зросла в 20 разів у порівнянні з чисельністю предків хліборобів – мисливців і збирачів. Люди поступово переходять до осілого способу життя, зводять постійні житла і громадські споруди. Одночасно з виникненням землеробства починається одомашнення диких тварин – кіз, овець, пізніше великої рогатої худоби, свиней і т. д. Скотарство забезпечує людину не тільки м'ясом і молоком, а й одягом, і сировиною для виготовлення знарядь. Пізніше домашніх тварин стали використовувати в якості тяглової сили. Перехід до ручного землеробства і тваринництва, що почався приблизно 12 – 19 тисяч років тому часто називають аграрною революцією. У зазначений період з'являється одяг зі шкір тварин, для виготовлення якого шкіру обробляють і зшивають сухожиллями звірів або тонкими шкіряними ремінцями. З'являється техніка будівництва жител – землянок і куренів, фундаменти котрих заглиблювалися в землю. Для транспортування вантажів винайдені сани. Для рибного лову виготовляють плоти і перші човни, видовбані з цілого шматка дерева. Рибу ловлять вудками і гарпунами, з'являються сітки.

Перехід до землеробства і скотарства дозволяє більш ефективно організовувати ведення господарства і здійснити розподіл праці. З'являється гончарне ремесло, яке зіграло дуже важливу роль у розвитку техніки, особливо в період зародження металургії. Виникає освітлювальна техніка. Від скіпок і факелів переходять до примітивних масляних пальників. З'являються перші предмети культу і прикраси: намиста з коралів і різних зубів, предмети, вирізані з кістки й рогу. При розкопках у печерах знайдені перші статуетки людей і тварин, обрядові скульптури, малюнки, найчастіше чудово виконані.

До кінця періоду нижнього палеоліту починається підземний видобуток сировини, перш за все кременю, сланцю, пізніше вапняку. На території первинних поверхневих розробок поглиблюються ями, риються шахти, від яких відводять штольні, споруджують сходи. Так виникає нова галузь виробництва – гірнича справа. У X – VIII тисячоліттях до н. е. з'являються вдосконалені знаряддя для збирання врожаю і помолу зерна: серпи, ціпи, ступки. Сировина стає предметом торгівлі і перевозиться на великі відстані. Наприклад, обсидіан (вулканічне скло) з Анатолії (на території Туреччини) переправляється в місця, віддалені на відстані понад 1000 км.

В епоху неоліту з'являються нові способи обробки кам'яних знарядь шляхом шліфування, свердління і пиляння. Це дозволило досягати певної форми і чистоти поверхні знаряддя. Нові прийоми дозволили перейти до обробки більш твердих порід каменю: базальту, нефриту, жадеїта і ін. Вони стали основою для створення кам'яних сокир, мотик, доліт, кайл. Робота шліфованими знаряддями привела до зростання продуктивності праці. Шліфованими кам'яними сокирами з висвердленими отворами, в які вставлялася дерев'яна рукоять стали рубати ліс, видовбувати човни, будувати житла. Людина помітила, що дерев'яна рукоять згладжує зусилля удару і передає зусилля на оброблюваний предмет, а не на руки. Це стало причиною багатовікового використання дерев'яних рукоятей для інструменту.

У VIII – VII тисячоліттях до н. е. хлібороби стали застосовувати предмети, зроблені з міді способом холодної обробки, такі як проколи, намистини, шильця. Однак цей спосіб виготовлення

знарядь ще не може замінити традиційну техніку виготовлення знарядь з каменю. Остаточний перехід від кам'яних знарядь до металевих відбувається в період рабовласницького ладу.

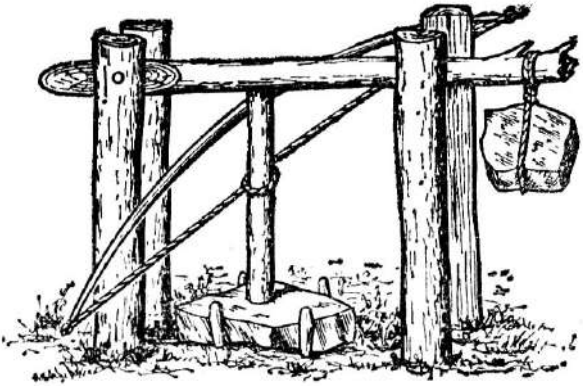

Рис. 2.2. Свердлильний верстат епохи неоліту

У VII тисячолітті до н.е. починається формування ремісничого виробництва. В Анатолії вперше з руди виплавляються мідь і олово. Процес виплавки міді був виявлений випадково, під час випалу в печах керамічних виробів. Однак процес отримання міді був дуже трудомістким і складним і основним матеріалом для виготовлення знарядь залишався камінь. Тільки через кілька тисячоліть застосування заліза викликало справжній переворот в техніці. В епоху неоліту і бронзового століття вже використовуються найпростіші механізми, такі як важіль, клин і похила площина. Одним з найважливіших досягнень людства в цей період є освоєння обертального руху, аналогів якому в природі не існує. Це не тільки колесо, але і гончарний круг, і кругова ручний млин. Все це з'явилося в Месопотамії в п'ятому тисячолітті до н.е.

2.2. Виникнення перших цивілізацій і розвиток техніки

Спочатку землеробство з'явилося на рівнинах, а в VI – V тисячоліттях до н. е. воно починає розвиватися в долинах великих річок – Євфрату, Тигру, Нілу, Інду та ін. Використання природної родючості ґрунту, удобреного річковим мулом під час розливу

річок, дозволяло отримувати величезні врожаї, але вимагало проведення іригаційних робіт для штучного зрошення полів. Для обробки землі починають використовувати рало та примітивний плуг. У той самий період на Близькому Сході вдосконалюється обробка мідних руд і виникає технологія литва у форми. Це значно скорочує процес виготовлення знарядь праці і зброї. Найбільший стимул для свого розвитку в рабовласницькому суспільстві отримали підйомно-транспортні машини. Будівництво каналів, доріг, укріплень, палаців, гробниць, храмів і громадських будівель вимагало доставки будівельних матеріалів і підйому значних тягарів. Широке застосування отримав важіль.

Будівництво зрошувальних систем вимагало концентрації великої кількості працівників. Потреба в додатковій робочій силі і стала причиною для поділу праці. Полонених перетворюють на рабів, в результаті чого виникає перший розподіл на класи – рабовласників і рабів. У цей період відбувається відділення скотарства від землеробства, виділення з сільського господарства ремесел, виникає металургія. Зростання виробництва дало надлишковий продукт, що став об’єктом обміну. З’явилася торгівля, а потім і гроші. Родова громада поступово розпадалася. Війни і торгівля збільшували майнове розшарування суспільства. Виникали перші держави, які створювалися не тільки для охорони майна власників і захисту їх інтересів, а й для оборони від зовнішніх ворогів, для організації громадських робіт і для збору податків.

Перші цивілізації та рабовласницькі держави виникають саме в долинах річок, де розвивається зрошуване землеробство. В IV тис. до н. е. виникли стародавні держави Месопотамії в межиріччі Тигру і Євфрату на території сучасного Іраку. Ці річки не тільки створили родючу від річкових наносів долину, а й служили надійними транспортними магістралями, котрі пов’язували держави Месопотамії з їхніми сусідами на Сході.

Деревини в Месопотамії було мало, тож основним конструкційним матеріалом стали очерет і тростина, які росли у великій кількості. Ці рослини використовувалися не тільки для виготовлення плетених виробів, але і в кораблебудуванні. Очеретяні кораблі

плавали по річках і морях і навіть виходили в океан. Удосталь в Месопотамії було також глини, тут з неї вперше почала виготовлятися цегла, ставши основним будівельним матеріалом. У першій половині V тис. до н. е. саме в цьому регіоні з'явився перший в світі гончарний круг. Глина була й матеріалом для письма. Жителі Месопотамії також дали світові перші соху, плуг і зрошувальну систему. У XX столітті до н. е. винайшли перший миючий і дезінфікуючий засіб – мило, яке варили з рослинного олії та лугу.

У VIII тис. до н. е. на Близькому Сході з'явилася технологія обробка міді, в V – IV тис. до н. е. – виробництво бронзових виробів, а в II тис. до н. е. – залізних виробів, що сприяло швидкому розвитку продуктивних сил в цьому регіоні. Із дорогоцінних металів вироблялися ювелірні вироби. Так на світанку цивілізації був освоєний повний металургійний цикл виробництва металів, що включає видобуток руди, випалення деревного вугілля, підготовку матеріалів, виплавку та рафінування чорнового металу, лиття, кування, волочіння дроту, інші види металообробки й утилізацію металобрухту. Визначальну роль в технічному прогресі в бронзову епоху зіграла поява литих сокир, мечів і мотик – основних видів знарядь праці і зброї. Тож у цей період були освоєні технології виплавки й обробки міді, золота, свинцю, срібла, заліза, ртуті та олова. Металургія міді і бронзи стала основою цивілізації.

Найважливішим політичним, економічним і культурним центром Стародавнього світу було місто Вавилон, воно розташовувалося в історичній області Аккад в Месопотамії. Це одне з найбільших міст в історії людства і перший мегаполіс. У II – I тис. до н.е. воно було столицею Вавилонського царства, однією з великих держав давнини. Навіть у наш час багато споруд Вавилона непогано збереглися і розташовані в Іраку в околиці сучасного міста Ель-Хілла, 90 кілометрів на південь від Багдада.

На початку III тисячоліття до н.е. в Вавилоні з'явився абак – стародавня рахівниця. Це була дошка, розграфлена на смуги або зі зробленими в ній заглибленнями. Рахувальні марки або помітки (камінчики, кісточки) пересувалися по лініях або заглибинах. У V столітті до н.е. в Єгипті замість ліній і поглиблень стали використовувати палички і дріт з нанизаними камінчиками. Подальшим розвитком абака стала російська рахівниця.

Рис. 2.3. Вавилон. Ворота Іштар, реконструйовані в наші дні

Рис. 2.4. Вавилон. Стіни палацу Навуходоносора

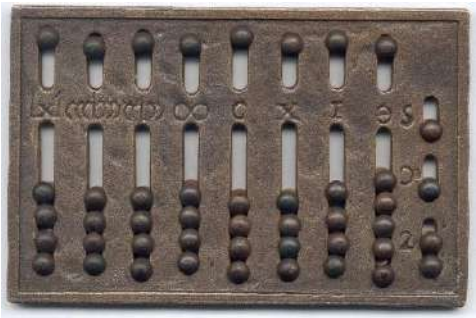

Рис. 2.5. Абак римський Рис. 2.6. Російська рахівниця

Іншою найдавнішою на планеті державою, яка виникла для ведення зрошуваного землеробства, являвся Єгипет. Його територію становила вузька смуга землі вздовж Нілу, яка приваблювала хліборобів з часів давньокам'яного періоду. Іригаційна система Єгипту складалася з каналів, шлюзів, дамб, котрі оточували поля, і шадуфів – водопідйомних важільних пристроїв, подібних колодязним «журавлів». Для створення іригаційних споруд громади стали об'єднуватися, до робіт стали залучати і захоплених в полон рабів. Знаряддя праці в сільському господарстві Єгипту довго залишалися примітивними. В основному це були мотика, плуг, серп з крем'яними різцями, замінений пізніше на металевий.

В країні були величезні запаси різного каменю. З каменю робили не тільки зброю і знаряддя праці, але він став також і основним будівельним матеріалом. З важких кам'яних блоків і плит, добре оброблених і підігнаних один до одного, зводили величезні споруди.

При зведенні храмів, статуй та інших споруд використовувалися брили масою до сотень тонн. Для добування цих брил в каменоломнях використовували клин, а для транспортування важіль і похилу площину. Вже за 3000 років до нашої ери були побудовані єгипетські піраміди. Найбільша з них – піраміда Хеопса (Хуфу) містить 23 300 000 кам'яних брил, середня маса кожної з них становить 2,5 тонни, а загальна маса споруди 6,25 млн. тонн. Піраміда Хеопса була найвищою спорудою, побудованою людиною

протягом п’яти тисячоліть. Спочатку висота становила 146,60 м, але після того, як з вершини її звалився верхній блок масою 15 тонн, вона стала нижче – 138,75 м. Тільки Ейфелева вежа, зведена в 1889 році в центрі Парижа, перевищила висоту піраміди Хеопса, щоправда одразу в два рази (300 м).

У Єгипті рано стала розвиватися металургія, спочатку виплавлялися мідь і свинець. На високому рівні знаходилася ювелірна справа. З інших досягнень можна відзначити технологію виготовлення папірусу, який використовувався для письма на Близькому Сході і в Європі тисячі років, аж до винаходу паперу. В Єгипті також вперше з’явився сонячний і водяний годинники.

Ще одним джерелом цивілізації став Стародавній Китай, який уславився своїми ремеслами. Китайці першими стали займатися шовківництвом. Винахід в Китаї технології отримання шовкових ниток дав поштовх до різкого підвищення рівня ткацтва. Китайські майстри винайшли ткацький верстат з приводом від водяного колеса.

Рис. 2.7. Піраміда Хеопса

Велика увага приділялася в Китаї агротехніці. Уже за 1000 років до н.е. з'явилася система зміни полів, за якої земельна ділянка ділився на три частини. Дві частини засівалися, а третя частина один рік відпочивала під паром. Китайці першими стали застосовувати органічні добрива і вести боротьбу зі шкідниками сільськогосподарських рослин. У І столітті до н. е. в Китаї почали вирощувати чай, листя якого спершу використовувалися як ліки. А пізніше він став найпопулярнішим напоєм в світі.

Найбільш помітною не лише в Китаї, але й у всьому Стародавньому світі стала грандіозна оборонна споруда – Великий китайський мур, будівництво якого почалося в ІІІ столітті до н.е. з метою захисту північних кордонів країни від кочівників.

Серед стародавніх держав особливе місце займає індійська цивілізація, що зробила величезний вплив на розвиток економіки і культури всієї Південно-Східної Азії. Тут також держави виникали на основі об'єднання людей для проведення іригаційних робіт. З найдавніших часів (V тис. до н.е.) В долинах річок Інду і Гангу і їх припливів стали культивувати бавовна, а з IV тис. до н.е. – цукрова тростина. У країні став вирощуватися рис, який і в наш час є основною їжею для половини населення Землі. З'явилося шовківництво. Бавовна, і як сировина, і як готові тканини, була предметом індійського експорту в сусідні країни.

Однією з найбільш розвинених галузей техніки в давнину було суднобудування. Кораблі тієї епохи обов'язково оснащувалися веслами, оскільки вони несли тільки прямі вітрила, які дозволяли йти лише при попутному вітрі. Веслярами служили, як правило, раби. Уже в найдавніші часи кораблі ділилися за призначенням на бойові та комерційні. Перші призначалися для нападу на торгові судна, захисту своїх морських комунікацій і для бою з флотом супротивника, а другі – для перевезення вантажів.

Щоб мати велику швидкість бойові кораблі несли безліч весел, розташованих в кілька рядів, а кількість веслярів могла досягати кількох сотень. Щоправда, військові кораблі були неморехідні, так як призначалися для нападу поблизу берегів. Торговельні судна були розвинені краще, хоча і поступалися військовим в швидкості.

Кращими мореплавцями і суднобудівниками стародавнього світу за 1500 – 1000 роки до н.е. вважалися фінікійці, які жили на

східному узбережжі Середземного моря. Вони – перші торгові мореплавці. Фінікійські кораблі будувалися кільовими, а не плоскодонними, що збільшувало їхню швидкість. Для будівництва фінікійські корабели використовували ліванський кедр. Їхні торгові судна мали місткий трюм, в який завантажували амфори або шкіряні бурдюки з зерном, вином, олією. Вони не тільки плавали по всьому Середземному морю, а й виходили в Атлантичний океан, досягаючи північних земель Європи і західних берегів Африки. Приблизно в 600 році до н. е. фінікійські мореплавці першими в світі зробили морську подорож навколо Африки. Вони внесли великий вклад в морську науку, ввівши поділ кола горизонту на 360°, і знайшли для моряків надійні небесні орієнтири.

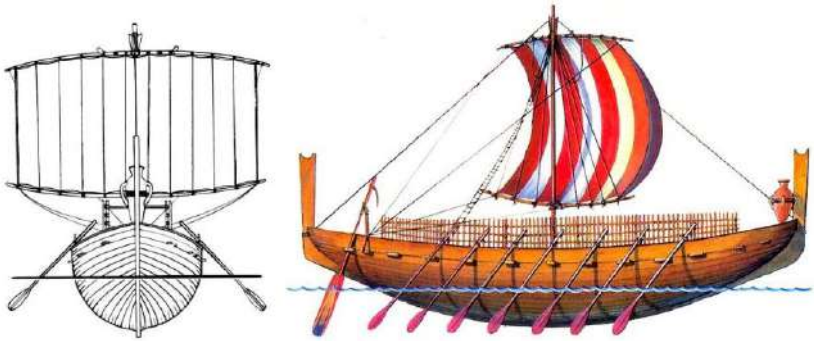

Рис. 2.8. Фінікійський торговий корабель 1500 року до н.е. Уздовж бортів закріплені решітки із прутів для огородження палубного вантажу. Щогла несла пряме вітрило на двох вигнутих реях, по типу єгипетського. До носового штевня кріпилася велика амфора з обпаленої глини для зберігання питної води.

У X столітті до н.е. у фінікійців з’явилися спеціальні бойові кораблі, які були вужчими, але легшими, довшими і вищими за торгові. Головною зброєю корабля був оббитий міддю таран. Корма корабля була високо піднята над водою і нагадувала хвіст скорпіона. Масивні кормове і носове кермові весла збільшували маневреність судна і дозволяли кораблю змінювати курс на 180° не повертаючи його. Довжина такого судна сягала 30 метрів, екіпаж складався з 20 –

30 осіб. Саме з фінікійських кораблів, найкращих на Стародавньому Сході, складалися флоти Ассирії, Вавилона і Перської імперії.

Рис. 2.9. Ассиро-фінікійський бойовий корабель, 1500 – 1000 роки до н.е. Палуба для воїнів піднята на стійках у вигляді платформи і закрита фальшбортом, на який навішували щити воїнів.

2.3. Зародження наукових знань на Стародавньому Сході

Зародження науки і освіти сприяло зростанню продуктивних сил перших цивілізацій Сходу. Ще за часів держав Шумеру і Аккаду близько 3000 року до н.е. в Месопотамії з'явилася клинописна писемність, яка являє собою комбінацію клинчастих рисок, що вичавлюються на табличках, зроблених із сирої глини. Писемність була клинописною саме тому, що на глиняних табличках знаки було зручніше витискати, а не креслити. Спочатку знаки відображали конкретні предмети, поняття, потім звукові комбінації, складові, фонетичні значення. Ця система письма поширилася на всьому Близькому Сході і стала основою для розробки багатьох алфавітів, що збереглися до нашого часу.

Писемність стародавнього Єгипту і Китаю з'являється у вигляді ієрогліфів – окремі слова позначаються малюнками. Потім ієрогліфи стали позначати поняття. Самобутні системи, що стали основою писемності в країнах Південно-Східної Азії, були створені в Індії.

Створення писемності стало найважливішим кроком на шляху розвитку людського суспільства. Уміння фіксувати і передавати нащадкам інформацію про досвід, накопичений в різних сферах

життя, надзвичайно розширило матеріальні та інтелектуальні можливості цивілізації.

Початки науки з'являються і в стародавньому Єгипті. Розвиток економіки, котра мала потребу в підрахунку кількості продуктів, робочої сили, ділянок землі стимулювали зародження начал математики. В Єгипті математика була заснована на десятковій ієрогліфічній системі числення, схожою на більш пізню римську, засновану на тих самих принципах. Єгиптянам були відомі дії з дробами, вони вміли обчислювати площі прямокутника, трикутника, трапеції. Площа круга обчислювалася приблизно, по формулі

$$S = \left(\frac{8}{9}d\right)^2. \qquad (2.1)$$

Це означає, що число π приймається рівним 3,1605.

Площа довільного чотирикутника зі сторонами *a, b, c* и *d* обчислювалася також за наближеною формулою як множення півсуми пар протилежних сторін, тобто

$$S = \frac{a+c}{2} \cdot \frac{b+d}{2}. \qquad (2.2)$$

Дана формула має яку завгодно велику похибку, в залежності від виду чотирикутника. Однак якщо її застосовувати для визначення площ чотирикутників, близьких до прямокутника, вона дає цілком задовільну точність.

Єгипетські математики вміли обчислювати об'єми паралелепіпеда, циліндра і піраміди, в тому числі зрізаної. Їм також були відомі арифметична і геометрична прогресії.

Таким чином, в Єгипті за 20 століть до н.е. складаються окремі елементи науки математики. При цьому техніка обчислення залишається примітивною і відсутні єдині методи вирішення завдань.

Математика стародавнього Вавилона ґрунтувалася на позиційній, але шістдесятковій системі числення, в якій до того ж був відсутній символ для позначення нуля, що створювало певні незручності. На основі цієї системи були сформульовані однакові правила арифметичних дій, як з цілими числами, так і з дробовими. Для полегшення рахунку в Вавилоні існували таблиці множення від 1×1 до 60×60, квадратів і кубів цілих чисел, квадратних коренів і ін.

Великий інтерес представляє вавилонський метод обчислення квадратних коренів. Це ітераційний метод, в якому для визначення квадратного кореня з числа а вибирається початкове наближення, а кожне наступне наближення будується за формулою

$$x_{n+1} = \frac{1}{2}\left(x_n + \frac{a}{x_n} \right). \qquad (2.3)$$

Метод має високу точність. Наприклад, якщо взяти в якості початкового наближення при обчисленні саме це число $\sqrt{2}$, то вже четверта ітерація дасть значення, в якому перші 12 знаків будуть точними – $\sqrt{2}$ = 1,4142135623746. В наш час вавилонський метод обчислення квадратних коренів широко використовується в машинному обчисленні для комп'ютерів і калькуляторів.

Вавилоняни вміли вирішувати лінійні і квадратні рівняння. Їх геометричні знання також перевищують єгипетські. Однак в математиці Месопотамії, як і в Єгипті, відсутні докази, критерієм правильності рішення вважається практика. При цьому точні і наближені формули не розрізнялися, якщо наближене рішення задовольняло практичні вимоги.

Математика давніх держав на території Індії та Китаю мала подібні до єгипетської та вавілонської риси. Поряд з великим арсеналом практичних знань і вмінням робити громіздкі обчислення там також була відсутня система доказів.

Необхідність орієнтування на місцевості і встановлення відліку часу сприяли народженню астрономії. Для землеробства і скотарства потрібно було знати пори року, коли настають холоди, сезон дощів або посуха. Жерці почали проводити спостереження за зірками і світилами. Ці спостереження століттями накопичувалися і передавалися усно з покоління в покоління, а після появи писемності почали записуватися.

Встановлення періодичності астрономічних явищ було однією з головних задач вавилонських астрономів. Для астрономічних спостережень з'явилися перші на Землі обсерваторії. Були визначені чотири сторони світу, зірки розподілені по сузір'ях, виділені 12 зодіакальних сузір'їв. Жерці знали п'ять планет і їх орбіти. Стародавні астрономи могли передбачати місячні затемнення, розрахувавши, що вони наступають через 6585 днів. Завдяки знанню

астрономії був створений календар. Рік мав 365 днів і ділився на 12 місяців. Були також закладені основи астрології, яка пророкує долі людей. У Месопотамії також зародилася географія. У III тисячолітті до н.е. були створені перші географічні карти, виконані на глиняних табличках.

В Єгипті також був створений календар, який дорівнював 365 дням. Рік в ньому ділився на три пори: «розлив», «зима» і «літо» – по 4 місяці в кожному. Початком року вважався день 19 липня, коли на горизонті перед сходом Сонця вперше після приблизно 70 діб невидимості з'являвся Сіріус. Цей календар прослужив багато століть аж до появи юліанського. Там зароджуються й основи медицини. Завдяки бальзамуванню єгиптяни знали анатомію людини, робили спроби теоретичного узагальнення цих відомостей у вченні про кровообіг.

Великими можна назвати й досягнення індійської медицини. Уже в середині II тис. до н. е. індійські медики систематизували знання в області анатомії людини і ввели анатомічні терміни. Вони не тільки ставили діагнози різних хвороб, але й успішно їх лікувати. На основі вивчення лікувальних властивостей рослин виготовлялися ліки, з'явилася спеціалізація лікарів.

Виникнення перших цивілізацій в Месопотамії та Єгипті в другій половині IV тисячоліття до н. е. докорінно змінило життя людства. У світі первісних племен з'явилися високорозвинені центри. Розвиток ремісничого виробництва послужив основою розвитку численних міст, які перетворилися в осередки культури і започаткованої науки. Економіка, наука і культура Стародавньої Месопотамії і Єгипту стали основою розвитку Близькосхідної, Середземноморської, а в подальшому і всієї Європейської цивілізації.

ГЛАВА 3

Антична наука і техніка

3.1. Виникнення античної науки і вплив на неї східних учень. Загальна характеристика розвитку науки в античному світі

Термін «антична цивілізація» означає розвиток греко-римської цивілізації, яка проявила себе дивовижно яскравою сторінкою в історії людства. Класична антична культура вплинула на весь подальший розвиток духовної культури. Вона дала людству перші громадянські інститути, видатних мислителів, дослідників, неповторні твори літератури, мистецтва, технічні винаходи, сприяла становленню науки як особливої сфери діяльності. Саме Грецію називають колискою європейської цивілізації.

Незважаючи на досить високий рівень розвитку давніх цивілізацій Сходу, вважається, що наука зародилася саме у Стародавній Греції в VI столітті до н.е. Проте, і в математиці, і в астрономії греки є учнями Сходу.

Хоча математики Сходу досягли певних успіхів, вони не прагнули до точного розв’язання математичних задач. Їх влаштовувало будь-яке наближене рішення, що давало прийнятні для практики результати. Греки, навпаки, підходили до математики суто теоретично, для них мало значення, перш за все, суворе рішення, отримане шляхом логічних міркувань. Це призвело до

розробки математичної дедукції, котра визначила характер усієї подальшої математики.

У Вавилоні певного рівня розвитку досягла астрономія, проте вона ставила перед собою виключно практичні цілі. Вавилонські астрономи не цікавилися устроєм Всесвіту, істинним рухом планет, причинами сонячних і місячних затемнень і т.д. Тому, незважаючи на наявність величезної кількості спостережень і на досить складні математичні методи їх обробки, вавилонську астрономію не можна вважати наукою в повному розумінні слова, її слід віднести до категорії прикладних дисциплін.

Грецькі вчені, хоча і відставали від вавилонян, від самого початку поставили питання про устрій світу в цілому. Це питання цікавило греків не заради якихось практичних цілей, а саме по собі; його постановка визначалася чистою допитливістю. Хоча перші моделі Космосу були вельми фантастичними, вони випередили найважливіший метод, який використовується в природознавстві – моделювання механізму природних явищ. При цьому експериментальна база наук в античний час практично відсутня. Експериментальний метод досліджень античні вчені застосовували вкрай рідко, обмежуючись простими спостереженнями навколишньої дійсності.

Таким чином, відмінною рисою грецької науки з моменту її зародження було прагнення до знань заради самих знань, а не тільки заради практичного їх застосування. На перших етапах існування науки її теоретичність зробила великий вплив на розвиток наукового мислення і зіграла прогресивну роль.

Народи, які створили великі цивілізації стародавнього Сходу, широко використовували найпростіші механізми – важіль, клин, похилу площину. Однак застосування цих механізмів було емпіричним знанням, оскільки пояснень принципів їх роботи ні в Єгипті, ні в Вавилоні не збереглося. У Стародавній Греції поряд зі стихійним застосуванням простих механізмів, з’явилися і механічні теорії. Це принципово відрізняє античну механіку від досягнень стародавнього Сходу.

На відміну від країн Сходу в Стародавній Греції виникли наукові школи: мілетська, піфагорійський союз, Академія Платона, Лікей Аристотеля та інші. Природничі науки (науки про природу) виникають в формі натурфілософії, яка грає роль «науки наук». Вона концентрувала всі людські знання про навколишній світ, а виникаючі природничі науки стали лише її складовими частинами.

При цьому знання мали умоглядний і теоретичний характер. Розвиток науки в античному світі, як сфери людської діяльності пов'язаний з появою людей, які спеціалізуються на отриманні нових знань, тобто вчених, завдяки цьому знання набували системного характеру. Вчені античного світу були енциклопедистами, носіями як гуманітарних, так і природничо-наукових знань. Античні наукові погляди мали істотну гуманітарну складову, як за формою, так і за змістом. Наукові праці отримували форму літературних творів. Через ці причини саме Грецію варто вважати прародителькою науки.

Основними замовниками наукових досліджень були правителі, а основною сферою застосування – військова справа. Для складання правил побудови машин розвивається механіка. Виготовлення інструментів і зброї потребувало промислового виробництва металів. На цій основі формуються перші знання в галузі хімії. Як міждисциплінарна наука формується математика. Вона використовується при вирішенні як наукових, так і прикладних завдань. У методології найважливішим досягненням античності є створення дедуктивного методу досліджень, викладеного в найбільш повному вигляді у «Логіці» Аристотеля, і аксіоматичного методу побудови науки, використаного Евклідом при написанні «Начал», де вперше геометрія будується на основі аксіоматики. Розвивається й географія, відомості з якої узагальнив до середини II столітті н.е. Птолемей.

Величезне значення для розвитку науки мало виникнення писемності і застосування більш досконалого, ніж давньосхідний папірус, матеріалу для письма – пергаменту. Виникають бібліотеки, найбільшою з яких була Олександрійська. У повсякденний побут і процес навчання входить писемність.

Давньогрецькі філософи вперше в історії суспільної науки дали визначення держави і закону, класифікували форми державної влади. Окремими напрямами в науці і філософії були ідеалізм (лінія Піфагора і Платона) і матеріалізм (лінія Демокрита і Епікура). Поряд з релігійністю наукових поглядів виникли й перші форми атеїзму. В античному світі виникають ідеї, які отримали розвиток в наступні епохи. До них, наприклад, можна віднести ідею про матерію, її незнищенність і рух, атомізм і гіпотезу про геліоцентричну будову світу. При цьому перемогла Аристотелево-Птолемєєвська геоцентрична система світобудови, що протрималася практично у незмінному вигляді до XVII століття.

Антична натурфілософія пройшла в своєму розвитку чотири етапи: іонійський, афінський, олександрійський (період еллінізму) і римський.

3.2. Іонійський етап розвитку античної науки

І етап розвитку античної науки – **іонійський** – охоплює VI століття до н.е. У цей час давньогрецька цивілізація охоплювала значну частину Середземномор'я, Малу Азію і чорноморське узбережжя, сформувалися міста-держави (поліси). У VI столітті до н.е. серед полісів вирізнявся Мілет – головне місто Іонійської колонії, розташований на узбережжі Егейського моря. Іонійський етап розвитку давньогрецької натурфілософії пов'язаний з іменами Фалеса, Геракліта, Анаксимандра, Анаксимена, Піфагора, Емпедокла.

Засновником **Мілетської школи** і першим представником грецької натурфілософії, був **Фалес** (625 – 547 роки до н.е.). Займаючись торгівлею, Фалес багато подорожував. Познайомившись з досягненнями Єгипетської і Вавилонської шкіл математики та астрономії, він, вже будучи зрілою людиною, залишив торгівлю і присвятив себе наукам, передусім астрономії та математиці. Твори Фалеса не збереглися, проте відомі його філософські погляди і наукові досягнення.

Фалес першим з грецьких геометрів ввів в математику систему доказів. Він довів декілька теорем, серед яких наступні:

- діаметр ділить коло навпіл;
- кути в основі рівнобедрених трикутників рівні;
- вертикальні кути рівні;
- якщо у двох трикутників сторона і два кути, що прилягають до неї рівні, то рівні і трикутники;
- теорема Фалеса про паралельні прямі.

Фалес запропонував спосіб визначення відстані до корабля в морі, заснований на подібності трикутників, а також аналогічний спосіб визначення висоти єгипетських пірамід. Він вперше визначив, що бурштин, натертий матерією, притягує предмети, виявив притягання залізних ошурків деякими рудами. Фалес зумів передбачити сонячне затемнення в 585 році до н.е. в Іонії, вважав, що Місяць світить не власним, а відбитим світлом. Він вказав на Малу Ведмедицю і інші сузір'я, важливі для мореплавання. Вчений

вважав, що Земля – це острів, що пливе в океані води, і має форму циліндра, навколо якого обертаються три небесних сфери. Вода, по Фалесу, є початком всього сущого. З води утворювалися земля, повітря і живі істоти і все потім перетворюється на воду.

У Фалеса було багато учнів. Один з них **Анаксимандр** (610 – 546 до н.е.) – автор першого в Греції наукового твору «Про природу». На відміну від Фалеса він вважав першоосновою не воду, а деяку туманну масу – «апейрон», з якої все відбулося. Анаксимандр вперше висловив ідею про збереження матерії. Він вважав розвиток живого світу еволюційним процесом, зокрема вважав, що людина в результаті еволюції походить від риби. Космологічні ідеї Анаксимандра близькі до ідей Фалеса: Земля має форму плоского циліндра, навколо якого обертаються небесні кільця: сонячне, місячне і зоряне. Найважливішим досягненням Мілетської школи є висновок Анаксимандра, згідно з яким Земля ні на що не спирається в світовому просторі. Крім того вчений винайшов квадрант – інструмент, що сприяв розвитку астрономії і методів навігації, створив першу географічну карту у вигляді мідної дошки з нанесеними на неї обрисами материків, островів і річок, виготовив перший сонячний годинник.

Учнем Анаксимандра був **Анаксимен** (585 – 524 до н.е.). За його вченням усе суще походить від повітря і повертається до повітря. Повітря нескінченне і вічне. Згущуючись, воно утворює хмари, воду і землю. Людська душа також складається з повітря. Розріджуючись, повітря перетворюється на вогонь. У той час як Анаксимандр вважав, що зірки розташовані ближче за планети, Анаксимен вважав, що зірки знаходяться далі, складаються з вогню, але ми не відчуваємо його тепла через велику віддаленність від зірок.

Піфагор (бл. 580 – бл. 500 до н.е.) народився на острові Самос біля берегів Малої Азії. Ім’я Піфагора відомо, перш за все, в зв’язку з теоремою, що носить його ім’я. Швидше за все, ця теорема раніше була відома в Китаї і Вавилоні, але її доказ належить Піфагору. Ще юним він залишив батьківщину і відправився подорожувати до Єгипту. Там він потрапив у полон до персів, і його відвезли в Вавилон, який вразив Піфагора своєю пишністю і красою. У Вавилоні він навчався у халдейських мудреців, вивчав математику, астрономію. Пізніше Піфагор створює в грецькій колонії Кротон (Південна Італія) свою філософську школу, потрапити до якої було

дуже складно. Серед випробувань, яким піддавалися кандидати, була обітниця п'ятирічного мовчання. Школа була за своєю суттю аристократичним союзом, який мав на меті моральне перетворення життя. Школа Піфагора поклала початок ідеалістичному напряму в античній науці. Він був сприйнятий Парменідом, Зеноном і розвинений в найбільш логічній формі Платоном. Піфагорійці вважали світ складається з п'яти елементів (стихій); землі, повітря, вогню, води й ефіру. Їм належить думка про кулясту форму Землі.

Піфагор підтримував ідею про переселення душ – «метемпсихоз». Він стверджував, що пам'ятає три переселення своєї душі за період 206 років, факти з попередніх життів. Піфагор вважав, що людська душа, ув'язнена в тілі, шляхом аскетики і самовдосконалення підноситься до Бога. Піфагору належать заповіді: «Роби лише те, що згодом не засмутить тебе і не примусить каятися»; «Не закривай очі, коли хочеться спати, не розібравшись своїх вчинків в минулий день»; «Привчайтеся жити просто, без розкоші». Піфагор вважав, що немає більшого злочину, ніж анархія і хаос. Піфагореїзм як течія в античній науці проіснував в формі неопіфагореізма до III століття.

У школі Піфагора з арифметики була виділена теорія чисел, знайдені багато математичних закономірностей теорії музики. Особливістю піфагорійського союзу було те, що числовим співвідношенням приписувалися таємничі магічні властивості. Стрункість їх уявлень порушило відкриття піфагорійцем Гіппасом неспівмірності діагоналі квадрата і його сторони. В результаті з'явилося логічно строге доведення ірраціональності $\sqrt{2}$. Це послужило причиною введення поняття ірраціонального числа і розширення самого поняття «число».

Оскільки сукупність геометричних величин (довжин відрізків) виявилася більш повною, ніж множина раціональних чисел, то виникло більш повне числення в геометричній формі, відоме як геометрична алгебра. Первинними елементами в ньому є відрізки, їх множення дає прямокутник, а добуток трьох відрізків – прямокутний паралелепіпед. Добуток більшого числа співмножників розглядати не можна. Однак не тільки цим обмежувалися можливості геометричної алгебри – при вирішенні рівнянь можна визначати тільки позитивні корені. Її недоліки як загальної математичної теорії підкреслюються ще більше тим класом задач, рішення яких в цьому обчисленні є неможливим.

Серед них задачі про квадратуру кола, трисекції кута і подвоєння куба, нерозв'язні за допомогою циркуля і лінійки.

Прагнення до бездоганної точності рішення призвело також до відмови від арифметичних способів вирішення квадратних рівнянь, оскільки часто корінь не може бути ані парним, ані непарним, тобто є ірраціональними. Тому греки застосовували для цих рівнянь громіздкі геометричні методи.

Геракліт (544 – 483 до н.е.) – уродженець Ефеса в Малій Азії, був аристократом за походженням. Його твір «Про природу» дійшов до нас в уривках. Першоосновою всього сущого Геракліт вважав вогонь. З вогню відбулися світ в цілому, всі речі і навіть людські душі. Під вогнем вчений розумів непроста полум'я, але вічно існуючий Космос, який не створений Богом, а існує завжди. Речі виникають з вогню не довільно, а відповідно до необхідності, яку Геракліт назвав «логосом». Життя природи – безперервний рух вогню. «На вогонь обмінюється все, і вогонь – на все, як на золото товари і на товари золото». За Гераклітом немає нічого незмінного. Він говорив: «В одну і ту саму річку не можна увійти двічі». Геракліт вважав будь-яке знання відносним, таким, що потребує додаткового визначення. Йому належить висловлений в зв'язку з цим афоризм: «Морська вода – найчистіша і найбрудніша: вона придатна для пиття і цілюща рибам, однак людям для пиття непридатна і шкідлива». Геракліт вважав, що в основі пізнання лежать відчуття, але тільки мислення призводить до мудрості. Він був прихильником встановлення жорсткого державного законодавства і говорив, що «свавілля слід гасити швидше за пожежу», а «люди повинні боронити закон, як стіни рідного міста».

Емпедокл (490 – 430 до н.е.) із сицилійського міста Агрігента вважав, що все у світі складається з поєднань чотирьох елементів (стихій): землі, води, повітря і вогню. Джерелом розвитку вчений вважав протилежні сили: «любов і ворожнечу», які з'єднують матеріальні елементи. Любов і ворожнеча за Емпедоклом механічно діють на стихії, безперервно змішують їх і знову відокремлюють. Історичне значення має висловлена ним вперше здогадка про закономірності еволюції живих істот в результаті природного відбору. Ця гіпотеза наведена Емпедоклом в його філософській

поемі «Про природу». Цікаво відзначити, що Емпедокл цінував заняття філософією вище за володіння владою і відкинув царську корону, запропоновану йому сицилійцямі.

Одним з найвидатніших представників іонійської школи був **Анаксагор** (бл. 500 – 428 до н. е.). У 45-річному віці він переселився до Афін, захоплений інтелектуальним життям, яке панувало в місті. Він близько зійшовся з основоположником афінської демократії полководцем Періклом і першим став викладати філософські ідеї в загальнодоступній формі. Анаксагор став засновником афінської школи натурфілософії. Його учнями стали самі Перікл, Фукідід, Архелай, Евріпід і Сократ. Матерія, вважав Анаксагор, складається з незліченної множини малих первинних частинок – гомеомерій, які не виникають і не можуть руйнуватися і переходити один в одного. Світ створений з первинно нерухомих гомеомерій матеріально мислимим початком – розумом. Анаксагор першим висунув припущення про те, що Сонце – не бог, а розпечений величезний камінь. Звинувачений в образі богів Анаксагор був засуджений до смертної кари, і тільки красномовство Перикла врятувало його – страту замінили вигнанням.

3.3. Афінський етап розвитку античної науки. Виникнення атомістики

Афінський етап розвитку античної науки охоплює 480 – 330 роки до н.е. Його початок пов’язаний з відбиттям перської навали, а закінчення – із завоюванням Греції Македонією. В цей час підносяться Афіни, які зіграли вирішальну роль у перемозі над персами. В Афінах остаточно окреслилися дві лінії античної філософії. Першу з них представляє велика трійця античних філософів: Сократ, Платон і Аристотель. Другу – атомісти Левкіпп і Демокрит.

Визначним моментом в античній філософії стала діяльність послідовника Анаксагора – **Сократа** (бл. 469 – 399 до н.е.). Вчення цього давньогрецького філософа знаменує поворот в філософії від розгляду природи і світу до розгляду людини. Філософські погляди Сократа мали істотний вплив на розвиток науки. Ототожнюючи позитивні якості людини з її знаннями, він звернув увагу філософів на значення людської особистості.

Життя Сократа пройшло в бесідах і критиці. В молодості він прославився як хоробрий воїн. Вчений нічого не писав, і його

філософські погляди дійшли до нас у формі бесід, діалогів, переданих учнями – Ксенофонтом і Платоном. Сократ вважав будову світу непізнаваною. Пізнати можна тільки самого себе. Вчений критикував афінську демократію і вважав її головним недоліком некомпетентність посадових осіб, які обиралися за жеребом.

Сократ був страчений за вироком суду. Звинувачення містило три пункти: безбожництво, введення нових божеств (мався на увазі його «внутрішній голос», «демон Сократа») і розбещення юнацтва. Вирок він привів у виконання сам, випивши келих з отрутою.

Найвизначнішим учнем і послідовником Сократа став **Платон** (428 – 347 до н. е.). Будучи вихідцем зі знатної аристократичної сім'ї, він замолоду потрапив під філософський вплив Сократа. У своїй філософії Платон спирався також на вчення піфагорійців, Парменіда і Геракліта. Вчений викладав свої погляди у формі філософських діалогів. Відомо близько тридцяти таких творів, серед яких «Софіст», «Парменід», «Держава» та ін.

Платон заклав основи ідеалізму, висунувши теорію існування безтілесних форм речей, так званих «видів» або «ідей». Саме вони є вічними і є буттям, а матерія і простір за Платоном – небуття. Чуттєвий світ при цьому займає деяке проміжне положення між буттям і небуттям, оскільки почуття минущі, залежать від простору і часу. Джерелом пізнання служать спогади безсмертної душі про світ ідей, який споглядається душею до вселення в смертне тіло, тоді як душа є безсмертною. Абсолютними цінностями є істина, чеснота і краса. Платон наводив докази на користь цих цінностей на основі знань, отриманих в математиці і астрономії. Вчений брав погляди Піфагора на значення чисел і ідеальних пропорцій. Він надавав божественного значення зіркам, Сонцю, Місяцю й планетам. Упродовж сорока років Платон викладав своє вчення у створеній ним Академії. Він був прекрасним оратором, і це значною мірою сприяло успіху його школи. Викладання в Академії не припинилося і після смерті філософа – вона проіснувала майже 1000 років і була закрита імператором Юстиніаном в 525 році.

Платон також займався винахідницької діяльністю. Зокрема, він побудував оригінальний будильник, застосувавши принцип реле. Принцип його дії був наступним. Вода стікала по краплях, наповнюючи посудину. Коли вона доходила до певного рівня, то з силою проривалася в іншу посудину. Витіснене з неї повітря

проходило по трубі в статую флейтиста, яка видавала при цьому досить гучний звук.

Світогляд Платона зробив істотний вплив на становлення і розвиток природничих наук. Платонівське поняття Космосу було класичним в античній науці. За Платоном Космос з'явився в результаті акту творення. Космос має сім небесних кіл, відповідних відомим тоді п'яти планетам, Сонцю і Місяцю, які рухаються навколо кулястої Землі.

Найвідомішим учнем Платона і в той же час противником його вчення є **Аристотель** (384 – 322 до н.е.). Творчий геній Аристотеля поєднувався з великим даром організатора науки, дозволивши їм звести розрізнені відомості, великий науковий матеріал, що накопичився на той час, в єдине ціле, в струнку наукову систему. Вчений підкреслює важливість доказів в математиці: «Докази не тільки встановлюють справедливість тих чи інших фактів, але прояснюють сутність цих фактів і розкривають логічні зв'язки між ними». Твори Аристотеля, що дійшли до нас, являють собою енциклопедію наукових знань античності, що включає математику та природничі науки (фізику, механіку, астрономію, біологію), а також гуманітарні науки (психологію, історію, економіку та філософію). Система знань, зібраних і систематизованих Аристотелем, служила майже дві тисячі років кістяком, каркасом науки.

Аристотель народився в Стагірі (грецька колонія у Фракії). Батько його був лікарем. Аристотель навчався в Академії Платона, пробувши в ній загалом близько 20 років. Після смерті вчителя він відправився подорожувати Грецією. У 343 – 340 роки до н.е. Аристотель був вихователем Олександра Македонського. Повернувшись до Афін в 335 році, вчений заснував свою філософську школу – Лікей, яким керував 13 років.

Після смерті Олександра Македонського Аристотель залишив Афіни, звинувачений в чаклунстві, а по суті справи це було гоніння на нього як на представника промакедонской партії. Своєю втечею вчений намагався позбавити афінян від вторинного злочину проти філософії (першим, як вважав Аристотель, була кара Сократа). Через рік він помер у віці 62 років в місті Халкіда на острові Евбея.

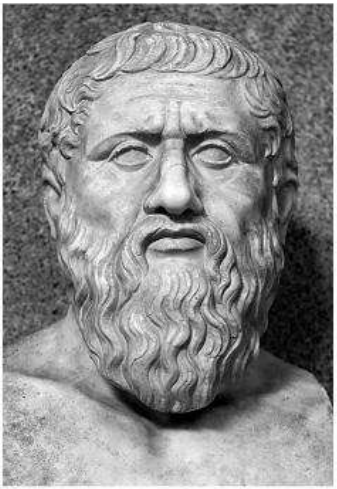

Рис. 3.1. Бюст Платона
в музеї Ватикану

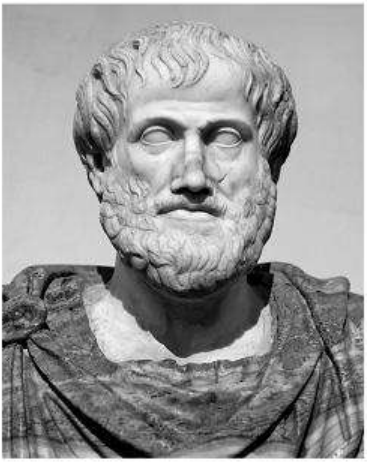

Рис. 3.2. Бюст Аристотеля.
Мармурова римська копія з
бронзового грецького оригіналу

Зі спадщини Аристотеля збереглися трактати, що представляють собою конспекти його лекцій, написані в оповідної формі. З точки зору природознавства мають інтерес трактати «Фізика», «Про небо», «Про виникнення і знищення», «Метеорологія», а також написані в формі питань і відповідей «Проблеми» і «Механіка». Твори Аристотеля в формі діалогів не збереглися, і ми знаємо про них з переказів.

За Аристотелем, фізика є ключем до розуміння світу, проте в поняття «фізика» він вкладав дещо інший сенс, ніж ми вкладаємо сьогодні. У його «Фізиці» немає математичних формул, приладів і експериментів. Під фізикою вчений розумів природу, поведінку тіл в природному стані і в своїх дослідженнях намагався відшукати «природу», природний характер речей. Матерія, як вважав Аристотель, це вихідний субстрат кожної речі. Вона складається з чотирьох стихій: землі, вогню, повітря і води. До неї додається і п’ята – ефір. Перші чотири стихії переходять одна в іншу, утворюють речовини, а ефір – вічний і незмінний. Світ, на думку Аристотеля, неоднорідний. У підмісячному світі речі виникають, руйнуються і зникають. Надмісячний світ небесних сфер – вічний, незмінний і непорушний.

Основою фізичних уявлень Аристотеля є вчення про рух і простір. При цьому рух Аристотель розумів як будь-яку кількісну або якісну зміну, надаючи йому широкий сенс. Механічний рух, тобто зміну положення тіл, Аристотель визначав як частковий, локальний рух. Ці локальні рухи він поділяв на природні і насильницькі. Природні рухи бувають прямолінійними (наприклад, падіння тіл) і круговими (обертання зірок) і не вимагають ніякої сили. Регулярність і вічність кругового руху обумовлена першодвигуном, що передав цей рух сферам, до яких прикріплені зірки. Центр обертання знаходиться в центрі Землі.

Ґрунтуючись на побутових повсякденних спостереженнях, Аристотель вважав, що для підтримки рівномірного прямолінійного руху тіла до нього необхідно постійно докладати сили. Це уявлення Аристотеля про насильницький рух лежить в основі античної динаміки. При цьому швидкість руху обернено пропорційна опору середовища. При відсутності зовнішньої сили, відповідно до Аристотеля, тіло рухатися не може. До того ж рух тіла, кинутого під кутом до горизонту, котре не підтримується силами, Аристотель пояснює властивостями повітря. Він, нібито, підштовхує тіло в русі, як вітрило за вітром, прагнучи зайняти місце, що звільняється тілом під час руху. Таким чином, за відсутності опору середовища (рух в порожнечі), з одного боку, при дії сили тіло повинно мати необмежену швидкість, а при її відсутності рухатися не може. Це суперечило повсякденним уявленням, тому Аристотель прийшов до висновку про неможливість існування порожнечі в природі. За висновком Аристотеля «природа не терпить порожнечі», весь простір заповнений матерією. Властивості простору залежать від властивостей тіл, що рухаються в ньому. За Аристотелем немає і часу, що існує незалежно від руху і подій, що відбуваються.

Наслідком уявлень Аристотеля про рух є також висновок про пропорційність швидкості падіння тіл вазі тіла в даному середовищі. Поступове збільшення швидкості при падінні Аристотель пояснював збільшенням ваги при наближенні тіла до місця, обумовленого йому природою.

Таким чином, завдяки помилкам Аристотеля, в механіці утвердилися абсолютно неймовірні уявлення про причини механічного руху. Що стосується іншого розділу механіки – статики, то тут внесок вченого є істотнішим. Саме він створив такий науковий напрям як кінематична статика, що згодом виріс в

аналітичну статику. Він сформулював правило складання переміщень (для окремого випадку перпендикулярності переміщень) і, ґрунтуючись на співвідношенні швидкостей точок механізмів, отримав правила рівноваги важеля, блоків і ваг. Вчений з точки зору кінематики описав дію найпростіших механізмів. Найбільш повно це вчення Аристотеля викладено у праці «Механічні проблеми», яке йому зазвичай і приписується. Згодом зі вчення Аристотеля виросло «золоте правило механіки», а потім і принцип віртуальних переміщень.

В астрономії зусиллями Аристотеля остаточно утвердилася геоцентрична система будови світу. Католицька церква, яка була спочатку вороже налаштована до вченого, з XIII століття визнала його найбільшим авторитетом з усіх питань, окрім догматів релігії. Незважаючи на величезні заслуги Аристотеля, його уявлення про причини руху і відмова від спеціально поставлених експериментів завдали розвитку науки величезної шкоди, так як її розвиток було зупинено на дві тисячі років. Хоча філософи вважають Аристотеля «засновником істинного природознавства», він жодним чином не вважається таким у фізиків і механіків.

Проте Аристотель зробив великий внесок у розвиток науки та її методології. Він вчив, що докази не тільки встановлюють справедливість тих чи інших фактів, але виявляють сутність цих фактів і розкривають логічні зв’язки між ними. Заслугою Аристотеля в області природознавства є також його внесок в біологію, який вважається навіть більшим, ніж в фізику. Він зібрав і класифікував величезний матеріал з анатомії тварин. У біології Аристотель керувався ідеєю прагнення всього в природі до досконалості. Він визначив життя як здатність до самозабезпечення, до незалежного росту і розпаду. Разом з тим Аристотель відкидав ідею еволюції і вважав, що всі види тварин незмінні.

Визначним досягненням Аристотеля є створення ним формальної логіки. Основою для логіки стала ідея класифікації, яка проходить через усі праці Аристотеля. На основі формальної логіки Аристотеля згодом виникла математична логіка.

Учень Платона Аристотель однак відкидав низку принципових позицій у світогляді свого вчителя. Він вважав матеріальний світ реально існуючим, істинним буттям володіють конкретні речі, а не платоновські «ідеї».

Другим напрямком античної філософії стала атомістика. Одним з її основоположників є грецький філософ-матеріаліст **Левкіпп** (бл. 500 – 440 до н.е.). Цей вчений одночасно з Емпедоклом і Анаксагором висунув ідею множинності елементів існуючого. Дотримуючись ідеї Парменіда про незмінність і якісну однорідність сущого, для пояснення різноманітності предметів він стверджує існування відносного небуття, тобто наявність порожнечі, що розділяє все суще на безліч елементів. Властивості цих елементів залежать від обмежуючого їх порожнього простору, вони розрізняються за величиною, фігурою, рухом, але всі елементи мисляться як однорідні, безперервні і тому неподільні. Як і філософи іонійської школи, Левкіпп вважав рух внутрішньо притаманним атомам. На жаль ніяких робіт, які можна з упевненістю вважати його творами, не збереглося.

Більш струнку теорію атомістичної будови матерії, що зробила величезний вплив на розвиток природних наук, висунув і розвинув **Демокрит** (460 – 370 до н.е.). Він народився у Фракії на березі Егейського моря в місті Абдери в родині багатого торговця і рабовласника. Демокрит багато подорожував, побував в Месопотамії, Єгипті, Індії, в Афінах зустрічався з Сократом. Він був слухачем визначних грецьких філософів Левкіппа і Анаксагора, у яких вивчив філософію мілетської школи. Демокрит також був добре знайомий зі вченням софістів, навіть вів полеміку з його творцями.

Праці Демокрита до нас не дійшли, але їхній зміст розкривається у творах інших авторів, викладають суть його поглядів, в тому числі вчення про атомах (*atomoi* – неподільні). Атоми різні за розмірами і формою і недоступні для людського сприйняття. Вони знаходяться в безперервному русі і з їх поєднань утворюються всі предмети. Згідно з Демокритом, атоми, які складають матеріальну основу Всесвіту, є вічними, так само вічним є і Всесвіт, що складається з атомів і порожнечі. Демокрит вважав Всесвіт не тільки вічним, але і нескінченним в просторі.

Нічого не існує, крім атомів і порожнечі; уявлення про все інше є лише припущенням. Атоми являють собою абсолютно щільні, неподільні частки, які мають вагу, форму і величину. Число атомів і число їх нескінченних форм також є нескінченним. Таким чином, Демокрит поклав початок матеріалізму у філософії на противагу ідеалізму Піфагора і Платона. Він заперечував випадковість подій,

розглядав її як результат незнання. Джерелом пізнання Демокрит вважав чуттєве сприйняття, пояснюючи його витоком від досліджуваних об'єктів тонких оболонок – «ідолів», що впливають на органи чуття. Це сприйняття відбувається на низькому «темному» рівні. «Світлий» же рівень забезпечується тільки розумом, який веде до пізнання сутності Світу, що складається з атомів і порожнечі.

Демокрит визнавав існування душі у людини, яка складається з найдрібніших атомів. Поряд з філософією, Демокрит розробляв і питання математики, фізики, філософії, психології, медицини, мистецтва, етики.

З інших вчених Афінського етапу можна виділити **Архіта Тарентского** (бл. 428 – 365 до н.е.). Цей давньогрецький філософ, математик і астроном був одночасно і видатним державним діячем, і полководцем. Він сім разів обирався стратегом Тарента, встановив демократичну конституцію, врятував в 361 до н.е. Платона від розправи з боку сицилійського тирана Діонісія II. Архіт був послідовником піфагорейської школи і став одним з найвизначніших представників стародавнього піфагореїзма. Йому належить вирішення завдання подвоєння куба, засноване на побудові перетину декількох поверхонь обертання.

Характерною рисою античної механіки є роз'єднаність вчення про рух – кінематики і вчення про рівновагу – статики. Статика була безпосередньо пов'язана з запитами практики, її основними проблемами були розрахунок виграшу в силі при використанні простих механізмів і висновок умов рівноваги при плаванні тіл і зважуванні. Основою античної статики служив «принцип важеля». Встановлення перших принципів механіки приписується Архіту. Він також розробляв теорію блоку і поліспаста. Вчений з Тарента перший упорядкував механіку, приклавши до неї математичні основи, і перший звів рух механізмів до геометричного креслення. Уривки з його праць «Про математичні науки» та «Бесіди» цитуються в творах Аристотеля та інших античних авторів.

Серед учнів Архіта був **Евдокс Кнідський** (408 – 355 до н.е.), який є одним з основоположників інтегрального числення і теоретичної астрономії. Використовуючи ідею мізерно малої величини, він розробив для визначення площі і обсягу криволінійних фігур метод вичерпання – предтечу визначеного інтеграла. Цей метод включений в 12-у книгу «Начал» Евкліда, ним широко користувався Архімед. Однак вказаний метод розвивався

тільки у зв'язку з конкретними завданнями і не придбав абстрактного характеру.

Метод полягав в тому, що для знаходження площі фігури в неї вписувалася монотонна послідовність інших фігур і доводилося, що їх площі необмежено наближаються до площі шуканої фігури. Потім обчислювався межа послідовності площ. Така само ідея використовувалася і для визначення обсягу тіла. Греки не використовували поняття нескінченності і загальної теорії меж у них не було. Тому обґрунтування єдності межі, повторювалося для кожного завдання.

3.4. Олександрійський етап розвитку античної науки

Олександрійський (елліністичний) етап (приблизно 330 рік – І століття до н.е.) почався з розпаду імперії Олександра Македонського і утворення цілого ряду держав еллінізму на місці колишньої Перської імперії.

Найбільшим науковим центром стає нова столиця Єгипту – Олександрія, заснована Олександром в 332 році до н.е. Саме там наступник Олександра Великого, засновник династії царів Єгипту Птолемей І вперше здійснив спробу державної організації та фінансування науки. На початку ІІІ століття до н.е. в Олександрії був організований **Мусейон** – перша в світі науково-дослідна установа. При ньому були створені лабораторії, де можна було проводити експерименти, зоологічний сад з найрізноманітнішими тваринами, ботанічний сад з рослинами, привезеними з різних країн, а також найбільша в античні часи бібліотека. У світі не було такого цінного твору, оригінал або копія якого не зберігалися б в Олександрійській бібліотеці. За різними оцінками чисельність книг в ній складала до 700 тисяч екземплярів. Сотні грамотних рабів щодня трудилися над переписуванням сувоїв.

Для роботи вченим в Мусейоні були створені всі умови. Саме тому там працювали найвидатніші вчені, серед яких можна виділити, перш за все, імена Евкліда, Епікура й Архімеда.

Найбільший внесок елліністична доба зробила в математику і механіку, в розвиток писемності. До кінця еллінського етапу античної науки писемність входить в звичайне повсякденне життя античного світу. До IV століття до н.е. у математиків проявляється прагнення систематизувати математичні знання і викласти їх з логічною послідовністю. До цього їх спонукав розвиток логіки.

Твори, в яких викладалися перші системи математики, у багатьох авторів отримали назву «Начала». Вони або загублені, або забуті, а загальне визнання отримали «Начала» Евкліда.

Евклід (IV – поч. III ст. до н.е.) був найбільшим математиком свого часу. Про його життя відомо мало, але до нас дійшов безсмертний твір вченого – «Начала», в якому геометрія вперше викладена як єдине ціле вчення. В Олександрії Евклід працював з 310 до 280 року до н.е. Тут він створив математичну школу і написав для учнів свій великий труд. Вся математична система Евкліда заснована на п'яти постулатах і п'яти аксіомах, прийнятих без доказів. В «Засадах» узагальнені і відображені досягнення всієї математики того часу. Логічна строгість викладу геометрії залишалася неперевершеною протягом 20 століть. Вплив «Начал» відчули практично всі найбільші вчені світу. Ця робота послужила зразком дедуктивної побудови нових наук і до сих пір лежить в основі всіх шкільних курсів геометрії.

Останнім великим філософом епохи еллінізму вважається **Епікур** (341 – 270 до н.е.). У своєму вченні він на новому рівні відроджує ідеї атомізму Демокрита. За його уявленнями можлива випадковість руху атомів, відхилення їх траєкторії від прямої лінії. На основі атомізму Епікур намагався пояснити не тільки природні явища, а й явища соціальні та психічні. Згідно з Епікуром, відчуття виникають внаслідок потоку часток, що проникають в органи почуттів. Атоми, перебуваючи в безперервному русі, утворюють все суще. Так виникла і Земля, потім від неї відокремилося небо, Земля породила життя, а все, що не могло пристосуватися до життя на Землі, вмирало. Природним шляхом на Землі виник тваринний і рослинний світ, а також людина. Епікур не знаходив місця божественному початку земного життя. Він вважав, що боги знаходяться далеко, в міжзоряному просторі, і в життя людей не втручаються. В античні і в більш пізні часи поняття «епікуреєць» означало «безбожник».

До Олександрійського етапу відноситься і спроба створення геліоцентричної системи світу. Піфагорієць **Аристарх Самоський** (310 – 230 до н.е.), Який працював в Олександрії, висунув гіпотезу про обертання кулястої Землі навколо Сонця. Але ця гіпотеза залишилася без уваги.

Також в Олександрії жив і працював основоположник пневматики **Ктесібій** (285 – 222 до н.е.). Він займався пневматичними і

гідравлічними пристроями, винайшов двоциліндровий пожежний насос, водяний годинник, водяний орган. Ктесібій створив першу пневматичну зброю – аеротрон, в якому снаряд виштовхується стиснутим повітрям. Таким чином, він першим застосував кінематичну пару циліндр – поршень. Вчений також написав перші наукові трактати про пружну силу стисненого повітря і її використання, проте жодна з його робіт не збереглася.

Найвидатнішим вченим не тільки Олександрійського етапу, але і всього античного періоду був **Архімед** (287 – 212 до н.е.). Він народився в Сиракузах на острові Сицилія, але довго вчився і працював в Олександрії. Вчений прославився як механік і математик, який вразив не тільки сучасників, але і нащадків оригінальністю мислення і винахідливістю.

Розвиваючи метод вичерпання, близький до інтегрального числення, Архімед довів, що обсяги циліндра, кулі і конуса, мають однакову висоту і ширину, відносяться як 3:2:1 відповідно. Однак у нього ще не введені загальні поняття межі, інтеграла, нескінченної суми і т.д. До того ж метод застосовується індивідуально для кожного завдання.

Обчислення ірраціональних і трансцендентних чисел породило ідею їх наближення числами раціональними. У роботі «Вимірювання круга» Архімед визначає число π за допомогою обчислення периметра вписаного й описаного правильного багатокутника. При числі сторін рівному 96 він отримує верхню і нижню межі $3\frac{10}{71} < \pi < 3\frac{1}{7}$ або 3,14085 <π <3,14286, тобто обидва значення приблизно дорівнюють 3,14. Але важливим є також те, що вчений застосовує метод, близький до диференціального. До такого ж способу відноситься і метод знаходження дотичної до спіралі. Таким чином, Архімед заклав основи диференціального й інтегрального числення майже за два тисячоліття до створення математичного аналізу Ньютоном і Лейбніцем. Крім того він впритул підійшов і до варіаційного числення.

Архімед є основоположником геометричного напрямку в статиці. Він уперше підійшов до механіки як до математичної дисципліни і математично строго вивів закон важеля. Після цього опис роботи всіх простих механізмів він зводить до важеля. Архімед також вивів способи визначення центрів ваги тіл. Великий вчений

стародавності використовував свої досягнення для створення різних підйомних механізмів. Діяльність Архімеда докорінно змінила математику і механіку, тому його вважають найвеличнішим вченим античності.

Архімед був також і найвеличнішим винахідником-механіком. Він побудував безліч доречних машин для підіймання і переміщення важких. Окрім цього, вчений створив гвинт для підняття води, йому належить і винахід черв'ячної передачі. Архімед також придумав спосіб визначення складів сплавів шляхом їх зважування у воді.

Архімед побудував **планетарій** або «**небесну сферу**», за рухом якої можна було спостерігати рух п'яти планет, схід Сонця і Місяця, фази і затемнення Місяця, зникнення обох тіл за лінією горизонту. Займався проблемою визначення відстаней до планет; імовірно в основі його обчислень лежала система світу з центром в Землі, але планетами Меркурієм, Венерою і Марсом, що обертаються навколо Сонця і разом ним – навколо Землі. Основою механічного глобуса Архімеда був звичайний зоряний глобус, на поверхню якого наносяться зірки, фігури сузір'їв, небесний екватор і екліптика – лінія перетину площини земної орбіти з небесною сферою. Уздовж екліптики розташовані 12 зодіакальних сузір'їв, через які рухається Сонце, проходячи одне сузір'я в місяць. Не виходять за межі зодіаку й інші небесні тіла – Місяць і планети. Глобус закріплюється на осі, спрямованої на полюс світу (полярну зірку), і занурюється до половини в кільце, на якому зображено горизонт. Повертаючи кулю на потрібні кути, можна було легко дізнатися вигляд неба в будь-який час. Якась частина кулі ніколи не опинялася вище горизонту. У цій частині знаходилися сузір'я південної півкулі, невідомі вченим того часу. Сонце, Місяць і зірки на звичайному зоряному глобусі відсутні, їх неможливо зобразити, так як вони безперервно змінюють своє положення по відношенню до зірок. Архімед зробив так, щоб макети цих світил переміщувалися за допомогою спеціальних механізмів.

Багато винаходів Архімеда використовувалися у військових цілях. Під час Другої Пунічної війни він очолював оборону Сиракуз, обложених римлянами. Вчений побудував для оборони міста

метальні машини, що дозволяли метати стріли і камені вагою «до 10 талантів» (500 кг). Інші машини, як пише Плутарх, «захоплювали судна, піднімали їх в повітря і потім кормою занурювали в воду». Налякані цим римляни вдавалися до втечі. Ворота міста відкрила зрада, при взятті Сиракуз штурмом Архімед був убитий.

З успіхами статики пов'язано і зародження науки про міцність, перші знання про яку з'явилися ще у давнину. Зокрема в стародавньому Єгипті вже були відомі отримані емпіричним шляхом правила, без яких неможливо було зводити грандіозні споруди – піраміди, храми, обеліски і ін. Великий внесок у розвиток будівельного мистецтва зробили грецькі вчені. Вони розробили статику, що лежить в основі опору матеріалів.

3.5. Римський етап розвитку античної науки

До I століття до н.е. Рим безмежно панує у всьому Середземномор'ї. Він стає найважливішим центром Європи, Північної Африки і Східної Азії. У розвитку науки настає **Римський етап** (I століття до н.е. – V століття н.е.). Елліністична наука почала активно проникати в Рим ще у II ст. до н.е. Рим стає центром наукової діяльності, хоча значення Олександрії і Афін як і раніше залишається значним. Однак в I столітті н. е. вчені Олександрії втратили державну матеріальну підтримку.

Вже за часів республіки римська культура стає двомовною, а до часу імперії загальноприйнятою мовою науки стає грецька, а міжнародною мовою адміністрації – латина. Філософія залишається однією з основних наук античного світу. Однак римляни сприйняли від елліністичних теорій лише те, що відповідало їхнім потребам й уявленням. Цим насамперед і пояснюється деяке наукове відставання римлян, компілятивний і книжковий характер наукового знання в Римі. На перший план виходять практичні знання і досвід, що призводить до формування особливого описового характеру теоретичного знання у римських авторів. Енциклопедичний спосіб викладу в тій чи іншій мірі виявляється у будь-якого римського вченого: в цій манері писали Варрон,

Лукрецій, Цицерон, Манілій, Вітрувій, Цельс, Пліній Старший, Колумелла.

В області суспільного устрою, зокрема в питаннях права і адміністрування, римляни не знали собі рівних. На небачену до того висоту ~~у римлян~~ піднявся рівень розвитку будівельної, військової, сільськогосподарської техніки Давнього Риму, незважаючи на відсутність власних оригінальних винаходів.

Великих успіхів досягли в Римі освіта і наукове життя. Римська система освіти була запозичена у греків, проте математика у них відійшла на другий план, а на перший висунулися право, мови, література та історія. Уроки музики і гімнастики замінили більш важливі в військовій справі верхова їзда та фехтування. Навчання складалося з трьох ступенів: початкової школи, школи граматики і школи риторики. У початковій школі вчили читати, писати і рахувати. У середній школі вчителі викладали грецьку мову, сім вільних мистецтв – граматику, діалектику, риторику, музику, арифметику, геометрію і астрономію, а також архітектуру і медицину, Останній щабель являв собою вищу школу, і в ній навчалися мистецтву красномовства і філософії. Володіння риторикою було необхідною умовою політичної кар'єри, і імператори асигнували великі суми на утримання таких шкіл.

Велике значення надавалося в Римі в I – II століттях географічних знань, медицини та історії. У цей період були створені школи для підготовки лікарів. З'являються трактати **Страбона** (64/63 – 23/24 до н.е.), Птолемея. «Природну історію», що була енциклопедією з фізичної географії, ботаніки, зоології, мінералогії, створив **Пліній Старший** (23/24 – 79). Великих успіхів досягла медицина – лікар **Гален** (129 – 199) проводив досліди з вивчення дихання, діяльності спинного і головного мозку, зробив перший анатомічний опис організму.

Найбільшим науковим центром залишалася Олександрія. У цьому місті в I столітті н. е. працював видатний грецький математик і механік Герон Олександрійський. Подробиці його життя невідомі. Герон є найбільшим інженером-винахідником за всю історію людства і основоположником теплотехніки і автоматики. На його рахунку десятки винаходів, серед яких діоптр – прообраз сучасного

теодоліта, одометр – пристрій для вимірювання протяжності доріг, скорострільний самозарядний арбалет, пожежний насос. Герон першим почав створювати програмовані пристрої за допомогою вала зі штирями і намотаною на нього мотузкою.

Герону Олександрійському належить і перше використання теплової енергії. Його Герона куля – еоліпіл (в перекладі з грецького «куля Еола – бога вітрів») став прообразом реактивної парової турбіни. Він являв собою порожнисту металеву кулю з упаяними в нього на протилежних півкулях двома Г-подібними патрубками-соплами. Куля могла обертатися в трубчастих опорах. Цими трубками, що грали роль осей, пара надходила в кулю від котла, встановленого під кулею. Потім вона виривалася з трубок, створюючи реактивні сили, під дією яких куля доволі швидко оберталася. Побудований сучасними вченими за кресленнями Герона еоліпіл розвинув до 3500 обертів на хвилину! Однак це зовсім не означає, що куля самого Герона розвивавала таку саму швидкість, оскільки у нього ще не було відповідних ущільнювачів, і крім того вчений нічого не знав про балансування ротора.

Рис. 3.4. Геронова куля

Та внесок Герона у розвиток теплотехніки не обмежується еоліпілом, на його рахунку є й різні автоматичні пристрої, що працюють під дією тиску гарячого повітря або пари. Наприклад, пристрій для автоматичного відкривання дверей храму за суттю є прообразом парових насосів Севери. Однак більшість винаходів Герона в силу слабкого розвитку техніки в античному світі і відсутності потреби в складних машинах були відкинуті й забуті на тривалий термін. Розробка теплових машин була зупинена більш ніж на півтора тисячоліття. Багато автоматичних пристроїв Герона слугували для розваг, як от автоматичний театр ляльок, або для відправлення релігійних культів. Серед останніх автомат для

продажу «святої» води, двері храму, які відчиняються автоматично, пристрої для перетворення води на вино та ін.

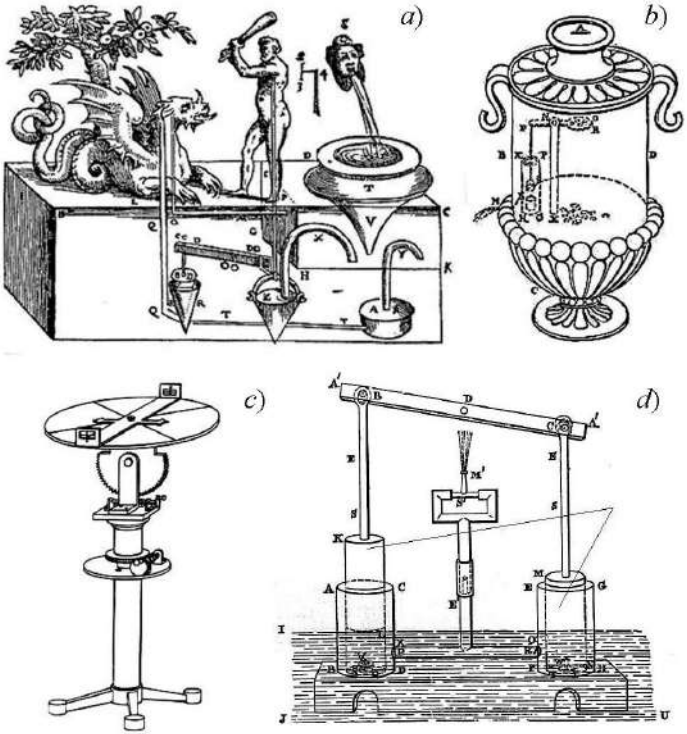

Рис. 3.5. Винаходи Герона Олександрійського *a* – автоматичний театр ляльок; *b* – автомат для продажу «святої» води; *c* – діоптр; *d* – пожежний насос.

Герон був розробником і наукових основ своїх винаходів. Він використовував досягнення попередників: Евкліда, Архімеда, Стратона з Лампсака. Учений займався геометрією, механікою, гідростатикою та оптикою. Збереглися основні його твори: «Метрика», «Пневматика», «Автоматопоетіка», «Механіка» (твір повністю зберігся в арабському перекладі), «Катоптрика» (наука про дзеркала; збереглася лише в латинському перекладі) та ін. У 1814

році було знайдено твір Герона «Про діоптр», в якому викладені правила земельної зйомки, фактично засновані на використанні прямокутних координат. Однак багато книг Герона, які містилися в Олександрійській бібліотеці, безповоротно втрачені.

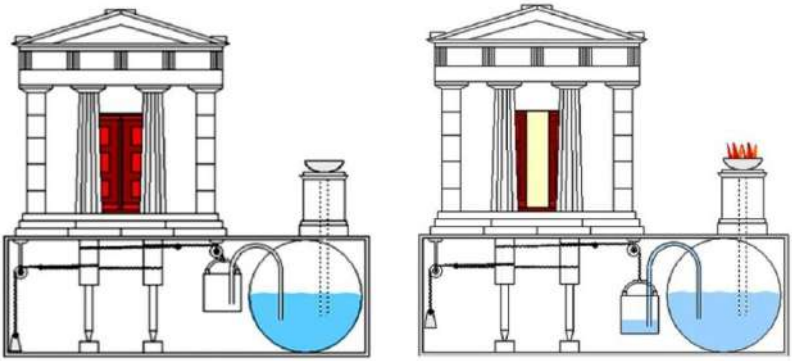

Рис. 3.6. Пристосування Герона для автоматичного відчинення дверей храму. Вогонь, запалений в бронзовому жертовнику, викликає розширення повітря в посудині, заповненій водою. В результаті витіснена вода через сифони переливається в бак, який є противагою. Він стає важчим, опускається і повертає двері на петлях. Після охолодження жертовника повітря в посудині розріджується, і вода перетікає в нього назад, а двері храму зачиняються.

Широкого розмаху набуло будівництво у римлян. Багато храмів, стадіонів, мостів, доріг та фортифікаційних споруд, побудованих ними, не тільки збереглися, а й досі використовуються. Про будівельні прийоми і матеріали, які застосовували в стародавньому Римі, ми знаємо з книги знаменитого римського архітектора Вітрувія. Марк Полліон Вітрувій жив в І столітті до н.е. в епоху імператора Августа та був найбільш знаним ученим й архітектором Римської імперії. Серед втілених проектів Вітрувія найбільш значущими є базиліка у Фано і конструкція римського акведука. Його трактат «Десять книг про архітектуру» є єдиною

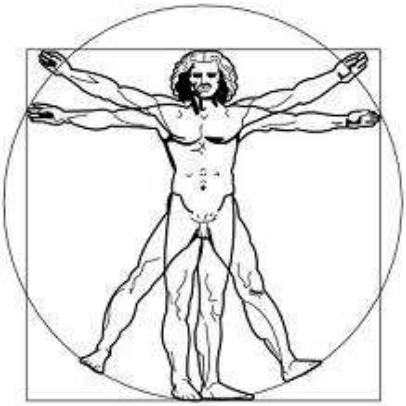

Рис. 3.7. Вітрувіанська людина

збереженою античною роботою про архітектуру. Вона є джерелом наших знань про ті будівельні прийоми і правила, якими користувалися стародавні римляни. У книзі Вітрувія наведені також відомості про деякі типи споруд і будівельні матеріали, а також про підйомні механізми. Найбільшу популярність робота набула в епоху Ренесансу і багато хто вважає, що з відкриття цієї роботи почалося італійське Відродження. В основі поглядів Вітрувія лежить уявлення про універсальне об'єктивне значення числових закономірностей і пропорційних відносин у споруді та Всесвіті, і людини. Саме цими пропорціями і належить керуватися при спорудженні будівель і при побудові машин. Вітрувій створив систему пропорціонування, пізніше отримала поширення в образотворчому мистецтві і архітектурі під назвою «Вітрувіанська людина».

Однак спроби істориків науки знайти роботи античних авторів, присвячені питанням міцності, залишилися безрезультатними. Порівняння римських споруд, зокрема арок, з більш пізніми говорить про те, що римляни ще не володіли знаннями про аналіз напруженого стану.

Величезний внесок у розвиток астрономії вніс старогрецький астроном, астролог, математик, оптик, теоретик музики і географ **Клавдій Птолемей** (бл. 87 – бл. 165). У період з 127 до 151 року він жив в Олександрії, де проводив астрономічні спостереження. Основною його працею є трактат «Велика побудова», відомий під арабською назвою «Альмагест». У ньому Птолемей виклав зібрання астрономічних знань стародавньої Греції і Вавилона. Вчений

сформулював складну геоцентричну модель світу з епіциклами, яка була прийнята і в західному, і в арабському світі. До створення геліоцентричної системи Миколи Коперника астрономічні обчислення проводилися за системою Птолемея. «Альмагест» також містив каталог зоряного неба. Він містив тільки ті зірки, які Птолемей міг бачити, перебуваючи в Олександрії. Список з 48 сузір'їв не покривав повністю небесної сфери.

3.6. Розвиток техніки в античному світі

Більшість тих технічних винаходів, якими користувалися на війні і в мирному житті в античний період, були вже давно повсюди поширені. Задовго до розвитку античної цивілізації з'явилися спис і меч, лук і стріли, плуг і борона, гончарний круг, клин і гвинт, коловорот і важіль та ін. Давно вже кораблі борознили морські простори. Однак розвиток античних держав супроводжувався вдосконаленням техніки. Промисловим способом виробляються залізо, мідь, свинець, срібло і золото. У ряді районів Греції та Малої Азії, починаючи з VI – V ст. до н.е., виплавляється сталь, яка використовується для виготовлення ремісничих інструментів і зброї. У римський період розроблена склодувна техніка. В кінці античної епохи вдосконалення таких виробничих процесів, як виготовлення сплавів металів і фарбування призводить до появи перших знань в галузі хімії.

Спочатку застосування простих механізмів сприяло підвищенню ефективності праці. Однак характер античної техніки визначався економічними основами рабовласницького господарства. Розвиток рабства в Греції став передумовою для ширшого поділу праці у виробництві. До певного періоду це забезпечувало більш швидке зростання техніки і продуктивних сил, вільні громадяни отримали час для інтелектуальних занять. Але водночас рабовласницьке господарство гальмувало подальше зростання техніки. Рабам в основному доручалися такі роботи, які виконувалися вкрай примітивними знаряддями або зовсім не вимагали ніяких знарядь, оскільки раб, доведений сам до рівня знаряддя праці, не був зацікавлений ні у збереженні, ні в удосконаленні цих знарядь. Через це в античний період значного розвитку досягали лише деякі досить прості види машин.

У римську епоху сільськогосподарська продукція вироблялася переважно у великих землеволодіннях силами великої кількості рабів. Головною житницею Середземномор'я протягом тисячоліть був Єгипет, де в долині Нілу збирали величезні врожаї. При цьому для обробки землі також використовували найпримітивніші знаряддя.

Однією з найбільш розвинених галузей виробництва була будівельна справа, яка стимулювала зі свого боку розвиток механіки. В античних містах був досягнутий високий рівень благоустрою і комфорту, налагоджена система водопостачання і каналізації, особливо досконала в римських містах. Благоустрій міст, будівництво храмів, цирків, театрів, лазень вимагали застосування різноманітних пристроїв і пристосувань. До таких знарядь праці відносяться найпростіші механізми, як от похила площина, важіль, воріт, блоки і катки, які використовуються в будівництві. Такими примітивними засобами створені грандіозні споруди давнини. Серед них споруди, що увійшли до складеного в III – IV століттях до н.е. списку **семи чудес світу**: давньоєгипетські піраміди (III тисячоліття до н.е.), «висячі сади» Семіраміди у Вавилоні (VII століття до н.е.), мавзолей в Галікарнасі (сер. IV століття до н.е.), храм Артеміди в Ефесі (Мала Азія, ок. 550 рік до н.е.), Колос Родоський (статуя Геліоса на о. Родос, 292 – 280 роки до н.е.), статуя Зевса в Олімпії (Греція, ок. 430 рік до н.е.), маяк на острові Форос в Олександрії (Єгипет, III ст. до н.е.). До нашого часу збереглися тільки найдавніші споруди – піраміди в долині Гізи.

Особливо широкий розмах будівництво набуло в Римській імперії. Римські будівельники використовували цемент і бетон, вони навчилися будувати бетонні споруди, застосовуючи опалубку. У II столітті в Римі був побудований Пантеон («Храм всіх богів») з литим бетонним куполом діаметром 43 метри. Згодом ця споруда стала зразком для архітекторів Нового часу. Римляни використовували цемент і бетон також для будівництва доріг і мостів. Міст через Дунай, побудований архітектором Аполлодором мав в довжину більше кілометра і став одним з чудес того часу. Деякі римські споруди збереглися до нашого часу. Серед них не тільки пам'ятники і храми, а й мости, дороги і фортифікаційні споруди.

Військова техніка в античний період мала більший розвиток, аніж мирна. Найбільший інтерес серед військової техніки античності становлять метальні машини. Саме при їх створенні вперше в якості замовників проведення наукових досліджень виступають військові. Найпершим метальним пристроєм була праща, що являє собою шкіряну або мотузяну петлю, в яку вкладали камінь, а пізніше почали використовувати спеціально виготовлені глиняні або свинцеві кулі. Приблизно в XV столітті до н.е. у військовій справі стали масово застосовувати лук, винайдений ще в доісторичні часи. Спочатку він робився із суцільного шматка дерева, а пізніше був винайдений композитний лук. Достовірно відомо, що композитний лук застосовували скіфи в VI ст. до н.е., виготовлявся він, щонайменше, з трьох частин, але конструкція могла посилюватися і додатковими елементами – кістяними або бронзовими пластинами, металевими або роговими наконечниками в місцях кріплення тятиви і т.д.

З IV століття до н.е. греки застосовували гастрафет – «черевний лук» (рис. 3.8), який по суті є примітивним арбалетом. Він був настільки тугим, що для заряджання його одним кінцем упирали в землю, а на інший кінець, вперши його попередньо в живіт, навалювалися всією вагою тіла (звідси і походить назва гастрафет). Гастрафет стріляв порівняно короткими (40–60 см) стрілами з гранованими металевими наконечниками.

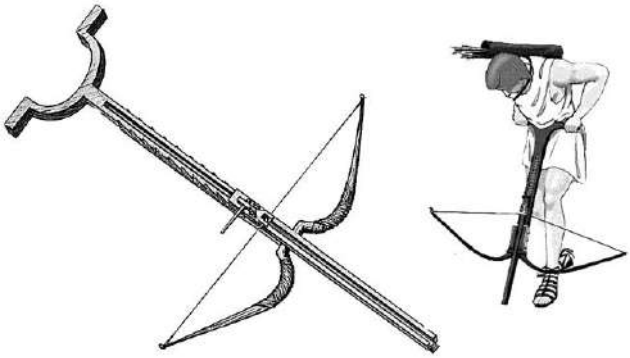

Рис. 3.8. Гастрафет і процес його заряджання

Згодом принципи дії цих двох видів ручного метальної зброї (використання потенційної енергії зігнутого або скрученого пружного елемента або подовження плеча броскового важеля для збільшення швидкості снаряда) були застосовані для виготовлення метальних машин. Вважається, що перші метальні машини були винайдені ассирійцями приблизно в VII ст. до н.е., і пізніше запозичені персами, фінікійцями та греками.

Першими грецькими метальними машинами були оксібелеси – станкові луки (рис. 3.9), що дозволяли метати великі стріли настильною траєкторією. Загальна назва для машин, що метали снаряди настильною траєкторією – катапульти. Крім стріл, катапульти могли метати також невеликі камені або металеві ядра. Для метання каменів балістичною (навісною) траєкторією призначалися баллісти. Така стрільба дозволяла вражати супротивника за фортечним муром. Пізніше відбувся перехід до використання замість пружної дуги енергії скручування товстих канатів, що виготовлялися з пучків сухожиль тварин, або з кінського чи людського волосся. Торсіонні машини надійніші й ергономічні. Обов'язковим атрибутом нових метальних машин стає рама, до якої кріпляться торсіонні елементи, і яка так само прикріплена до ложа, яке слугує спрямовуючою для метальної снаряда.

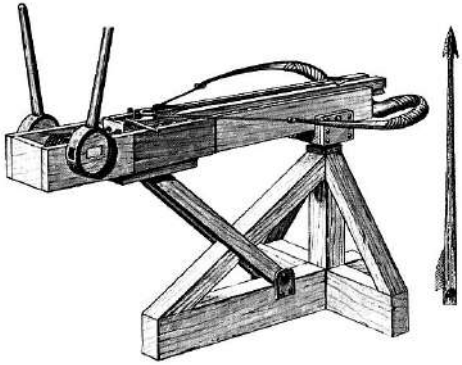

Рис. 3.9. Станковий лук (оксібелес)

Рис. 3.10. Скорпіон

Найбільш відомими машинами торсіонної дії є римські скорпіони (різновид катапульт) і онагри (тип баллісти). Скорпіони (зовнішній вигляд машини схожий на відповідне членистоноге, див. рис. 3.10) були досить компактними і технічно досконалими двуплечовими катапультами і широко використовувалися в римській армії з часів Першої Пунічної війни (середина III ст. до н.е.).

Одноплечова метальна машина, яка використовує принцип праці, отримала назву онагр (рис. 3.11) за те, що при пострілі вона видає звук, що нагадує вигук осла (лат. «онагр»). Онагр з'явився в римській армії також в III ст. до н.е. і застосовувався аж до падіння Римської імперії.

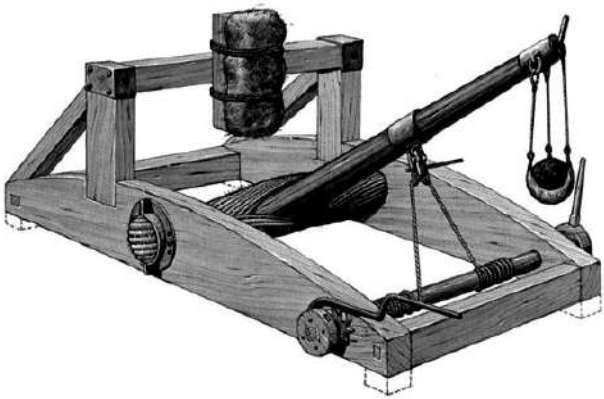

Рис. 3.11. Онагр

3.7. Розвиток античного кораблебудування

В античні часи подальший розвиток отримало суднобудування, великий внесок в яке зробили греки. Їхні бойові кораблі – біреми і триреми (трієри), що мали, відповідно два і три ряди весел, будувалися без шпангоутів за зовнішніми шаблонами, що дозволяло швидко побудувати великий флот. Головною зброєю бірем і трирем був таран, який зазвичай виконувався у вигляді тризуба або кабанячої голови. В ході бою ці кораблі прагнули розвинути

максимальний хід, позбавити корабель противника ходу, зламавши йому весла, а після вдарити в борт тараном, або взяти ворога на абордаж.

Триреми були більш швидкохідними, їх швидкість ходу на веслах складала 7 – 8 вузлів*, але всі три ряди весел працювали тільки під час бою. Навіть при невеликих хвилях нижній ряд весел втягували всередину корабля, а веслові порти затягували шкіряними пластирами. Вітрильне озброєння складалося з великого прямокутного вітрила і малого на похилій щоглі в носовій частині корабля. Його наявність давала можливість судну ходити при бічних вітрах. Щогли під час бою прибиралися. Трієри були найбільш ефективними бойовими кораблями Середземномор'я і стали основою римського флоту. У роки Першої Пунічної війни римський флотоводець консул Кай Дуілій оснастив кораблі «воронами» – поворотними перекидними містками для абордажного бою. Місток шириною близько двох метрів шарнірно кріпився на палубі, а на кінці мав гострий «дзьоб», який встромляли в палубу ворожого корабля, і не давав йому звільнитися. Римляни часто озброювали свої кораблі різними метальними машинами.

Зростання ролі в бою різних метальних машин знижує ефективність таранної тактики. Це зводить нанівець переваги трієр, і вони поступово поступаються місцем або важчим кораблям, наприклад, пентери, на палубі яких можна розмістити більше техніки, або більш дрібним (біреми і лібурни), в які важче поцілити. До початку нової ери римляни отримали повну владу в середземноморському басейні. Основними завданнями флоту стають підтримка дій сухопутних військ з моря, розвідка, висадка десантів, боротьба з піратами і охорона торговельних суден.

---

* вузол – одиниця швидкості, що дорівнює одній морській милі (1852 м) на годину

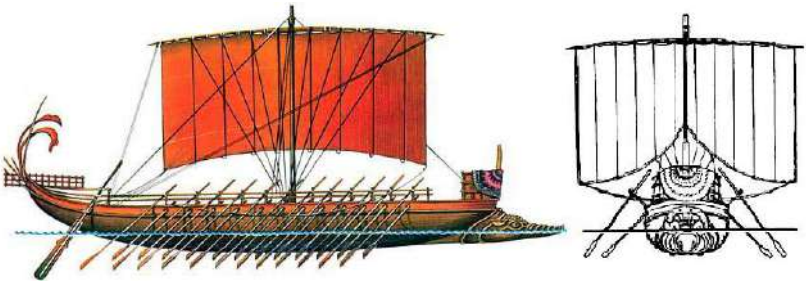

Рис. 3.12. Грецька бірема. Корабель має на носі гратчастий фальшборт, а весла гребців верхнього ряду спиралися на винесені за борт стійки. Весла гребців нижнього ряду вставлялися в отвори в борту, захищені від проникнення води шкіряними манжетами.

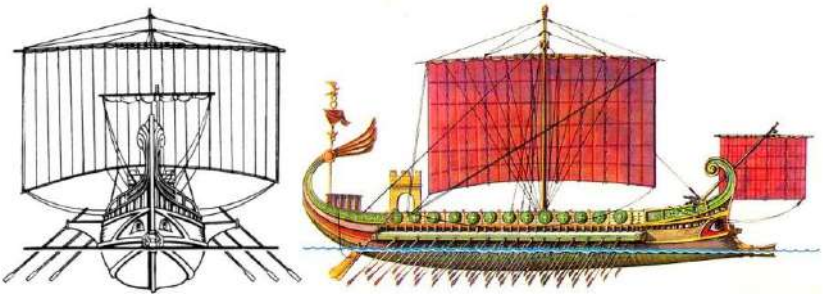

Рис. 3.13. Римська трієра. Водотоннажність трієри досягала 230 т, довжина – 45 м. Весла були різної довжини. У носовій частині корабля розташований бойової місток – ворон, а на кормі вежа для стрільців.

На відміну від бойових, торговельні судна були тихохідними. Відношення довжини до ширини корпусу було від 3 до 5. Широка, високо піднята корма надавала судну додаткову парусність. Конструктивні особливості корпусу і матеріали, з яких виготовлялося судно, а також тип рушія визначали особливості регіону, в якому воно будувалося. Розміри судна визначалися протяжністю маршрутів, їх віддаленістю від берегів, обсягами перевезень і характером вантажу. Проте можна виділити деякі

загальні риси торговельних кораблів різних народів. Античні вантажні кораблі в основному мали поперечну систему набору, яка складалася з ребер (шпангоутів), вертикальних стійок (пілерсів) і балок, які підтримують палубний настил (бімсів). Шпангоути зазвичай були не цілісні, а розрізні, що складаються з двох або трьох частин, зміщених уздовж обшивки і перекриваючих один одного. Поздовжня міцність забезпечувалася кілем і палубою судна. Поступово кількість балок, які забезпечували поздовжню жорсткість, збільшувалася, що дозволило істотно збільшити довжину судна. Наявність двох рулів надавала судну стійкість за курсом і підвищувало його маневреність. Екіпажі торговельних суден були нечисленні, і в якості рушія вони використовували прямі вітрила, які кріпилися до суцільної або складеної реї. За сприятливих обставин судно розвивало під ними швидкість до 5 – 6 вузлів. Зазвичай корабель мав одну або дві щогли. Весла встановлювалися, як правило, в один ярус і використовувалися тільки як допоміжний засіб руху – для входу і виходу з порту або при маневруванні на вузьких ділянках або за відсутності вітру. Торговельні судна були досить міцними і мали добрі мореходні якості і за необхідності могли витримати сильний шторм. Іноді цього було недостатньо, щоб відірватися від переслідування, і купці ставали жертвами піратів, так як за відсутності вітру, їхні кораблі поступалися в швидкості невеликим неморeходним, але вельми швидкісним човнам морських розбійників. Тому вантажні судна тривалий час стояли в гаванях в очікуванні попутного вітру, вважаючи за краще здійснювати переходи під вітрилами далеко від небезпечних берегів, не переймаючись «свіжою» погоди.

Падіння Західної Римської імперії в V столітті призвело і до занепаду всієї античної науки. Хоча Східна Римська імперія – Візантія проіснувала ще 1000 років, там розвитку науки непоправної шкоди завдала християнська релігія. Християнство претендувало на роль монопольної ідеології і боролося з іншими релігіями і з іншими богами, переслідуючи будь-яке інакомислення. Так, наприклад, Біблія запозичила у Вавилоні давню картину світу, згідно з якою

Земля лежить посеред Океану і накрита як шатром, сімома куполами неба. У центрі світу знаходиться Єрусалим, а на Сході, за Індією, розташований рай і там беруть початок чотири священні річки: Тигр, Євфрат, Інд і Ганг. Це ніяк не узгоджувалося з античною наукою. Зрештою, отці церкви погодилися прийняти систему Клавдія Птолемея і визнали, що наша планета має форму кулі, а рай перенесли за сьому птолемеєвську сферу, в «житло блаженних». Однак із системою Коперника і відкриттями Галілея католицька церква погодилася тільки в кінці XX століття.

Рис. 3.14. Римське торговельне судно середини I століття н.е. Такі судна місткістю не менше 250 т використовувалися для перевезення зерна.

ГЛАВА 4

Розвиток науки і техніки в Середні віки

4.1. Загибель Західної Римської імперії та розвиток науки у Візантії

Падіння Західної Римської імперії призвело до занепаду економіки, торгівлі, ремесел, науки і мистецтва. Знання, накопичені античної наукою за тисячу років, були в Західній Європі забуті. Єдиними центрами освіченості там залишалися монастирі і церкви. Таким чином, в Середні віки протягом 1000 років в Європі спостерігається занепад науки і культури. Розвитку науки також перешкоджало те, що католицька церква узаконила геоцентричну систему будови світу, і механіку Аристотеля, засновану на хибних припущеннях.

Спадкоємицею греко-римського світу й елліністичного Сходу стала Східна Римська імперія (Візантія). Вона ще упродовж тисячі років служила свого роду мостом між Сходом і Заходом і в галузях науки та культури була попереду інших країн середньовічної Європи. Візантія була багатонаціональною державою, в якій переважала грецька мова. З VI століття в країні панувала православна християнська релігія. Імперія зберегла сильну імператорську владу і централізоване управління. На відміну від Західної Європи, де в ранньому середньовіччі міста занепадали, у

Візантії вони, як і раніше, процвітали та були центрами не тільки мистецтв і ремесел, а й науки і освіти. Найбільш значущими центрами науки і культури стали Олександрія, Афіни, Антіохія, Бейрут, Дамаск, Нікея, Салоніки і Трапезунд.

У II столітті н.е. почалося відродження грецької науки, однак наукові праці грецькою мовою писали в основному не греки, а сирійці. В галузі математики виділяються **Нікомах Гераський** і **Феодосій Тріполійський**. У цей час починає розвиватися сирійська склепінчаста архітектура. Цей стиль широко поширився в Римській імперії, в ньому збудований знаменитий собор Святої Софії в Константинополі і був перебудований Пантеон в Римі. Саме від сирійських учених антична наука стає відомою арабам. Розквіт їх діяльності припав на VII – VIII століття, коли столиця Сирії Дамаск був столицею всього Арабського халіфату. Приблизно в 750 році столиця халіфату була перенесена в Багдад, і більший вплив на розвиток арабської науки почали справляти іранські вчені.

Рис. 4.1. Собор Святої Софії в Константинополі.
Побудований в 523 – 527 роки

Рис. 4.2. Гіпатія

Великий удар розвитку візантійської науки було завдано релігією. Хоча в країні і зберігалися античні наукові традиції, але після того, як християнство стало державною релігією, наука там виявилася переслідуваною. Так в 391 році фанатики-християни, яких патріарх Олександрії закликав знищити язичницькі книги, спалили Александрійську бібліотеку, багато рукописів було безповоротно втрачено. Під тиском реакційного християнського духовенства закривалися не тільки язичницькі храми, а й школи, які існували при них. Мусейон також був розорений. На початку V століття останні з олександрійських вчених були вбиті або вигнані. Їх керівник **Гіпатія** (між 350 і 370 – 415) – перша в світі жінка наукеня-математикеня, була роздерта релігійними фанатиками за намовою християнських попів.

Вчені, які залишилися в живих, зібралися в Афінах, де працювали до 529 року, коли офіційним указом їх діяльність була заборонена. Були закриті всі «язичницькі» школи, в тому числі Академія Платона і Лікей Аристотеля, що проіснували тисячу років. Останнім вченим дозволили емігрувати в Іран, де вони влаштувалися працювати в Джунд-Шапур – новий університет царя Хосрова. Це зі свого боку сприяло поширенню античних знань на Близькому Сході.

Незважаючи на домінування християнської релігії, яка відкидала язичницьку давньогрецьку релігію, культуру і науку, Візантія все ж залишалася берегинею античної спадщини. Завдяки цьому до цивілізації долучилися багато народів, в тому числі і слов’янські. В останнє століття свого існування Візантія зіграла важливу роль у поширенні давньогрецької літератури в Італії в епоху раннього Ренесансу. Основним центром вивчення астрономії і математики на той час стала академія Трапезунда.

У IX столітті в Візантії починає відроджуватися вища освіта. У 855 році правитель Візантії Варда заснував в Константинополі

світську Магнаврську вищу школу, ректором якої був обраний видатний вчений Лев Математик (бл. 790 – бл. 870). Він також став одним з основоположників алгебри. Саме візантійські учені почали застосовувати літерні символи замість цифр. Лев Математик прославився також як винахідник, він створив багато хитромудрих механізмів, які вражали іноземців. Це були рухливі статуї, механічні співочі птахи і т.п. А найцікавішим його винаходом є **світловий телеграф**.

Магнаврську школу часто називають найстарішим в Європі університетом, хоча в стародавньому Римі були аналогічні навчальні заклади. Константинопольський університет справив великий вплив на розвиток вищої освіти в Західній Європі. У ньому велася підготовка чиновників, дипломатів і воєначальників. Багато випускників ставали видатними діячами візантійської культури. Навчання в Константинопольському університеті проводилося грецькою і латинською мовами. Хоча згодом освіту було переведено на церковну основу, але поряд із богослов'ям студенти вивчали праці стародавніх вчених, зокрема Платона і Аристотеля. Для цього викладачі школи збирали старовинні книги, що зберігалися в монастирях. В результаті візантійці заново познайомилися з працями античних вчених, в тому числі і з геометрією Евкліда, та дізналися про кулястості Землі. Поряд з граматикою, риторикою і філософією в Магнаврській школі також викладалися і природничі науки – арифметика, геометрія, музика і астрономія. Школа проіснувала до взяття турками Константинополя в 1453 році. На її місці за наказом султана Мехмета Завойовника був заснований Стамбульський університет.

Можна відзначити досягнення візантійської медицини, зокрема лікарі просунулися в розпізнаванні хвороб – діагностиці. У галузі хімії були досягнуті важливі практичні результати – налагоджено виробництво скла, кераміки, емалей і фарб. Був також винайдений «грецький вогонь» – подоба сучасного напалму, за допомогою якого спалювали ворожі кораблі. Візантійські купці і паломники здійснили багато важливих географічних спостережень.

З гуманітарних наук в Візантії найбільш були розвинені правознавство та історія. Найвидатнішим візантійським істориком був **Прокопій Кесарійський** (між 490 і 507 – після 565), який жив за царювання Юстиніана і знаходився під його заступництвом.

Найважливішою його працею є восьмитомний твір «Історія воєн», присвячений кампаніям полководця Велізарія, в яких автор сам брав участь. Розвинені товарно-грошові відносини породили складну систему цивільного права і сприяли піднесенню юриспруденції.

В XI столітті прославився всебічно обдарований учений-енциклопедист **Михайло Пселл** (1018 – близько 1078, або пізніше). Вчений, чернець, філософ і математик Пселл був наближеною особою у багатьох імператорів. Він одним з перших на противагу захопленню Аристотелем висунув вчення Платона, що посприяло розквіту платонізму в добу Відродження.

Михайло Пселл є автором двох історичних творів: «Короткі історії царів старшого Риму, а також молодшого з виключенням тих царів, які не вчинили нічого вікопомного, що починається з Ромула» і «Хронографі». Останній твір охоплює правління чотирнадцяти імператорів і імператриць XI століття і представляє особливий інтерес, тому що Михайло Пселл більшу частину життя провів при імператорському дворі і був не лише очевидцем, але й безпосереднім учасником багатьох подій.

У 1453 році турки-османи штурмом оволоділи Константинополем, Візантія загинула. Що стосується мусульманського світу, то до XV століття він втратив свою інтелектуальну силу. Але до цього часу на порівняно високий інтелектуальний рівень піднялася Західна Європа, що пройшла шлях від краху Західної Римської імперії до початку Відродження.

4.2. Розвиток науки в Середньовіччі на Сході

VII – VIII століття – період арабських завоювань. Величезні території в Азії (Близький Схід, Середня Азія, Кавказ, Північно-Західна Індія), Північна Африка, острови в Середземному морі, в тому числі Мальта, Родос і Крит, а також Піренейський півострів в Європі були захоплені арабами, що об’єдналися під прапором нової релігії – ісламу. На цій території був заснований величезний Арабський халіфат. Арабські завойовники довершили розгром античної науки і культури. Багато храмів і пам’ятників були зруйновані. У 642 році під час взяття Александрії мусульманським халіфом Омаром найбільша в світі бібліотека була повністю знищена.

Але остаточно винищити культурні та наукові традиції давніх цивілізацій завойовникам не вдалося. Збереглися не тільки деякі архітектурні, іригаційні та фортифікаційні споруди, а й праці античних і візантійських вчених. Потреби халіфату в розвитку військової техніки, будівництві мечетей та інших споруд, розвиток ремесел, землеробства і торгівлі змусили арабів повернутися до науки й освіти. Вони звернулися до творів Евкліда, Платона, Аристотеля, Архімеда, Герона, Вітрувія, Птолемея та їх послідовників.

У Сирії, Ірані та інших місцях зберігалася грецька філософська і наукова традиція. Сирійською мовою були перекладені Аристотель та інші грецькі філософи. А справжній прорив в освоєнні грецької культури почався з царювання в Багдаді династії Аббасидів. Правління **Харуна аль Рашида** (763 або 766–809) ознаменувало собою початок першого всебічного елліністичного ренесансу в арабському світі. Араби засвоювали не тільки елліністичну культуру. Вони встановили важливі контакти з Іраном, Індією і Китаєм. Уже в кінці IX століття столиця Арабського халіфату Багдад став центром освіченості арабського світу. Тут був відкритий та знаходився під особливою опікою халіфа «будинок мудрості». Велика група вчених, перекладачів і переписувачів займалася арабськими перекладами наукових трактатів з грецької і сирійської мов. На ранній стадії більша частина перекладів робилася християнами. Аль Рашид не тільки активно підтримував вчених, які вивчали грецьку мову і перекладали грецькі філософські та наукові праці, але також посилав людей на Захід для придбання грецьких манускриптів. Оскільки переважна більшість наукових праць писалася арабською мовою, науку Сходу прийнято називати арабською, хоча далеко не всі її представники були арабами. Важливою заслугою вчених Сходу стало збереження наукової спадщини античного світу, але арабські вчені також зробили видатний внесок в багато сфер знання.

Велика робота з перекладу іншомовних праць і їх поширення призвела до створення бібліотек, які зазвичай перебували при мечетях і медресе. Переклади часто супроводжувалися коментарями і доповнювалися новими результатами, отриманими авторами в результаті власних досліджень і роздумів. Халіфи і їх наближені часто виявлялися широко освіченими людьми, поціновувачами книг. У Багдаді, Каїрі, Дамаску, Реї, Гургандже (Ургенче), Бухарі,

Газні, Самарканді та інших містах відкривалися публічні бібліотеки, Будинки мудрості, навчальні заклади.

На перше місце в країнах ісламу виходить обчислювальна математика, розвивається алгебра, наближені обчислення, теорія чисел, тригонометрія. Арабські вчені в цих науках значно перевершили рівень, досягнутий в Олександрії. Великий розвиток на Сході отримали також астрономія, оптика і хімія. IX – XI століття стали періодом найбільшого розквіту арабської науки.

Багато знань арабські вчені засвоїли в Індії. В математиці Індії аж до XVIII століття також переважали обчислювально-алгоритмічні методи і були відсутні спроби побудови системи доказів. Геометрія давньої Індії також носить практичний характер. Розквіт індійської математики починається в VI столітті. У творах вченого того часу **Аріабхати** не тільки формулюються правила елементарної математики, але вводиться позиційна десяткова система числення. У VII столітті інший індійський математик **Брахмагупта** ввів в обіг негативні числа і символ для позначення нуля. При цьому він правильно трактував дії з негативними числами. Створення десяткової системи числення є видатним досягненням давньоіндійської науки. Індійським математикам були також відомі рішення квадратного рівняння і систем рівнянь. Поширення десяткової системи числення стало важливим досягненням арабської науки. З арифметичного трактату Аль-Хорезмі «Про індійські числа», перекладеного в XII столітті латиною, ця система стала відома в Європі, хоча паралельно з нею зберігалася успадкована у вавилонян 60-кратна система. Оскільки європейці запозичили індійські цифри у арабів, у нас вони називаються арабськими. Десяткові дроби в Європі були введені С. Стевіном тільки на початку XVII століття.

Розвиток механіки в Середні віки почався зі створення теорії імпетуса – «рушійної сили», джерелом якої є знаряддя, за допомогою котрого тіло приведено в рух. У процесі руху імпетус витрачається і тіло зупиняється. Основи цієї теорії заклав олександрійський учений **Іоанн Філопон** (бл. 490–570). На перший погляд здається, що імпетус є аналогом кількості руху (імпульсу) тіла. Але насправді це величина не векторна, а скалярна, і теорія імпетуса є спробою примирити Аристотелеве пояснення причин механічного руху з практикою.

У країнах ісламу вивчення механіки почалося з перекладів і коментарів античних авторів – Аристотеля, Архімеда, Герона, і в подальшому йшло в тих самих напрямках. У працях Ібн Сіни і Аль-Біруні отримує подальший розвиток теорія імпетуса.

Видатний математик **Мухаммад ібн Муса аль-Хорезмі** (бл. 780 – 847) на початку IX століття заклав основи алгебри. Приблизно у 830 році він створив перший відомий арабський трактат з алгебри. У працях Аль-Хорезмі алгебра виділилася в самостійну науку. Його «Книга про операції відновлення і приведення», що стала відомою в Європі теж в XII столітті, дала назву новій науці (аль джебр – відновлення). Від імені Аль-Хорезмі походить і термін алгоритм. Про життя вченого відомо небагато, у 827 році він брав участь у вимірі довжини градуса земного меридіана на рівнині Синджара, а при халіфі Аль-Васикі у 847 році Аль-Хорезмі очолював експедицію до хазарів. Ця подія і є останньою згадкою про його діяльність.

Особливе місце в розвитку арабської науки займає **Абу Алі аль-Хасан Ібн Аль-Хайсам аль-Басра** (965 – 1039). Його головна праця з оптики «Скарб оптики» у багатьох аспектах була проривом в цій науці. Ібн Аль-Хайсам домігся великого успіху у вивченні лінз, сферичних і параболічних дзеркал. Більш того, він був видатним представником експериментального підходу до вивчення оптичних явищ і зробив точний для свого часу аналіз будови і функціонування ока. Всупереч Аристотелю він стверджував, що промінь світла виходить від об’єкта, що спостерігається, а не з ока. Сьогодні Ібн Аль-Хайсам розглядається як найбільший фізик арабського світу. Він зробив сильний вплив на західну науку, в тому числі на Роджера Бекона, Кеплера і Ньютона. Ібн Аль-Хайсам також написав коментарі до «Начал» Евкліда.

Варто згадати і діяльність цілої низки інших арабських вчених Середньовіччя.

Абу-р-Райхан Мухаммад ібн Ахмад ал-Біруні (973 – 1048) – видатний хорезмійський вчений-енциклопедист. Аль-Біруні володів майже всіма науками свого часу, коло його інтересів надзвичайно широке: математика, хронологія, географія, геологія, геодезія, астрономія, фізика, ботаніка, мінералогія, фармакологія, етнографія, історія. В астрономії Аль-Біруні, поряд з геоцентричною системою

визнавав геліоцентричну. Для вирішення кубічних рівнянь Аль-Біруні використовував метод спроб.

Абу Алі аль-Хусейн ібн Абдаллах ібн Сіна (980 – 1037) – представник східного аристотелізму – філософ лікар, астроном, математик, відомий в Європі під ім'ям Авіценна. Першим в інструментах використовував ноніус. Ібн Сіна був вченим, який володів дослідницьким духом і прагненням до енциклопедичного охоплення всіх сучасних галузей знань. Він відрізнявся феноменальною пам'яттю і гостротою думки. Написав 450 праць у 29 наукових галузях, 274 праці дійшли до нас. Його твір «Канон лікарської науки» протягом століть був настільною книгою не тільки арабських, але й європейських лікарів і справив великий вплив на розвиток європейської медицини.

Омар Хайям (1048 – 1131) – астроном, математик, філософ і поет. В математиці встановив, що π є ірраціональним числом. Знайшов графічний спосіб розв'язання рівняння третього ступеня. Учень Омара Хайяма Аль-Хазін, діяльність якого розгорталася між 1115 і 1121 роками, написав чудовий трактат з фізики, в який увійшли таблиці питомих ваг твердих і рідких тіл, опису дослідів по зважуванню повітря, спостереження явища капілярності, опис застосування ареометра для вимірювання щільності рідини.

Улугбек Мухаммед Тарагай (1394 – 1449) – узбецький астроном та математик, один з найвидатніших мислителів і просвітителів Середньовіччя. Будучи онуком Тамерлана став правителем імперії Тимуридів – Хорезма. Його основним інтересом в науці була астрономія. У 1428 році Улугбек побудував в Самарканді обсерваторію. Основним її інструментом був грандіозний кутомір – секстант (або квадрант), орієнтований точно з півночі на південь. Радіус секстанта був 40,2 м, а його дуга становила шосту частину окружності з робочою частиною від 20° до 80°. Завдяки величезним розмірам кожному градусу приладу відповідає інтервал в 70 см. Розташовувалася обсерваторія в триповерховій циліндричній будівлі діаметром 46,4 м, висотою 30,4 м і з підвалом глибиною 12 м. За допомогою секстанта проводилися вимірювання висоти небесних світил над горизонтом при проходженні їх через небесний меридіан. Азимутальні спостереження могли проводитися на горизонтальному колі на даху будівлі. В обсерваторії були і інші інструменти, які не збереглися.

В обсерваторії Улугбека працювали такі великі астрономи, як **Казі-заде ар-Румі, ал-Каші і ал-Кушчі.** Тут до 1437 року був складений Гурганскій зідж – каталог зоряного неба, в якому були описані 1018 зірок. Цей каталог був найточнішим у світі до винаходу телескопа. У тому ж 1437 році Улугбек визначив довжину астрономічного року – 365 днів, 6 годин, 10 хвилин, 8 секунд. Похибка склала + 58 секунд.

Рис. 4.3. Залишки обсерваторії Улугбека в Самарканді

Рис. 4.4. Пам’ятник Улугбеку у Самарканді

Арабські вчені створили такі розділи математики як плоска і сферична тригонометрія. В обсерваторії Улугбека були отримані таблиці синусів з точністю дев’ять знаків і частотою одна хвилина. Її співробітник **Джамшид ібн Масуд аль-Каші** (1380 – 1429) розробив ітераційний метод розв’язання рівнянь третього ступеня. Крім того він створив систематичний виклад теорії десяткових дробів і, використовуючи алгоритм Архімеда, визначив число π з точністю до 16 знаків. Наукова та просвітницька діяльність Улугбека викликала невдоволення мусульманського духовенства і реакційних феодалів, що звинувачували його в єресі й організували

проти нього змову. Улугбек був підступно вбитий, а його обсерваторія по-варварськи зруйнована.

4.3. Занепад арабської науки

Майже у всіх областях наукового дослідження в Середні віки – астрономії, математики, медицини та оптиці – арабські вчені займали провідне становище. Протягом більш ніж шести століть араби в технічному і науковому відношенні перевершували Захід. Тож виникають питання. Чому зупинився розвиток арабської філософії і науки? Як можна пояснити занепад арабської науки після XIV століття? Чому арабська наука не стала джерелом сучасної науки? Чому наукова революція відбулася в XVI – XVII століттях в Європі, а не в арабо-ісламському світі?

На перший погляд може здатися, що однією з причин застою і занепаду в XV столітті східної науки була арабська спроба «ісламізації» грецької науки. Майже без винятку всі вищезгадані арабські філософи заробляли собі на життя як лікарі, правники і державні службовці. Хоча всі вони були мусульманами, але засновували свою діяльність на грецькій філософії і науці і не намагалися «ісламізувати» її проблеми і результати. З цим мирилися, але в той же час ці вчені все більше ставали об’єктами критики з боку релігійних кіл. У XII – XIII століттях зріс тиск з боку специфічних ісламських наук. Так звані «іноземні» науки могли розраховувати на підтримку лише тоді, коли вони були обґрунтовані релігійно або, скажімо, виконували певну релігійну функцію (астрономія, геометрія і арифметика були серед цих наук, оскільки для здійснення молитви мусульмани повинні були знати точний час і напрям на Мекку). Однак багато інших наукових областей критикувалися з релігійної точки зору як «непотрібні» або як такі, що підривають картину світу, викладену в Корані. Таким чином, зростаюча ісламізація «іноземних наук» вірогідно призводила до обмеження того, що законно могло трактуватися як актуальні дослідницькі завдання.

Ймовірно, що іншою великою проблемою була також відсутність в арабській культурі офіційних основ науки. Головним арабським центром освіти були релігійні мусульманські школи – **медресé**. Вони почали розквітати в XI столітті, ставши головними ісламськими культурними установами. Медресе переважно призначалися для вивчення релігійних (ісламських) наук. Усе

навчання зосереджувалося на вивченні Корану, життя Пророка і його послідовників, а також мусульманського вчення про право (шаріат). Філософія і природничі науки не вивчались, хоча основні пов'язані з ними тексти копіювалися в медресе і передавалися в бібліотеки. Багато філософів і вчених були викладачами в медресе, але вони не читали тут лекцій з «іноземним» наукам. У зростаючій мірі заняття цими науками ставало особистою справою або асоціювалося з мечеттю (астрономія) і двором халіфа (медицина). Незалежна арабська наука ніколи не була офіційно оформлена і санкціонована арабо-ісламської релігійної і політичною елітою. Середньовічний іслам не визнавав гільдій і корпорацій. Професійні групи студентів і викладачів не могли бути юридично оформлені, що перешкоджало їх самостійному внутрішньому розвитку. Відповідно було майже неможливим створення автономних академічних інститутів із внутрішнім самоврядуванням, як це було в європейських університетах пізнього Середньовіччя. Тому, очевидно, найбільш важливою причиною стагнації арабської науки в XIV столітті є те, що арабський світ так і не зміг створити незалежні інститути, до яких ставилися б з терпимістю і які могли б розраховувати на підтримку як світської, так і релігійної влади.

4.4. Наука в середньовічній Європі

Наука в середньовічній Європі розвивалася в більш складних економічних і політичних умовах. Античні наукові традиції зберігалися у Візантії та в арабському світі. Саме розквіт східної науки IX – XIII ст. дозволив людству не тільки зберегти досягнення античної культури, а й істотно розвинути деякі галузі знань. Розвиток економіки Європи в XII–XV століттях потребував і розвитку наукових знань. У результаті першість в науці поступово переходить до європейських вчених.

Реанімування науки в Європі починається вже в XI столітті. Йому сприяли також і хрестові походи, що забезпечили знайомство європейців з досягненнями Сходу. У X–XII століттях в Європі з'являються водяні млини і вітряки, механічний годинник, розвивається містобудування, кораблебудування, будуються великі гідротехнічні споруди.

Контакти з арабами та розквіт економічної діяльності призвели до інтелектуального пробудження в Іспанії, Лотарингії, Франції, Шотландії. В Італії були створені перші установи, призначені для

розповсюдження і розширення знань, – університети. У 1100 році університет в Болоньї вже досяг слави. До цього часу став відомим і Паризький університет. За зразком Парижа і Болоньї були створені університети в Падуї (1222), Оксфорді (1229), Кембриджі, Неаполі, Римі та ін. В XIV столітті були відкриті університети в Пізі, Павії, Кракові, Відні, Гейдельберзі, Феррарі і ін. Викладання всюди велося латиною, яка набуває статусу загальної мови науки.

У XII – XIII століттях в Іспанії і Італії латиною були перекладені праці Аристотеля, Евкліда і Птолемея. Однак однобоке вивчення античних авторів призвело до розвитку схоластики. Схоластика відрізнялася абстрактними і часом зовсім безпредметними і безплідними роздумами. Вона ґрунтувалася на догматах церкви і почала панувати в науці. В цей час праці Архімеда і Герона ще не дійшли до європейців, так що все вивчення механіки було засновано на працях Аристотеля і «Проблемах механіки», які також приписувалися Аристотелю. В результаті отримав розвиток кінематичний напрямок статики, що походить від Аристотеля. Поряд з античними, стають відомі і праці арабських вчених, таких як Аль Хорезмі, Ібн Корра, Ібн Сіна та ін.

Одночасно зростали багатство і могутність католицької церкви. Інокентій II, який займав папський престол в 1198 – 1216 роки, оголосив себе намісником Бога на землі. Основну роль в ідеології стала грати теологія. Для боротьби з «єрессю» були створені чернечі ордени домініканців і францисканців, а потім запроваджена інквізиція. Її жертвами стали багато видатних вчених Середньовіччя.

У результаті наука в Середні віки розвивалася повільними темпами, в ній не було значних проривів. Однак занепад античної цивілізації не став для науки катастрофою. Наукові знання вдалося зберегти для нової цивілізації. Хоча далеко не всі твори стародавніх вчених були збережені, інтелектуальний потенціал античної науки був такий високий, а обсяг знань такий великий, що це дозволило науці не тільки вижити, а й піднятися на вищий рівень.

Певну просвітницьку роль зіграли і нові світові релігії християнство та іслам, які стали природною реакцією на деградацію і занепад античного світу. Біблія і Коран справили величезний вплив на розвиток світової культури. Вони стали основою для вирішення політичних, правових, економічних та морально-етичних проблем. Починаючи з Раннього Середньовіччя, протягом багатьох століть, церква мала монополію на вченість і освіту. Тільки церковні школи

і монастирі забезпечували навчання, збереження знань і підготовку духовенства. Саме з церковних шкіл виросли перші європейські університети з курсами навчання семи вільним мистецтвам. Але, поряд з підготовкою духовенства університети давали і світські знання. Таким чином, політичні, правові та економічні концепції формувалися на основі релігійного світогляду. При цьому концепції ісламських мислителів, в першу чергу про державу, її сутність, цілі та завдання, а також про взаємини церкви і держави значно відрізнялися від учень західноєвропейських теоретиків.

4.5. Розвиток техніки в період Середньовіччя

Падіння Римської імперії і створення «варварських королівств», нескінченна низка воєн, навали арабів, угорців, вікінгів, епідемії чуми сильно скоротили населення Європи. У результаті робочих рук ставало менше, а земельні наділи скоротилися. Для того щоб прогодувати населення Європи, необхідно було підвищити продуктивність праці в сільському господарстві і врожайність.

Зробити це допомогли три ключових винаходи, які були впроваджені в сільському господарстві в доіндустріальну середньовічну епоху і послужили запорукою випереджального розвитку Європи, – це плуг, млин і хомут.

Основними сільськогосподарськими знаряддями для оранки в Єгипті і Середземномор'ї були мотика і соха, якими в землі робили борозни. Глибина оранки сохою становить зазвичай 12 – 15 сантиметрів. У Північній Європі, де ґрунти були гіршими, цього виявлялося замало. Там для отримання прийнятного врожаю потрібно було перегорнути верхній шар землі. У період римського панування (I–V століття) у Британії став поширюватися плуг – вдосконалена соха. Крім сошника (вертикального ножа, яким розпушують ґрунт), він був оснащений лемешем, краючим ґрунт горизонтально, і відвалом, перегортаючим зрізаний шар землі. Пізніше плуг поставили на колеса, що не тільки значно полегшило роботу і орачеві, і тягловим тваринам, а й дало можливість натиском регулювати глибину оранки в залежності від якості ґрунту.

Впровадження колісного плуга і трипільної сівозміни забезпечило Британії, північній Франції і Німеччини стабільну врожайність на рівні сам-п'ять – сам-сім.

Основними джерелами енергії в Середні віки, як і в стародавньому світі, залишалася м'язова сила людей і тварин. Протягом

століть єдиною машиною, яка застосовувалася в сільському господарстві, був млин. Конструкцію водяного млина описав ще в I столітті до нашої ери римський інженер і архітектор Вітрувій. Однак актуальним цей винахід почав бути тільки тоді, коли робочих рук стало не вистачати. Уже до кінця XI століття тільки в Англії налічується близько 6000 водяних млинів. У XII столітті Бернард Клервоський, автор типового чернечого статуту католицької Європи, наказує кожному монастирю мати власний млин, щоб не залежати від поставок хліба ззовні. Приблизно тоді ж в Європі стали з'являтися і вітряки, хоча водяні млини так і залишилися поширенішими. Млини стали використовувати не тільки під час помелу зерна, а й для роботи пилорам, насосів, пресів, а також первинної обробки каменю. Це була перша масштабна механізація господарства, що прискорила не тільки розвиток сільського господарства, а й ремесел і торгівлі.

Тривалий час тягловою силою і при оранці, і для переміщення важких вантажів служили бики. На конях їздили або верхи, або запрягали їх в легкий візок – колісницю. Причиною цього є використання в якості упряжі ярма або нашийника. Ярмо дає навантаження на голову, нашийник, відповідно, на шию. Через особливості їхньої анатомії, биків можна запрягати і в ярмо, і в нашийник. Що ж стосується коней, то ярмо просто зламає їм шию, а нашийник можна використовувати тільки при невеликому навантаженні, інакше він задушить їх. Через це коні були поширені тільки для поїздок знаті і для військової справи. Однак навали кочівників принесли в Європу ряд удосконалень, пов'язаних з кіньми. Серед них стремена і хомут. Хомут – це система широких ременів, яка розподіляє навантаження на груди і шию коня. Він дозволив запрягати в плуг коня, яка набагато спритніші бика. Швидкість оранки збільшилася, це дозволило збільшити площу орних земель і, відповідно, з тими ж трудозатратами виробляти більше хліба.

Таким чином, завдяки плугу, млину і хомуту Європа до XI–XII століть подолала аграрну кризу, викликану скороченням робочої сили в «темні віки». Крім того, в Середні віки в Європі впроваджені найважливіші технічні досягнення, такі як водяний і вітряний двигуни, механічний годинник, компас, порох, папір, окуляри. Вони зробили сильний вплив і на подальший розвиток науки. Усе зазначене викликало зростання міст і розвиток торгівлі і культури. Пізня середньовічна цивілізація вже якісно відрізняється від античної.

ГЛАВА 5

Наука і техніка в епоху Відродження

5.1. Крах феодальної системи і епоха Відродження

Ренесанс – епоха Відродження, період інтелектуального і художнього відродження античної культури. Це епоха розквіту, який почався в Італії в XIV столітті, досягнувши піку в XVI столітті і справив значний вплив на європейську культуру. Ренесанс мав величезне значення для становлення експериментальних наук.

Після взяття турками в 1453 році Константинополя і падіння Візантії багато інтелектуалів вирушили на Захід. Так само як араби за кілька століть до цього принесли в Європу знання натурфілософії Аристотеля, вони принесли з собою нове знання про античну грецьку філософію, особливо філософію Платона.

Повернення в XV столітті до Європи античних теорій створило умови, які сприяли виникненню експериментальної науки. Через це знову прокинувся інтерес до використання і перетворення природи та контролю над нею. Для цього були адекватні поняття і теорії, запозичені з грецької філософії, а також теоретична вченість, придбана в процесі занять середньовічною схоластичною філософією. Саме поєднання теорії та практичної зацікавленості у вивченні природи створило умови для виникнення природничих наук в епоху Ренесансу. Цьому передували процеси розвитку природничо-

наукових понять в лоні середньовічної філософії і накопичення технічних знань в межах ремесел і сільського господарства в епоху Середньовіччя. Природознавство не могло виникнути тільки з теорії або тільки з практичного інтересу. Необхідно було поєднання цих факторів, що і сталося в епоху Ренесансу.

Провісниками Ренесансу стали поет **Данте Аліг'єрі** (1265 – 1321) і художник **Джотто ді Бондоне** (1267 – 1337). Їхня творчість пронизана вірою в людину, її можливості, волю і розум, запереченням схоластики і аскетизму. Розпочавшись в Італії в XIV столітті, Відродження античних мистецтва, культури і науки протягом 200 років поширилося в Європі. Процвітають філософські ідеї неоплатонізму і пантеїзму. Ренесанс відповідав інтересам нового класу буржуазії, який тоді народжувався.

Одним з перших гуманістів епохи Відродження є німецький філософ, теолог, математик, кардинал римської католицької церкви **Микола Кузанський** (1401 – 1464). Заперечуючи, що Земля є центром Всесвіту, він також відкидав і схоластичні методи доказів, пропагуючи знання, засновані на досвіді. Творчість Миколи Кузанського мала великий вплив на М. Коперника і Дж. Бруно.

Якщо до цього часу розвиток виробництва і техніки відбувався на основі емпіричних даних, то в умовах капіталістичного виробництва, яке розширювалося, вирішального значення набували науково обґрунтовані знання, які не тільки підсумовують досвід, але і створюють теорію. Прогрес виробництва збагачував науку досвідом, а наука зі свого боку допомагала вдосконалювати техніку, технологію і організацію виробництва.

Розвиток механіки, наприклад, стимулювався застосуванням у виробництві, будівництві та гірничій справі різних механізмів. Розвиток артилерії також потребував вирішення завдань механіки. Будівництво складних гідротехнічних споруд викликало появу гідродинаміки. Розвиток мореплавання вимагав вдосконалення астрономічних знань. Розвиток металургії, фарбувальної справи і медицини допомагав прогресу хімії. Таким чином, виробництво сприяло вдосконаленню засобів наукового експерименту.

У тісній взаємодії з виробництвом формувалися основи сучасних наук. Прогрес в економіці призвів не тільки до зародження капіталізму, але і підготував корінний переворот в науці – наукову революцію, яка мала місце в XVII столітті.

Досягнення медицини. Медицина була однією з небагатьох галузей знання, в якій було досягнуто прогресу в порівнянні з античністю. Вплив візантійської медицини позначився як в арабських країнах, так і в Європі за доби Відродження. Аж до XVI століття вважалося, що хвороба є наслідком ненормального зсуву чотирьох рідких середовищ організму (крові, мокротиння, жовтої та чорної жовчі). Першим виклик цій теорії кинув швейцарський алхімік **Парацельс** (1493 – 1541), який стверджував, що хвороби пов'язані з порушеннями різних органів і можуть бути вилікувані за допомогою хімічних препаратів. Приблизно в цей же час перше ретельне анатомічне дослідження людини було проведене **Андреасом Везалієм** (1514 – 1564). Його праця «Будова людського тіла» була написана на основі численних спостережень при розтині трупів. Однак основи сучасної медичної науки були закладені майже через сто років англійським вченим Вільямом Гарвеєм (1578 – 1657). Він розробив теорію кровообігу, показавши, що кров в тілі людини циркулює по замкнутому колу завдяки скороченням серця, а не печінки, як вважали раніше.

Основоположником наукової мікроскопії став нідерландський натураліст **Антоні ван Левенгук** (1632 – 1723). Він ввів вживання мікроскопа для зоологічних досліджень. За допомогою виготовленого своїми руками мікроскопа Левенгук відкрив мікроорганізми і досліджував структуру різних форм живої матерії.

Рис. 5.1. Леонардо да Вінчі

Серед титанів Відродження одне з перших місць по праву належить **Леонардо да Вінчі** (1452 – 1519) – великому італійському художнику, винахіднику і вченому. У механіці він став попередником Галілея в сфері опору матеріалів. Леонардо ввів поняття сили і моменту, коефіцієнт тертя, а також виробив рекомендації для будівництва арок. Сила його розуму, його геніальні наукові передбачення, його

чудові технічні винаходи, нарешті, його велике реалістичне мистецтво – все це викликало подив та захоплення людей Ренесансу, схильних сприймати Леонардо як живе втілення того ідеалу всебічно розвиненої особистості, про який мріяли кращі з мислителів і письменників XV – XVI століть.

Накопичення нових знань про природу породжувало **новий матеріалістичний світогляд** і нові методи наукового дослідження. Великий внесок в обґрунтування нових методів наукового пізнання, побудованих на досвіді, зробив **Френсіс Бекон** (1561 – 1626). Цей філософ був також державним діячем і займав пост лорда-канцлера при дворі англійського короля Якова I Стюарта. У творі «Новий органон» він гостро критикує схоластичні методи доказу істини, висуваючи замість їх пізнання світу за допомогою наших почуттів і розуму. Бекон розробив методологію експериментального дослідження явищ природи: на першому етапі проводиться спостереження над досліджуваним об’єктом, вивчаються його властивості і встановлюються часткові закони; потім на основі узагальнення цих даних, отриманих при конкретному дослідженні, з’ясовуються загальні закони. Остаточне судження про об’єктивність встановленої істини приймається тільки після її перевірки за допомогою досвіду і практики.

Таким чином, в природничих науках епохи Відродження був створений новий метод мислення, звільнений від догм і схоластики. Завдяки цьому наука висувається на передові позиції в духовній культурі. У всіх сферах людської діяльності в цей час панує дух мистецтва. Це вплинуло і на характер наукових досліджень. Наукові трактати були написані в літературно-художньому стилі. Технічні проекти видатних вчених і винахідників не були підкріплені науковим обґрунтуванням, а часом були й зовсім фантастичні. Однак у низці напрямів, таких як механіка, оптика, хімія, електрика, магнетизм та ін. наука досягла щабля великих змін.

Однак в епоху Ренесансу середньовічний морок не був повністю розвіяний світлом мистецтва і науки. Централізовані держави цієї епохи були менш демократичними, ніж середньовічні феодальні королівства. В інтелектуальному плані Ренесанс у багатьох відношеннях був навіть менш виразним, ніж Середньовіччя.

Досить згадати спалення відьом в період Реформації, інквізицію, звірства якої були гіршими за середньовічну жорстокість.

Проте водночас в епоху Відродження сформувався гуманізм як широкий ідейно-культурний рух. Свобода і розкутість думки створила передумови для заснування низки наукових напрямків, концепцій і теорій в гуманітарній сфері:

- працями Макіавеллі було покладено початок політології;
- соціальні ідеали гуманізму сформувалися у вигляді утопічних концепцій комунізму;
- в релігійній сфері найбільшим ідейно-політичним рухом стала Реформація, яка в дусі епохи закликала до відродження справжнього первісного християнства, апостольної церкви;
- виникає перша в історії економічної думки школа – меркантилізм, що відображає справжні закономірності економічного розвитку країн Європи в період становлення абсолютизму.

5.2. Розвиток астрономії і система Коперника

До XVI століття, що вважається початком сучасної ери в науці, переважав погляд на Всесвіт, заснований на теоріях Аристотеля і астронома Птолемея, який розвинув їх. За ними Земля знаходилася в центрі Сонячної системи, що відповідало християнській теології, яка зробила драму гріхопадіння і порятунку душі наріжним каменем історії. Коли ж, роблячи астрономічні спостереження, учені виявили протиріччя в системі Птолемея, орбіти планет були накреслені по-іншому і набули доволі хитромудрого вигляду винятково для того, щоб відповідати цій теорії.

Не всі вчені погоджувалися з точкою зору Птолемея, однак протягом усього періоду середньовіччя її ніхто не оскаржував. Перша ретельно розроблена альтернативна теорія була представлена Коперником. Польський вчений **Миколай Коперник** (1473 – 1543), будучи кафедральним каноніком, більшу частину життя присвятив науковим дослідженням. Він отримав гарну освіту, навчаючись у Краківському університеті, Болоньї, Падуї та Феррарі.

Рис. 5.2. Миколай Коперник

Коперник запропонував революційно нову модель світобудови – геліоцентричну (з Сонцем в центрі), яка кардинально відрізнялася від відомої на той момент. Він стверджував, що Сонце є нерухомим центром, навколо якого обертаються планети; і що Земля – одна з цих планет. Період обертання нашої планети навколо Сонця дорівнює року, крім того, вона обертається навколо власної осі, здійснюючи повний оберт за добу. Вчений також вважав, що Місяць – це не одна з планет, як вважали в той час, а супутник Землі. Коперник першим розташував планети в правильному порядку за ступенем їх віддаленості від Сонця – Меркурій як найближчу, а Сатурн як найдальшу (Уран, Нептун і Плутон тоді ще не були відкриті). Нова теорія в основному була правильною, але в ній були і слабкі місця – для обчислень ця система була майже такою ж складною, як і Птолемєєвська, головним чином тому, що Коперник помилково вважав орбіти планет колами.

Створення Коперником геліоцентричної системи світу, заснованої на описовій астрономії, стало найбільшим досягненням епохи Відродження. У теорії Коперника поряд з науковими поглядами проголошувалися гіпотези, що мають естетичний зміст, характерні для епохи мистецтва. Ідея Коперника про пересічне місце Землі у Всесвіті приголомшила світобачення епохи, посилила критичний дух, такий необхідний для становлення науки. Хоча далеко не всі ієрархи католицької церкви виступали проти нових ідей, Коперник усвідомлював, що його висновки не тільки змінюють уявлення про Всесвіт, але можуть виявитися й єретичними. Тому він вважав за необхідне підготувати суспільство до сприйняття нової системи і не поспішав публікувати свою працю «Про обертання небесних сфер», яка вийшла у світ тільки в рік смерті вченого (1543). Книга була присвячена Папі Римському, а в передмові було

зазначено, що метою написання праці є бажання допомогти астрономам при обчисленнях, а не критика теорії Птолемея.

Хоча в ті часи теорія Коперника ще не була остаточно підтверджена, застаріла картина світу стрімко руйнувалася. Значний удар помилковим уявленням було завдано датським астрономом **Тихо Браге** (1546 – 1601), який 1572 року помітив наднову зірку – незмірно далеку і дуже яскраву, чия поява в «незмінному» просторі за Місяцем була б неможливою. Через кілька років Браге спостерігав настільки ж неймовірну появу комети. Точність спостережень зірок і планет він підвищив більш ніж на порядок (похибка менше кутової хвилини), а положення Сонця за його таблицями можна було знайти з точністю до однієї хвилини, тоді як попередні таблиці давали помилку в 15 – 20 хвилин. У результаті масштабних і систематичних спостережень дослідник визначив положення багатьох небесних тіл і видав перший сучасний каталог зірок.

Ще більш вражаючі й переконливі дані були отримані італійським вченим **Галілео Галілеєм** (1564 – 1642). Йому пощастило, так як він вже міг використовувати технічне нововведення – зорову трубу, винайдену в Голландії приблизно в 1600 році. Майже відразу ж після отримання в 1609 році звісток про її існування Галілей сконструював набагато більш досконалий прилад для спостереження за небом – телескоп. Його відкриття мали величезне значення, так як, крім усього іншого, Галілей встановив існування безлічі зірок, не видимих неозброєним оком, плям на Сонці, кратерів на поверхні Місяця, супутників Юпітера і фаз Венери.

Галілей використовував свої відкриття для підтвердження геліоцентричної теорії Коперника. Однак це загрожувало традиціям і авторитету біблійного вчення, заснованого виключно на геоцентричної теорії, і Церква забила тривогу. Сам Папа Римський заборонив Галілею захищати погляди Коперника, і вчений довгі роки нічого на цю тему не публікував. Але, розраховуючи, що слава зможе захистити його від переслідувань Церкви, в 1632 році Галілей опублікував трактат «Діалог про дві найголовніші системи світу», в якому спростовував положення системи Птолемея. При цьому він зберіг видимість того, що виконує вказівки Папи і закінчив книгу твердженням, що творіння рук Господніх у дійсності недоступні розумінню людини. Однак це не допомогло, 69-річний вчений був викликаний в Рим, де постав перед судом інквізиції і був

звинувачений в єресі. Під загрозою смертної кари Галілей змушений був визнати свою «помилку» і покаятися. Через це він відбувся досить м'яким для того часу покаранням, і протягом решти восьми років свого життя перебував під домашнім арештом на своїй віллі в Арчетрі.

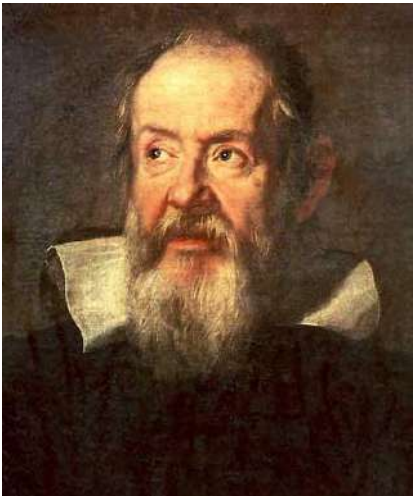

Рис. 5.3. Галілео Галілей і його телескоп,
що зберігається в астрономічному музеї Лондона.

Спроби Церкви заборонити теорію Коперника зазнали невдачі, оскільки книга Галілея була перекладена багатьма мовами і стала популярною в Європі. Крім того, важливі підтвердження справедливості теорії Коперника надав німецький астроном **Йоганн Кеплер** (1571 – 1630), який в 1609 – 1619 роки відкрив три закони руху планет. Згідно з Коперником і Галілеєм планети обертаються навколо Сонця по круговій орбіті, Кеплер же визначив, що орбіти планет є еліптичними, і тим самим усунув помилки своїх попередників. Він продемонстрував, що геліоцентрична теорія простіше системи Птолемея, а також вільна від її протиріч. Кількома роками пізніше Кеплер створив Рудольфові таблиці, за допомогою яких було можливо передбачити рух планет в майбутньому.

Засновані на роботах Тихо Браге, ці відкриття ознаменували початок всеосяжного і математично точного опису Сонячної системи.

Революція в астрономії, пов'язана з іменами Коперника, Тихо Браге і Кеплера, дозволила зовсім по-новому поглянути на місце людини у всесвіті і на можливості людини раціональним чином пояснити астрономічні явища. Те, що небесна механіка давала можливість поповнити земну механіку, надавало сміливості людям науки.

5.3. Розвиток математики в епоху Відродження

У той час, коли в мусульманському світі наука пішла на спад, в Європі почався бурхливий розвиток математики і механіки. Першим значним твором з математики стали «П'ять книг про трикутники всіх видів» німецького астронома і математика **Йоганна Мюллера** (1436 – 1476), відомого також під ім'ям **Регіомонтан**. У цій роботі тригонометрія вперше трактувалася як самостійна наука. Крім того Регіомонтан увів в обіг радикали і правила дій над ними. У радикалах він вирішив деякі рівняння третього і четвертого ступенів. Пізніше професор Болонського університету **Сципіон дель Ферро** (1465 – 1526) знайшов загальний метод вирішення неповного кубічного рівняння виду

$$x^3 + px = q, \text{ где } p, q > 0 \qquad (5.1)$$

Серед вчених XVI століття, які зробили великий внесок у розвиток математики, можна виділити наступних:

Ніколо Фонтана, прозваний **Тарталья** (1499 – 1557) – італійський вчений-самоучка. Зробив перший переклад «Начал» Евкліда італійською мовою. Був видатним фахівцем у фортифікації. Тарталья не тільки заново відкрив рішення для рівняння (5.1), але також зміг вирішити рівняння, в якому $p<0$.

Італійський вчений **Джироламо Кардано** (1501 – 1576) придумав спосіб зведення повного кубічного рівняння до вигляду, в якому відсутній член з квадратом невідомого і розповсюдив його на рівняння четвертого ступеня. Він увів негативні корені й уявні

числа. Свої результати вчений опублікував, включивши також в свою книгу і метод розв'язання рівняння четвертого ступеня, відкритий його учнем **Луїджі Феррарі** (1522 – 1565). В результаті між Тарталья і Кардано виникла суперечка про пріоритет у способах вирішення степеневих рівнянь, яка обговорюється майже 500 років і викликала велику літературу, однак істину навряд чи вдасться знайти. Позитивним же результатом цієї суперечки стало прагнення вчених не приховувати свої досягнення, щоб заробляти з їх допомогою гроші на диспутах, а публікувати їх в науковій пресі.

Пошуками рішення алгебраїчних рівнянь вищих ступенів займалися багато астрономів і математиків протягом наступних 300 років. Серед них Лаплас, Лагранж, Леверьє, Ейлер та ін. Намагаючись відшукати формулу для вирішення в радикалах рівняння k-го ступеня, Ейлер знайшов загальний вигляд коренів для будь-якого рівняння ступеня не вище четвертого. Але звести загальне буквене рівняння п'ятого ступеня до рівнянь нижчих ступенів йому не вдалося. У 1770 – 1771 роках Лагранж зробив систематичне дослідження всіх методів вирішення і прийшов до висновку: «Дуже сумнівно, щоб методи ... могли б дати повне рішення рівняння 5-го ступеня». У 1799 році італійський математик **Паоло Руффіні** (з пробілами), а в 1826 році норвезький математик **Нільс Генрік Абель** (повністю) довели, що алгебраїчні рівняння вище четвертого ступеня з буквеними коефіцієнтами не вирішуються в радикалах.

У роботі «Вступ до мистецтва аналізу» **Франсуа Вієт** (1540 – 1603) викладає основи алгебри і робить підсумок математики епохи Відродження. У цій роботі з'являються такі правила: додавання і віднімання проводиться тільки над однорозмірними величинами; множення і ділення викликають зміну розмірності.

Однак алгебру Вієта незабаром витісняє алгебра Р. Декарта. Декартове поняття «змінна величина» стало поворотним пунктом в математиці XVII століття. Крім того він увів прямокутну (декартову) систему координат, сучасні позначення в алгебрі і написав перший твір з аналітичної геометрії.

Подальший розвиток аналітична геометрія отримала в XVII столітті в працях **П'єра Ферма** (1601 – 1665), який також домігся

видатних результатів в теорії чисел і в методах нескінченно малих. А сучасний вигляд аналітична геометрія отримала завдяки К. А. Клеро і Л. Ейлера. Поява аналітичної геометрії істотно полегшила формування аналізу нескінченно малих.

З інших досягнень XVII століття слід відзначити відкриття логарифмів, які істотно полегшували проведення громіздких обчислень протягом майже чотирьох століть. Теоретичні основи логарифмів почали формуватися давно, ще в працях Архімеда і Діофанта Олександрійського. Перші таблиці логарифмів склав в 1603 – 1611 роках співробітник обсерваторії Кеплера шведський математик **Йост Бюргі** (1552 – 1632). Однак він видав їх тільки в 1620 році і то за наполяганням Кеплера. Його випередив шотландський барон **Джон Непер** (1550 – 1617), який видав в 1614 році в Англії книгу «Опис дивовижних таблиць логарифмів». Логарифми швидко поширилися в обчислювальній практиці в усьому світі.

5.4. Дослідження в області статики

Як уже зазначалося, статика протягом тисячоліть розвивалася самостійно. Розвиваючи кінематичний напрям, який походить від Аристотеля, французький вчений XIII століття **Йордан Неморарій** (про його особистість точних відомостей немає) не тільки отримав правильне рішення задачі про рівновагу тіла на похилій площині, а й зрозумів, що відомий в давнину закон про рівновагу на важелі і невідомий раніше закон рівноваги на похилій площині є окремими випадками якогось загального закону. Вплив школи Йордана можна простежити в роботах Леонардо да Вінчі. У подальшому розбудовою традицій цієї школи займалися також Тарталья і Кардано.

У статиці епохи Відродження намічається і тенденція до розвитку забутого в Середні віки архімедовського напрямку – геометричної статики. Початком її вивчення можна вважати кінець XV – початок XVI століття, коли після взяття турками Константинополя в Західній Європі з’явилися привезені візантійськими біженцями залишки зібрань античних рукописів.

Франческо Мавроліко (1494 – 1575) і **Федеріго Командіно** (1509 – 1575) належать перші переклади Архімеда латинською мовою і коментарі до них; до того ж обидва автори крім

коментування розглядають і численні власні завдання на визначення центрів ваги різноманітних фігур.

Серед вчених, що розвивали геометричну статику можна відзначити учня **Командіно Гвідо Убальді дель Монте** (1545 – 1607), який сам безпосередньо займався інженерною практикою. Питань статики він стосується у двох творах: «Книга про механіку» і «Зауваження з приводу трактату Архімеда». Про рівновагу плоских фігур ». Крім творів Архімеда дель Монте посилається на Паппа і Герона Олександрійського, вплив яких позначився в його описі «простих машин». Дель Монте ще не вводить явно поняття моменту сили, але на практиці ним користується. За допомогою геометричного методу він розглядає завдання про рівновагу важеля, ваг і вантажів на похилій площині. Однак в деяких завданнях Дель Монте відступає від геометричної статики і там, де це доцільно, наприклад, в задачі про рівновагу вантажу, підвішеного на мотузці, перекинутої через блоки, він вдається до одного з елементарних варіантів принципу можливих швидкостей.

Значний внесок у розробку геометричної статики вніс великий представник науки Відродження – **Джамбаттіста Бенедетті** (1530 – 1590). Хоча він був учнем Тартальї, в статиці вчений дотримувався традиції Архімеда. Більш того, в перших розділах своєї основної праці «Книга різних математичних і фізичних міркувань» Бенедетті не тільки розглядає помилкові положення свого вчителя, але і піддає принциповій критиці основні положення школи Йордана. Бенедетті користується поняттям моменту сили, при цьому досить чітко його формулює, хоча сам цей термін ще не вводить. За допомогою порівняння моментів сил Бенедетті отримує остаточне рішення поставленої ще Аристотелем задачі про стійкість Т-образних ваг в прямому і оберненому положеннях.

Слід зазначити, що і дель Монте, і Бенедетті в практичних питаннях при виробленні коротких технічних правил розрахунку рівноваги тіл використовували і деякі положення кінематичної статики.

Найбільш послідовним представником геометричного напрямку був фламандський математик, механік і фізик **Симон Стевін** (1548 – 1620). З 1583 року він викладав в Лейденському університеті, де читав лекції з математики, а в 1620 році організував при ньому

інженерну школу. В останні роки життя вчений був інспектором водних споруд.

Стевін був найбільш ревним послідовником Архімеда і рішуче відкидав традиції кінематичної статики, в якій не бачив строгості і чіткості викладу. Основною його працею з механіки є «Начала статики», видані на фламандською мовою в 1586 році. Свою статику Сімон Стевін будує аксіоматично. Спочатку він подає визначення, в основу яких покладено сукупність основних постулатів геометричної статики Архімеда. Потім вчений, спираючись на принципи Архімеда, виводить закон рівноваги важеля. Згодом його доказ правила рівноваги прямого нерівноплечового важеля було відтворено в «Бесідах» Галілея. Далі закон рівноваги важеля Стевін використовує для виведення умов рівноваги в більш складних випадках. Вчений додатково вводить ще один принцип, згідно з яким порушення рівноваги в системі неможливо, якщо це порушення не змінює ані величини, ані розташування вантажів у ній. Він також ввів в механіку термін **рівновагу**. Стевін першим сформулював теорему про трикутник сил, дав новий доказ закону рівноваги сил на похилій площині, заснований на неможливості вічного двигуна і запропонував спосіб зображення сил за допомогою ліній. Стевін сформулював закон гідростатичного тиску, ввів поняття метацентра. Таким чином, його праці відіграли завершальну роль в розвитку геометричного напрямку елементарної статики і гідростатики епохи Відродження.

Завершує побудову геометричної статики на площині французький математик **П'єр Варіньон** (1654 – 1722). У книзі «Нова механіка або статика», що вийшла в 1725 році (після його смерті), він виклав курс статики для плоскої системи сил, спираючись на закон паралелограма сил і рівняння моментів. Закон паралелограма він, незалежно від Ньютона, також, доводив за допомогою додавання рухів точки. Варіньону належить і теорема про момент рівнодійної плоскої системи сил, яка носить його ім'я. Окремо в його книзі розглядається визначення умов рівноваги на підставі принципу можливих переміщень. Закон паралелограма сил став підставою для створення графічних методів статики. Варіньон розробив метод мотузкового багатокутника для визначення рівнодійної сил, що лежать в одній площині.

У XVIII столітті в розвитку геометричної статики настає застій. Учені займаються аналітичними методами динаміки. Забутим виявляється і мотузковий багатокутник Варіньона, його заново відкриває німецький інженер **Карл Кульман** (1821 – 1881).

В епоху Відродження досвід, накопичений греками і римлянами в мистецтві будівництва і частково втрачений в Середні віки, було піднесено на колишню висоту. Це викликало інтерес до проблеми міцності. Першим, хто нею зайнявся, став Леонардо да Вінчі. Механіка викликала у нього особливий інтерес. Він писав: «Механіка – це рай для математичної науки, оскільки в ній ми отримуємо плоди математики». Леонардо ввів поняття сили і моменту, коефіцієнт тертя. Вчений застосовує «золоте правило механіки» (згодом воно виросло в принцип віртуальних переміщень) до розрахунку різних підйомних механізмів, що представляють собою систему блоків і важелів. Він також користується методом моментів і отримує з його допомогою правильні рішення задач про рівновагу стрижневих систем. Вірогідно, що Леонардо да Вінчі мав також правильне уявлення про розпір, який виникає в арках.

Леонардо да Вінчі експериментально вивчав міцність будівельних матеріалів. Вчений вивчав яке навантаження може витримати залізний дріт, а також опір балок вигину і проводив певні дослідження з опору колон. Однак його праця залишилася неопублікованою і не вплинула на розвиток науки про міцність.

Початок вивченню опору матеріалів поклав Галілео Галілей. Він уперше обґрунтував необхідність застосування аналітичних методів розрахунку замість емпіричних правил. У Лейдені в 1638 році видається його книга «Бесіди і математичні докази щодо двох нових наук, котрі стосуються механіки і законів падіння», яка і знаменує виникнення науки про міцність.

Галілей стверджував, що якщо зводити геометрично подібні споруди, то в міру збільшення їх розмірів, вони будуть ставати все менш міцними. Вчений розробляв методику проведення дослідів з абсолютного опору розриву і встановив, що міцність бруса при розтягуванні пропорційна площі його поперечного перерізу і не залежить від довжини.

Галілей розглянув задачу про вигин консольної балки і балки, котра лежить на двох опорах. Вирішуючи ці завдання, він вводить поняття напружень.

У випадку консольної балки прямокутного поперечного перерізу Галілей виходив з того, що небезпечним є перетин *AB* в закладенні, а руйнування відбувається через появу тріщини у верхнього ребра балки *A* і обертання навколо нижнього ребра *B* перетину *AB* (див. рис. 5. 5). Для оцінки міцності він приймає розтягуючі зусилля в цьому перерізі рівномірно розподіленими, вважаючи, таким чином, що нейтральна лінія знаходиться на внутрішній поверхні деформованої балки. У цьому випадку момент опору вигину в три рази вище дійсного і, відповідно, значення руйнівного навантаження теж має бути в три рази вище. Однак, якщо згадати, що реальні матеріали не дотримуються закону Гука аж до моменту руйнування, можна зауважити, що помилка Галілея буде значно меншою.

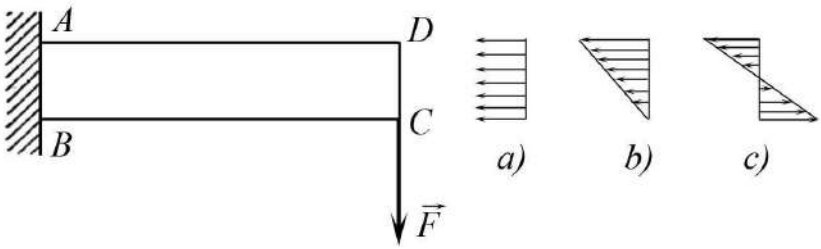

Рис. 5.4. Схема вигину консольної балки і графіки розподілу напруг за Галілеєм (поз. *a*), Маріоттом і Лейбніцем (поз. *b*), Параном і Нав'є (поз. *c*)

Досліджуючи балку, котра лежить на двох опорах, вчений приходить до висновку, що вигинаючий момент має максимальне значення в тій точці, де прикладено навантаження, а для його зменшення навантаження слід помістити в середину прольоту. При цьому Галілей зауважує, що можна заощадити на матеріалі, зменшуючи поперечний переріз балки поблизу опор. Далі він дає повне рішення задачі про защемлений брус рівного опору.

На закінчення Галілей досліджує міцність порожніх балок, вказуючи, що такі балки «знаходять найрізноманітніші застосування в техніці - а ще частіше в природі - в цілях можливо більшого збільшення міцності без зростання у вазі; прикладами цього можуть служити кістки птахів і різного виду очерети: і ті й інші відрізняються великою легкістю і в той же час добре опираються як вигину, так і зламу». Таким чином, незважаючи на деякі помилки, великий вчений отримав ряд правильних результатів і заклав основи опору матеріалів. При цьому слід зазначити, що його цікавив тільки граничний стан матеріалу, Галілей не розглядав деформацію.

5.5. Зародження класичної механіки

У XVII столітті була створена класична механіка. Біля витоків нової неаристотелевої механіки стояли наступні вчені.

Джироламо Кардано заклав основи теорії механізмів і машин. Винайшов шарнір, що передає обертання між валами, що складають довільний змінний кут, запропонував дослідження механізму шляхом розкладання його на елементарні ланки, ввів передавальне число.

Тривалий час ефемерна теорія імпетуса і розподіл руху на природний і вимушений тяжіли над вченими і перешкоджали розвитку динаміки. Однак поступово в динаміці зароджуються уявлення про інерцію. Микола Кузанський, розглядаючи випадок руху ідеальної кулі по ідеальній горизонтальній площині, робить висновок про те, що, будучи одного разу приведеною до руху, куля буде рухатися завжди. Дж. Кардано приходить до такого ж висновку.

Істинно наукова динаміка зародилася в кінці XVI століття, і з її появою механіка перетворилася в науку про рух, в якій з’явилися спроби пояснити всі явища природи на основі розвитку логічних принципів.

Достовірність наукових уявлень в рамках механічної картини світу була тісно пов’язана з розвитком експериментальних методів дослідження. Досліджень у сфері механіки потребували й

астрономія, і військова справа (особливо артилерія), і гідротехніка, і будівництво, й архітектура.

Саме механіка, а точніше її розділ динаміка, зазнала найсильнішого впливу експериментальних методів. Статика, на відміну від динаміки, не підтверджувалася такою ж мірою експериментами. Динаміка, відповідаючи на питання про перехід тіла або механічної системи з початкового стану до подальшого під дією заданих сил, могла бути підтверджена відповідним експериментом. Це і надало механічному природознавству ту незворотність розвитку і ту достовірність, які відрізняють науку XVII століття від наукових уявлень попереднього періоду. Становлення класичної механіки можна вважати основною складовою наукової революції XVII століття. Класична механіка формувалася в ході вирішення невеликого кола проблем. Перша проблема – це закон вільного падіння тіла і пов'язане з ним завдання зовнішньої балістики (політ тіла, кинутого під кутом до горизонту). Це завдання стало дуже актуальним у зв'язку з розвитком артилерії.

Розглядаючи в творі «Нова наука» цю балістичну задачу, Нікколо Тарталья робить висновок про те, що траєкторія випущеного снаряда на всій її довжині є кривою лінією, в той час як до нього вважалося, що вона складається з двох прямих, з'єднаних кривою лінією. Він також робить висновок про те, що найбільша дальність польоту снаряда відповідає куту піднесення 45°. Доведення останнього твердження не зберіглося, і тому невідомо як воно отримано.

Рішучого удару по Аристотелевій механіці завдав учень Тартальї Джамбаттіста Бенедетті. Він працював при дворі герцога Савойського в Турині, був послідовником Коперника і є одним з основоположників сучасної механіки. Бенедетті висунув теорію сполучених посудин, запровадив поняття моменту сили відносно точки. За допомогою принципу інерції вчений пояснює прискорення, якого набуває тіло під дією постійної сили. Він заклав основи нового уявлення про вільне падіння, досліджував принцип похилої площини, прямолінійний і обертальний рух, падіння тіл. Зокрема, прискорення, якого набуває тіло під дією постійної сили, вчений пояснював за допомогою принципу інерції. Згідно Бенедетті,

швидкість падіння залежить тільки від різниці між щільністю тіла і щільністю середовища. Таким чином, тіла різної маси, але з однаковою щільністю повинні падати однаково швидко, однак, на відміну від сучасної точки зору, він вважав, що в порожнечі тіла різної щільності повинні падати з різними швидкостями. Бенедетті першим у друкованому слові відкрито критикує Аристотеля, вказуючи при цьому, що дивно, як це дві тисячі років ніхто не помічав його помилок. На початку своєї наукової діяльності Галілей знаходився під сильним впливом Бенедетті.

Великий внесок у розвиток динаміки вніс Симон Стевін. Він наводить більш загальні міркування: «Будь-які тягарі, рухомі по горизонталі, якими є кораблі на воді, вози на рівнинах полів і т. п., не потребують для свого руху навіть сили однієї мухи, якщо не брати до уваги ті перешкоди, які створює навколишнє середовище та які заважають руху, якими є вода, повітря, тертя коліс, осей, поштовхи і удари об бруківку доріг і т.п.». Таким чином, вчені вже в першій половині XVI століття наблизилися до закону інерції.

Стевін одним з перших займався систематичним експериментальним вивченням падіння тіл. Вчений досліджував магнетизм Землі, ввів у вжиток в Європі десяткові дроби і запропонував десяткову систему мір. Фламандський математик сформулював умови знаходження кореня в даному інтервалі і запропонував спосіб його наближеного обчислення. Він також запропонував враховувати негативні корені рівнянь.

Правильний рівномірно-перемінний закон руху падаючого тіла формулює й іспанський учений, послідовник Оксфордської школи **Доменіко Сото** (1494 – 1560). Він дає для шляху, пройденого падаючим тілом, закон, що співпадає з сучасним.

Рішучий крок у створенні нової механіки зробив Г. Галілей. Він остаточно довів, що швидкість падіння не залежить від ваги тіла. Проводячи експериментальні дослідження руху тіла на похилій площині, вчений вивів закон рівноприскореного руху. Галілей також визначив, що траєкторія кинутого тіла є параболою. На підставі цих результатів він встановив принципи відносності руху, інерції і незалежності дії сил, а також поняття швидкості в даній точці, прискорення, складання рухів.

Галілей одним з перших досліджував коливання маятника. Ще в роки навчання в Пізанському університеті, нудьгуючи під час меси, він зауважив той факт, що частота коливань величезного панікадила, підвішеного до купола собору, не залежить від їхньої амплітуди. Молодий студент експериментальним шляхом встановив пропорційність між довжинами маятників і квадратами часу їх коливання. Пізніше властивість маятника зберігати частоту вільних коливань при малих відхиленнях вчений хотів використовувати для створення годинника.

Великий внесок у формування нової динаміки зробив Р. Декарт. Він сформулював принцип сталості кількості руху і принцип збереження роботи, які у нього були аксіомами. У своїх «Засадах філософії» Декарт не доводить ці принципи нічим, крім посилання на незмінність «божественної волі». При цьому, говорячи про кількість руху, Декарт не враховує напрямок руху, помилково вважаючи його скалярною, до того ж істотно позитивною величиною.

Християн Гюйгенс дає формулювання закону кількості руху вже з урахуванням напрямку руху, у нього ж наводиться й перше формулювання закону збереження руху центру мас. Ньютон викладає ці закони в більш чіткій формі, проте у нього ніде не вказано, що вони по суті є одним і тим самим законом. Закон збереження кількості руху стали застосовувати для вирішення задач про удар тіл.

Гюйгенс також був одним з перших дослідників, які працювали над законом збереження механічної енергії. Він правильно розумів поняття «сила», вважаючи, що її «треба вимірювати не повідомленою нею швидкістю в рівномірному русі, а тим прискореним рухом, який відбувається під її впливом». Вчений також правильно визначає відцентрову силу інерції. Він, зокрема, знав про вплив обертання Землі на період коливань маятника на різних широтах.

Результати своїх досліджень Гюйгенс опублікував у власному трактаті «Маятниковий годинник», в якому не тільки призводить опис винайденого ним годинника, але й дає його глибоке теоретичне обґрунтування. Автор, на відміну від Галілея, знає про вплив амплітуди коливань маятника на його період при великих відхиленнях. Він знаходить циклоїдальний маятник, котрий не має

такого впливу. Гюйгенс також викладає вчення про еволюта і евольвент і наводить загальні методи визначення центру гойдання. У кінці книги він, хоча і без доказів, наводить теореми, що стосуються відцентрових сил. Ця робота, поряд з працями Галілея і законами Кеплера, стала основою для створення Ньютоном класичної механіки.

Хоча ці поняття і принципи не були доведені до свого остаточного вираження, вони склали основу класичної механіки і дозволили в поєднанні з законами Ньютона створити єдину механіку. Творцем нової динаміки став Ісаак Ньютон.

5.6. Винаходи та поширення знань

Отже, до XVII століття наука дійсно далеко просунулася у своєму розвитку. Наукові досягнення постійно множилися, інтерес до науки проявлявся повсюдно. Цьому сприяло й те, що наукові знання були ще не дуже спеціалізованими, і будь-яка освічена людина могла провести експеримент і зробити відкриття.

Розвитку експериментальних методів дослідження сприяв винахід різних приладів. У XVI – XVII ст. були створені мікроскоп і телескоп, в результаті чого були відкриті незвідані до того часу мікро- та макросвіт. З'явилися такі звичайні для сучасності прилади, як термометр, ртутний барометр і повітряний насос.

Найважливішим досягненням науки XVII століття стало створення маятникового годинника. Точний годинник (хронометр) був украй необхідним мореплавцям для визначення місця знаходження корабля. У 1636 році Галілей запропонував уряду Голландії виготовити годинник з маятником. Однак далі листів справа не пішла. У 1641 році він все-таки взявся за виготовлення годинника, але смерть завадила довести дослідження до кінця. Його син, **Вінченцо Галілей**, продовжуючи справу батька, в 1648 році взявся за виготовлення годинника, але теж скоро помер.

Перші години з маятником побудував Християн Гюйгенс, який в 1657 році отримав на них патент Генеральних штатів (уряду) Голландії. У 1673 році Гюйгенс видав книгу «Маятниковий годинник», в якій розповідав про позитивні результати випробувань маятникового годинника в морі. У тому ж році паризький майстер **Ісаак Тюре** виготовив годинник з урахуванням всіх удосконалень.

Але наступні випробування показали недоліки застосування маятникового годинника на хиткому судні, і Гюйгенс прийшов до висновку, що хронометр повинен являти собою пружинний годинник з балансиром. Такий хронометр вдалося створити тільки в 1735 році **Дж. Гаррісону**.

Знаменитими англійськими експериментаторами були **Вільям Гілберт** (1544 – 1603), що заклав основи вивчення електрики і магнетизму, і **Роберт Гук** (1635 – 1703), який в біології ввів поняття «клітина» для опису того, що побачив через лінзи вдосконаленого ним мікроскопа. Ірландець **Роберт Бойль** (1627 – 1691) винайшов вакуумний насос і сформулював закон, відомий під назвою закону Бойля – Маріотта, який встановлює співвідношення між об'ємом газу і тиском.

Справжньою революцією в розвитку науки і освіти були винахід друкарства (середина XV ст.) і виробництво дешевого матеріалу для письма – паперу. Честь винаходу друкарства належить **Йогану Гуттенбергу** (бл. 1399 – 1468). Але без ганчіркового паперу книгодрукування не могло б мати такого величезного успіху. Від арабів європейці вперше навчилися робити бавовняний папір для письма, але він був міцний і незручний для скоропису. Тому до нього почали домішувати лляні тканини і, нарешті, стали робити папір з ганчірок. Цей ганчірковий папір за своєю міцністю, дешевизною та зручністю для письма до кінця Середніх віків увійшов до загального вжитку. Книгодрукування надзвичайно збільшило число книг і зробило їх незрівнянно дешевшими, ніж раніше, і доступнішими для народу. А разом з поширенням книг швидше почали поширюватися і знання, тобто швидше пішла вперед просвіта людства.

Вогнепальна зброя, порох, компас і кораблі, здатні перетинати океани, дозволили європейцям відкрити, досліджувати і нанести на карту значну частину світу, а винахід друкарства означав, що будь-яка інформація швидко ставала доступною вченим усього континенту. К. Маркс зазначав: «Порох, компас, книгодрукування – три великих винаходи, що передують буржуазному суспільству. Порох підриває лицарство, компас відкриває світовий ринок і засновує колонії, а книгодрукування стає знаряддям протестантизму і взагалі засобом відродження науки, найпотужнішим важелем для створення необхідних передумов духовного розвитку».

Починаючи з XVI століття, взаємозв'язок між суспільством, наукою і технікою ставала все більш тісної, оскільки прогрес в одній з областей знання підштовхував до розвитку інших. Нова наука намагалася підтвердити справедливість спостережень шляхом експериментів і перевести результати на універсальну мову математики. Галілей був першим вченим, які усвідомили, що саме такий підхід є ключем до розуміння всього сущого, і стверджував, що «книга природи ... написана математичними знаками».

5.7. Розвиток мануфактурного виробництва

В останній третині XVI – на початку XVII століття відбувається буржуазна революція в Нідерландах, яка зіграла важливу роль у розвитку капіталістичних відносин в протестантських країнах. У 1642 – 1688 роках буржуазна революція розгортається і в Англії, найбільш розвиненою в промисловому відношенні європейській країні. Ці ранні буржуазні революції були підготовлені розвитком мануфактурного виробництва, що прийшов на зміну ремісничій праці. Аж до початку XVIII століття виробництво в Європі будувалося на основі цехів (гільдій ремісників). Цехи встановлювали обов'язкові правила виготовлення продукції, її кількість і номенклатуру. Цехам у містах належало монопольне право виробництва і продажу більшості промислових товарів. Це право мала контролювати міська влада. Щоб уникнути конкуренції, цехи перешкоджали вдосконаленню способів виробництва.

Однак у XVII столітті стало інтенсивно розвиватися промислове виробництво в сільській місцевості, де не діяли цехові обмеження. З давніх-давен селяни після закінчення жнив займалися прядінням, ткацтвом, шиттям, виробленням шкір і ін., перш за все, для власних потреб, але також і на продаж. Включення в XVII столітті торгового капіталу дало новий імпульс цьому виробництву. В Англії, у Франції, а потім і в інших країнах все більше селян-надомників стали працювати на замовлення купців-перекупників. Окремі селища і навіть цілі місцевості стали спеціалізуватися на конкретних видах виробництва. Скупник поступово перетворювався в організатора і координатора домашнього промислового виробництва, а домашнє сільське виробництво набувало характер розосередженого підприємства. Система розсіяних мануфактур була

дуже вигідна для купців-підприємців, оскільки селяни-надомники мали власні засоби виробництва і приміщення. До того ж їхня праця, як правило, обходилася набагато дешевше праці міських робітників. Так зародилося мануфактурне виробництво, яке до початку XVIII століття отримало значний розвиток. Поступово до сфери діяльності купців-підприємців стало належати й міське цехове ремесло.

Перехід до мануфактури сприяв швидкому зростанню продуктивності праці, оскільки виробничий процес був заснований на його поділі. У свою чергу поділ праці викликав потребу в раціональній організації виробничих процесів, яка неможлива без залучення сучасних досягнень науки і техніки. Якраз в цей час, в кінці XVII – початку XVIII століття, наука переживає період свого становлення – наукову революцію. Бурхливо розвивається природознавство, засноване на експериментальних дослідженнях і математичному описі явищ природи.

Найбільш швидке зростання промисловості в Європі спостерігалося в перших буржуазних державах – Голландії, Англії та Швеції, а також у Франції, де вже склався буржуазний устрій. Найбільш розвиненою в промисловому відношенні країною Європи була, безумовно, Англія.

У Росії в результаті перетворень Петра I в першій чверті XVIII століття також почало розвиватися мануфактурне виробництво. На відміну від Західної Європи його організовувало держава, в першу чергу для озброєння і обмундирування армії і будівництва флоту. Тому особливо великих успіхів досягнуто в металургійній і текстильній промисловості. За Петра I в Росії виникли нові галузі: суднобудування, прядіння, скляна і фаянсова справа, виробництво паперу. Через панування феодального ладу мануфактурна промисловість носила кріпосницький характер. Крім вільнонайманої праці, на мануфактурах використовувалася і примусова праця селян, які працювали на вотчинних підприємствах своїх поміщиків, а також приписаних до заводів селян.

ГЛАВА 6

Наукова революція XVII століття і епоха Просвітництва

6.1. Наукова революція XVII століття

Наступним кроком у розвитку науки стала так звана наукова революція. Найбільший внесок у її підготовку зробив великий італійський вчений Галілео Галілей, заклавши основи класичної механіки і опору матеріалів. Свої експериментальні дослідження він проводив на основних найпростіших задачах механіки, вивчаючи падіння важких тіл, їх рух по похилій площині, коливання маятника і балістичну задачу. Основною працею Галілея є «Бесіди про дві системи світу птолемеївську і коперниківську». Серед багатьох видатних вчених XVII століття, які внесли вклад в підготовку наукової революції можна відзначити наступних:

Голландський математик **Ісаак Бекман** (бл. 1570 – 1637), який незалежно від Галілея вивів закони швидкостей і відстаней при падінні тіл. Він також експериментально досліджував коливання натягнутої струни.

Марен Мерсенн (1588 – 1648) – французький фізик, математик і богослов. Він одним з перших відроджував експериментальні

методи в механіці, зокрема, досліджував коливання маятника і струни і вимірював швидкість звуку в повітрі. Запропонував схему дзеркального телескопа. Мерсенн вів переписку з усіма видатними вченими того часу з різних країн і завдяки цьому відігравав роль сполучної центру. У 1932 – 1970 роках видано 11 томів листів, адресованих Мерсенну. Діяльність вченого сприяла науковому спілкуванню – на основі гуртка Мерсенна в 1666 році була організована Паризька Академія наук.

Рене Декарт (латинізоване ім'я **Картезій**) (1596 – 1650) – французький філософ, фізик, математик і фізіолог. Заклав основи аналітичної геометрії, ввів систему координат, удосконалив алгебру. Вивів закон збереження кількості руху. Створив філософське вчення картезіанство.

П'єр Гассенді (1592 – 1655) – французький філософ-матеріаліст, математик і астроном. Свій курс філософії він будував таким чином, що спочатку викладав вчення Аристотеля, а потім показував його помилковість. Відкриття Коперника і твори Джордано Бруно остаточно переконали Гассенді в непридатність аристотелівської фізики і астрономії. За вченням Гассенді, все існуюче складається з атомів і порожнечі і знаходиться в просторі, як нескінченної можливості наповнення, і часі; час і простір ніким не створені і не можуть бути знищені, на відміну від атомів, які, за Гассенді, створені богом. Тіла складаються не з первинних атомів, а з їхніх сполук, які Гассенди називав «молекулами» (від слова moles – «маса»). Атомне вчення Гассенді було доброзичливо прийнято природодослідниками XVII століття. Багато з них, в тому числі Р. Бойль, І. Ньютон і Р. Гук, ґрунтуючись на побудовах Гассенді, викладали у своїх працях корпускулярні вчення.

П'єр Ферма (1601 – 1665) – французький математик, один із творців аналітичної геометрії і теорії чисел (теорема Ферма). Був автором праць з теорії ймовірностей, обчислення нескінченно малих і оптики (принцип Ферма). У створенні математичного аналізу є попередником Лейбніца і зводив задачу інтегрування до алгебраїчної.

Бенедетто Кастеллі (1577 – 1644) – італійський фізик і математик, друг і учень Галілея. Основні праці Кастеллі відносяться до гідравліки і гідрометрії. З творів Кастеллі найбільш відомо «Вимірювання поточної води» (1628), в якому він вперше виклав

основи гідрометрії. Він також продовжив дослідження Галілея в області гідростатики.

Учень Кастеллі і Галілея, математик і фізик **Еванджеліста Торрічеллі** (1608 – 1647). Відомий як автор концепції атмосферного тиску і продовжувач справи Галілея в області розробки нової механіки. У 1641 році Торрічеллі переїхав до Галілея в Арчетрі, де став його учнем і секретарем, а після смерті Галілея (1642) – його наступником на кафедрі математики і філософії Флорентійського університету. У 1644 році розвинув теорію атмосферного тиску, довів можливість отримання так званої «торрічеллівської порожнечі» і винайшов ртутний барометр.

Блез Паскаль (1623 – 1662) – французький математик, механік, фізик, літератор і філософ. Є одним із засновників математичного аналізу, теорії ймовірностей і проективної геометрії. Створив першу лічильну машину.

Джованні Альфонсо Бореллі (1608 – 1679) італійський вчений-універсал, основоположник біомеханіки, учень Кастеллі і Галілея, автор праць з фізики, медицини, астрономії, геології, математики та механіки. Бореллі одним з перших розглянув проблему динаміки планетних рухів, яку вирішив І. Ньютон, відкривши закон всесвітнього тяжіння.

Вінченцо Вівіані (1622 – 1703) – італійський фізик і математик. У 1639 році Вівіані стає учнем Галілея і спільно з Торрічеллі проводить різні фізичні досліди. Він став неоціненним помічником незрячого вченого, який в той час знаходився під наглядом інквізиції. Після смерті Галілея і Торрічеллі Вівіані продовжив наукові дослідження своїх наставників. Підготував до друку збірник праць Галілея і першу біографію вченого.

Нільс Стенсен (1638 – 1686) – данський анатом і геолог. Однією з головних його заслуг є пояснення ролі м’язів. Учений показав, що рухи здійснюються завдяки скороченню м’язів, які відбуваються самі собою. Стенсен зробив також великий внесок у розвиток палеонтології.

Християн Гюйгенс (1629 – 1695) – нідерландський вчений, математик, астроном і фізик, один з основоположників хвильової оптики. У 1665 – 1681 роках він працював в Парижі. Винайшов (1657) маятниковий годинник із спусковим механізмом, дав їх теорію, встановив закони коливань фізичного маятника, заклав

основи теорії удару. У 1678 році створив хвильову теорію світла (опубліковано в 1690 році), пояснив подвійне променезаломлення. Спільно з Робертом Гуком встановив постійні точки термометра. Удосконалив телескоп; сконструював окуляр, названий його ім'ям. Відкрив кільце у Сатурна і його супутник Титан. Автор трактату «Маятниковий годинник» (1673) й однієї з перших праць з теорії ймовірностей (1657).

У XVII столітті з'являються і перші спільноти – академії. Найстарша з них – **Академія деї Лінчеї** («Академія рисьооких») – була заснована в 1603 році в Римі графом Федеріко Чези і відразу стала інтелектуальним центром італійської науки. Найбільш авторитетним вченим академії був Галілей, який став її членом в 1611 році. Після смерті графа Чези 1630 році і суду інквізиції над Галілеєм (1633), діяльність академії пішла на спад, і в 1651 році Академія деї Лінчеї припинила своє існування.

Другою стала **Академія дель Чіменто** («Академія експерименту»), заснована у Флоренції в 1657 році на кошти Леопольда де Медічі. Одними з перших в Європі члени академії використовували в природознавстві експериментальні методи Галілея. У числі її перших членів були учні Галілея Вінченцо Вівіані і **Джованні Альфонсо Бореллі**, а також **Нільс Стенсен** – лікар великого герцога тосканського Фердинанда II.

У 1667 році Академія дель Чіменто видала італійською мовою опис багатьох дослідів над тиском повітря, пружністю води, теплотою, світлом, звуком, рухом тіл і т. д. Ці записки зіграли велику роль у розвитку науки в Європі. **Пітер ван Мушенбрук** (1692 – 1761) здійснив їх переклад латиною і збагатив своїми примітками. У тому ж 1667 році академія була розпущена.

Підвів підсумок наукової революції великий англійський учений **Ісаак Ньютон** (1643 – 1727). Він створив класичну фізику і заклав основи сучасного природознавства. Ньютон зробив рішучий крок у розвитку механіки. Він поставив перед собою грандіозне завдання – пояснити з єдиних позицій рух в Космосі і на Землі. «Експериментальним матеріалом» йому послужили закони Кеплера. Він вивів закон всесвітнього тяжіння і сформулював три аксіоми динаміки (закони Ньютона). Дав основні поняття механіки: маса, щільність, кількість руху, сила. Учений висунув концепцію абсолютного – єдиного простору і часу і розвинув ідеї відносності руху Галілея. Все це дозволило Ньютону пояснити рух планет

Сонячної системи, особливості руху Місяця, прецесії і стиснення Юпітера, форму Землі, описати явище припливів і відливів. Ньютонова модель Всесвіту залишалася незмінною аж до нової наукової революції початку XX століття.

Рис. 6.1. Е. Торрічеллі

Рис. 6.2. Ісаак Ньютон

Ньютон став творцем нової динаміки. Основоположним твором для класичної механіки є його праця «Математичні начала натуральної філософії», написана в 1686 році і опублікована 1687 року. У ній основоположник сучасного природознавства вводить основні поняття механіки і встановлює три аксіоми (закони Ньютона). При цьому під філософією автор, як і стародавні мислителі, розуміє сукупність всіх знань про природу і людину. Так що правильніше було б латинську назву «Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica» перекласти як «Математичні начала природознавства».

Першим поняттям у Ньютона вводиться маса тіла як кількість матерії. При цьому вчений вказує, що маса відома, якщо відома вага тіла. Він, на відміну від попередніх авторів, не плутає ці два поняття, а їх пропорційність доводить за допомогою експериментів з маятником. Кількість руху Ньютон вводить як добуток маси на швидкість, а точного визначення сили не дає.

Свої принципи Ньютон застосував на практиці. Першим завданням, яку він вирішив, була наступна: «Знаючи закони руху

планет визначити силу, яка виробляє їх рух». При цьому він використовує точні закони руху планет, знайдені Кеплером. Спочатку Ньютон вирішує цю задачу за допомогою створеного ним аналізу нескінченно малих. Однак в «Засадах» він наводить рішення, отримане традиційним геометричним методом. У результаті ним отримана сила, яка виражає закон всесвітнього тяжіння.

Тріумфом ньютонівської механіки стало відкриття Нептуна – восьмої планети сонячної системи. Математики англієць **Джон Адамс** і француз **Урбен Левер'є** незалежно один від одного, використовуючи закони Ньютона, розрахунковим шляхом за відхиленням Урана від своєї орбіти знайшли його положення на небі. У 1846 році німецькі астрономи **Йоганн Галле** і **Генріх д'Аррест** виявили його в телескоп. Слід зазначити, що Нептун неозброєним оком не видно, і відкрити його можна було тільки шляхом обчислень.

Ньютон відкрив дисперсію світла, хроматичну аберацію, досліджував інтерференцію і дифракцію, розвивав корпускулярну теорію світла, висловив гіпотезу, що поєднала корпускулярні і хвильові уявлення. Він продемонстрував, що потік світла, який здається нам білим, складається зі спектральних кольорів, на які його можна розділити за допомогою призми.

Геніальний твір Ньютона «Математичні початки натуральної філософії» ознаменувало наукову революцію, яка стала можливою завдяки динамічному розвитку суспільства, що вже досяг значного технологічного прогресу.

6.2. Створення аналізу нескінченно малих

Найважливішим досягненням математиків на межі XVIII століття стало створення аналізу нескінченно малих. Воно стало завершенням тривалого процесу і початком революційних перетворень, що змінили математику і підняли її роль в системі природничих наук. Основи для створення диференціального й інтегрального числення були закладені ще Евдоксом і Архімедом. Однак у прагненні до абсолютної строгості стародавні греки відмовилися від поняття нескінченність. На відміну від них математики XVII століття при обчисленні обсягів і визначенні центрів тяжіння різних фігур розглядали їх як суми нескінченно великого числа нескінченно малих елементів. При побудові дотичних вони розглядали криву як ламану лінію з нескінченно

великим числом нескінченно малих сторін. Це пов'язано з тим, що для вчених XVII століття математика була вже не вправою в логіці, а засобом вирішення практично важливих задач.

У пошуках загальних методів побудови дотичних, обчислення площ і обсягів брали участь найвидатніші математики, серед яких: І. Кеплер, Г. Галілей, Б. Кавальєрі, Е. Торрічеллі, Б. Паскаль, Дж. Валліс, Ж. Роберваль, П. ферма, П. Гассенді, Р. Декарт, І. Барроу та ін. Створення математичного аналізу стало, таким чином, результатом багатогранної творчості великої кількості вчених.

Одним з перших усвідомив, що максимум і мінімум функції досягається там, де швидкість зміни змінної величини наближається до нуля, П'єр Ферма. Тому завдання про пошуки екстремуму він зводить до побудови дотичної. У такий спосіб Ферма вирішив завдання про визначення вписаних в кулю конуса і циліндра найбільшого об'єму. Починаючи з робіт Ферма, математика знайшла нове застосування – відшукання максимуму і мінімуму, і почала використовуватися для оптимального вирішення технічних завдань і побудови оптимальних конструкцій.

Диференціальне та інтегральне числення виникли під впливом зрослих запитів природничих наук, передусім механіки, майже одночасно в працях І. Ньютона (у вигляді теорії флюксій) і **Готфріда Вільгельма Лейбніца** (1646 – 1716) (у формі обчислення диференціалів). Поява математичного аналізу перетворила математику в науку про змінні величини.

Ньютон не поспішав із публікацією своїх результатів в теорії флюксій. Хоча більшість їх були отримані в 60-і – 70-і роки XVII століття, його знамениті «Математичні початки натуральної філософії» були написані без цієї теорії. При цьому багато результатів ньютонівської механіки початково отримані саме за допомогою математичного аналізу. Причиною цього була недостатня логічна обґрунтованість нової математики.

Уперше в пресі диференціальне числення з'явилося в невеликому мемуарі Лейбніца в 1684 році. При цьому його вигляд багато в чому нагадував сучасний, зокрема, вже там введені символи dx і dy, сформульовані правила диференціювання ряду функцій. У 1686 році вийшов твір Лейбніца, присвячений інтегруванню багатьох елементарних функцій.

У 1693 році Лейбніц поширив нове числення на трансцендентні функції шляхом розкладання їх в ряди за допомогою методу

невизначених коефіцієнтів. А в 1696 році Лейбніц вирішив задачу про Брахістохрона – криву найкоротшого спуску, заклавши тим самим основи варіаційного числення.

На відміну від Ньютона, Лейбніц добре продумав термінологію, що відображає суть справи. У нього введені терміни диференціал, диференціальне числення, функція, координати, диференціальне рівняння, алгоритм. Поняття функції грає в математиці таку ж роль основного і самостійного предмету вивчення, як раніше поняття величини і числа. Однак і в працях Лейбніца проблема теоретичного обґрунтування аналізу нескінченно малих вирішена не була.

Ідеї Лейбніца були підхоплені братами Якобом та Йоганном Бернуллі, які багато зробили для розвитку математичного аналізу на початку XVIII століття. Ознайомившись у 1686 році з першим мемуаром Лейбніца по диференціальному підрахунку, вони вступили з ним у листування. Професор математики Базельського університету Якоб Бернуллі (1654 – 1705) застосував нові ідеї до вивчення властивостей ряду кривих. До занять математичним аналізом Якоб залучив і свого брата Йоганн Бернуллі (1667 – 1748). Спільно з ним він розвинув варіаційне числення. Вчений зробив великий внесок в аналітичну геометрію, теорію ймовірностей і теорію чисел. У 1691 році Бернуллі, Лейбніц і Гюйгенс опублікували рішення задачі про форму ланцюгової лінії (плоска крива, форма якої відповідає однорідній гнучкій нерозтяжній важкій нитці, закріпленій в обох кінцях і провисаючої під дією сили тяжіння). При цьому Бернуллі і Лейбніц користувалися диференціальним численням, а Гюйгенс, незнайомий з новим методом, вирішив її, застосовуючи старі підходи. Збіг результатів став прекрасним доказом правильності та корисності нових методів.

У 1696 році з’явився перший підручник математичного аналізу – «Аналіз нескінченно малих» маркіза **Гійома Франсуа де Лопіталя** (1661 – 1704). В основу цього підручника покладено конспект Бернуллі, переданий автором Лопиталю. Паризький аристократ зібрав докупи формальний апарат математичного аналізу і представив його в зручній для сприйняття формі, а також підібрав безліч прикладів і завдань. Нове числення дозволило математикам вирішувати безліч важких і практично важливих завдань.

У 1705 році після смерті Якоба Йоганн Бернуллі прийняв кафедру математики Базельського університету. Його досягнення в диференціальному і інтегральному обчисленнях тісно пов’язані з

роботами Я. Бернуллі і Лейбніца. Спільно з Лейбніцем, Йоганн Бернуллі розробив метод інтегрування раціональних функцій (шляхом розкладання на прості дроби), використовуючи при цьому комплексні змінні. У 1718 році він дав визначення терміна функції і ввів поняття «інтеграл». Найважливішим досягненням ученого є перший систематичний підручник з інтегрального числення, опублікований в 1742 році.

У працях І. Бернуллі отримала систематичне розвиток теорія рішення звичайних диференціальних рівнянь. Одне з таких рівнянь носить ім'я Бернуллі. Надалі роботу в цьому напрямку продовжив **Вінченцо де Ріккаті** (1707 – 1775). Він увів гіперболічні функції і застосував до завдань інтегрального числення теорію рядів.

Й. Бернуллі також вивів метод знаходження границь функцій, що розкриває невизначеності виду 0/0 і ∞/∞, який, завдяки виданому підручнику, отримав назву «правило Лопіталя».

У середині XVIII століття зароджується лінійна алгебра. Її основи заклав учень Йоганн Бернуллі Габріель Крамер (1704 – 1752). Швейцарський вчений запропонував спосіб вирішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь з квадратною матрицею за допомогою визначника. У трактаті «Введення в аналіз алгебраїчних кривих», опублікованому в 1750 р, він вперше довів, що крива алгебри n-го порядку в загальному випадку повністю визначена, якщо задані її $n\ (n + 3) / 2$ точок. Для доказу Крамер будує систему лінійних рівнянь, яку вирішує за допомогою алгоритму, названого пізніше його ім'ям. При цьому Крамер дав точний алгоритм обчислення визначника. Термін визначник (детермінант) увів в обіг **Карл Фрідріх Гаусс** (1777 – 1855) у 1801 році.

6.3. Поява перших обчислювальних пристроїв

У XVII столітті з'являються обчислювальні пристрої, здатні істотно полегшити працю розраховувача. Перші кроки у створенні арифмометрів зробив геніальний Леонардо да Вінчі. У його працях були виявлені ескізні нариси сумуючої обчислювальної машини на зубчастих колесах, здатної складати 13-розрядні десяткові числа. Фахівці американської фірми IBM виконали реконструкцію машини і переконалися в повній її спроможності. Цей перший механічний цифровий суматор з ручним керуванням є прообразом майбутнього електронного суматора – найважливішого елемента сучасних ЕОМ.

Проте, як і багато інших винаходи Леонардо, його арифмометр залишився тільки у вигляді ескізів. Недостатній рівень розвитку техніки не дозволив реалізувати його задуми. Проте, наука XVI століття відчувала потребу в проведенні складних розрахунків, зокрема множення і ділення багатозначних чисел. Шотландський математик **Джон Непер** (1550 – 1617) запропонував рахунковий прилад (**неперові палички)**, що складався з 10 паличок, які мали форму подовженого прямокутного паралелепіпеда. У ньому замість складної операції множення використовується процес складання, що базується на застосуванні спеціальних таблиць. Завдяки цій схемі, трудомісткий процес поділу, хоча і з набагато меншими зручностями також може замінюватися на операцію віднімання. Цей винахід дозволив помітно полегшити роботу обчислювачам.

Палички Непера стали поштовхом до появи новій арифметичної дії – логарифмів. Незабаром після їх відкриття у 1622 році **Вільямом Отредом** (1575 – 1660) була винайдена **логарифмічна лінійка**. Вона дозволяла виконувати кілька математичних операцій, в тому числі множення і ділення чисел, піднесення до ступеня (найчастіше в квадрат та куб) і обчислення квадратних і кубічних коренів, обчислення логарифмів, тригонометричних функцій і інші операції. Принцип дії логарифмічної лінійки заснований на тому, що множення і ділення чисел замінюється відповідно додаванням і відніманням їх логарифмів. Вона належить до аналогових обчислювальних пристроїв.

Рис. 6.3. Счетные палочки Непера

Перша **механічна обчислювальна машина** була виготовлена в 1623 році професором математики **Вільгельмом Шиккардом**

(1592 – 1636). У ній були механізовані операції додавання і віднімання, а множення і ділення виконувалося з елементами механізації. Але машина Шиккарда незабаром згоріла під час пожежі, не збереглися також і її креслення. Тому пріоритет у створенні працюючого механічного обчислювального пристрою закріплений за Блезом Паскалем, котрий виготовив у 1642 році сумуючу машину. Його механічний «комп'ютер» міг складати і віднімати десяткові цифри. **«Паскаліна»** – так називали машину – складалася з набору вертикально встановлених коліс з нанесеними на них цифрами від 0 до 9. При повному обороті колеса воно зчіплювалося із сусіднім колесом і повертало його на одну поділку. Число коліс визначало число розрядів – так, два колеса дозволяли рахувати до 99, три – вже до 999 і так далі. «Паскаліна» призначалася для роботи з 6–8-розрядними числами, мала розміри 36×13×8 сантиметрів. Паскаль отримав королівський привілей на виробництво машини, було створено приблизно 50 її зразків, але практичного застосування ці пристрої не знайшли.

Більш практичною стала обчислювальна машина Вільгельма Готфріда Лейбніца, здатна не тільки складати, а й множити 12-розрядні десяткові числа. Ідею механічного множення без послідовного додавання великий німецький вчений висловив 1673 року. До зубчастих коліс він додав ступінчастий валик, що дозволяє здійснювати множення і ділення. У 1694 році Лейбніц побудував остаточний варіант механічного калькулятора. Арифмометр Лейбніца мав значні розміри: 100×30×20 см і вимагав для установки спеціального столу. Але саме дещо видозмінені колеса Лейбніца стали основою масових рахункових приладів.

Рис. 6.4. Машина Паскаля

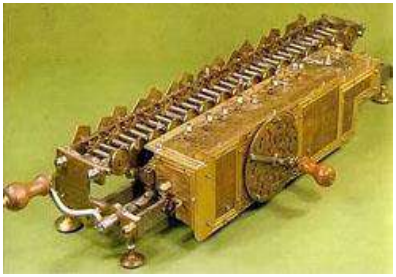

Рис. 6.5. Калькулятор Лейбніца

6.4. Епоха Просвітництва

Після відкриттів епохи Відродження і наукової революції в розвитку науки відбувся певний спад. Великий Ньютон набагато випередив у своїх працях сучасників, а його праці виглядають досконало і завершено. Тому знадобився певний час для того, щоб вчені змогли повною мірою скористатися новим математичним апаратом і класичної механікою. Спаду інтересу до науки сприяв і занепад дворянства, на зміну якому прийшов новий клас буржуазії, яка тоді ще не усвідомила користі науки для промисловості. Протягом першої половини XVIII століття промисловість, заснована в більшості випадків ще на ручній праці, не мала потреби в досягненнях науки. Проте в другій половині XVIII століття ситуація почала змінюватися. Промислова революція стимулювала підйом наукової діяльності та почала давати їй підтримку. У середовищі буржуазії й освіченого дворянства зростало прагнення використовувати досягнення науки для розвитку мануфактур. Інтерес до науки стає більш практичним.

Під впливом наукової революції XVII століття наукові знання стали широко розповсюджуватися в Європі. Цей інтелектуальний рух отримав назву «**Епоха Просвітництва**». В основі філософії Просвітництва лежала критика існуючих в той час традиційних інститутів, звичаїв і моралі. На перший план виходять принципи раціоналізму і вільнодумства. Просвітництво похитнуло авторитет аристократії і церкви, а також дуже вплинуло на подальші зміни в етиці та соціальному житті Європи і Америки. Під впливом ідей Просвітництва в багатьох країнах проводилися реформи, що перебудовували життя суспільства. Настала епоха освіченого абсолютизму. Але найбільш значним наслідком ідей Просвітництва вважаються Американська і Велика французька революції. Саме принципи Просвітництва були покладені в основу американської «**Декларації незалежності**» і французької «**Декларації прав людини і громадянина**». В епоху Просвітництва відбувається відмова від релігійного світорозуміння і звернення до розуму як до єдиного критерію пізнання людини і суспільства. Вперше в історії було поставлено питання про практичне використання досягнень науки в інтересах суспільного розвитку.

У 1728 році англійський перекладач і книговидавець **Ефраїм Чемберс** (1680 – 1740) підготував двотомний енциклопедичний словник під назвою «Циклопедія або загальний словник ремесел і

наук». Книга стала дуже популярною і витримала п'ять видань, а її автор був прийнятий до Лондонського королівського товариства. Паризький видавець А. Ф. Ле Бретон залучив до перекладу Циклопедії французькою мовою філософа Дені Дідро та математика і механіка Жана Лерона д'Аламбера. Однак ці вчені перекладом не обмежилися, вони збільшили обсяг словника і внесли до нього полемічні замітки. Дідро написав для нього 6000 статей, а д'Аламбер – 1600. З головними редакторами співпрацювали філософи Вольтер, Руссо, Монтеск'є, Гольбах, скульптор Фальконе, архітектор Блондель й інші. Робота тривала майже тридцять років (1751 – 1780). Перше видання містило 17 томів статей та 11 томів ілюстрацій, а тираж в 4 тисячі примірників розійшовся дуже швидко. Наступне видання вийшло меншим форматом, на папері більш низької якості і з меншою кількістю ілюстрацій. Зате ці заходи зробили видання доступним не тільки для заможних читачів, а й для студентів.

«Енциклопедія» Дідро зібрала воєдино все накопичене людством до того часу знання. У ньому в доступній формі пояснювалися всі сторони світу, життя, суспільства, наук, ремесла і техніки, повсякденних речей. «Енциклопедія» стала не просто довідковою книгою, але зіграла величезну роль в поширенні ідей Просвітництва та ідеологічній підготовці Французької революції. Французькі просвітителі стали «володарями думок» суспільства. Французька освітня література в особі Вольтера, Монтеск'є, Руссо, Дідро та ін. письменників отримала в XVIII столітті загальноєвропейське значення.

У другій половині XVIII століття з'являються вчені нового типу, які прагнуть поширювати знання, популяризувати його. Тепер знання повинно бути доступно всім і мати практичну користь, а не бути виключною власністю обраних і посвячених. Воно стає надбанням широких верств суспільства, предметом громадських дискусій. До знань отримують доступ і жінки, які раніше не мали можливості вчитися. Латина перестала бути науковою мовою, її місце в європейській науці займає мова французька. Популярна і ненаукова література писалася національними мовами.

6.5. Поява академій наук

У XVIII столітті центрами розвитку науки стають не університети, як це було в епоху Середньовіччя і Відродження, а академії наук. Серед них особливо можна виділити Паризьку, Берлінську і Петербурзьку академії. Викладання в університетах

мало менше значення. Це був період, коли деякі з провідних європейських країн керувалися освіченими деспотами: серед них прусський король Фрідріх II, російська імператриця Катерина II і французькі королі Людовик XV та Людовик XVI. Ці монархи любили оточувати себе вченими людьми і розуміли значення природознавства і прикладної математики в підвищенні боєздатності армії і поліпшенні мануфактур, природно, що уряди фінансували через академії наук, перш за все, роботи прикладного характеру. Наприклад, відмінні якості французького флоту пов'язані з тим, що при конструюванні кораблів суднобудівники частково спиралися на математичної теорії. Багато робіт Ейлера мають прикладне значення для армії і флоту. Астрономія також користується заступництвом королів та імператорів.

У 1662 році за зразком італійських академій було створено **Лондонське королівське товариство**, а в 1666 році на основі гуртка Мерсенна була організована **Королівська** (її часто називають **Паризькою**) **академія наук**. Ініціатором її створення став глава уряду Людовика XIV Жан-Батист Кольбер, який сприяв розвитку національного флоту, торгівлі і промисловості.

У першій половині XVIII століття наука поширюється широко за межі Англії, Франції та Голландії – країн, де вона розвивалася в XVII столітті. Завдяки зусиллям Лейбніца і заступництву прусського короля Фрідріха-Вільгельма I в Берліні в 1700 році створюється вчене товариство. Однак король відмовився його фінансувати, надавши натомість монопольне право на видання календарів. І тільки коли в 1740 році королем став Фрідріх II, наука отримала фінансування, в 1744 році товариство було перейменовано в Королівську Академію наук. Академія отримала лабораторії, до неї були запрошені найвидатніші вчені. У XVIII столітті там працювали Л. Ейлер, Вольтер, Мопертюї і Лагранж. Берлінська академія наук стала одним з найавторитетніших наукових установ.

Пізніше академії наук з'являються в Австрії і різних державах Німеччини. У Швейцарії важливим науковим центром був Базель – вільне імперське місто з 1263 року. Науки і мистецтва процвітали в Базелі, як і в голландських містах, під управлінням торгової буржуазії. У XVII столітті з Антверпена в Базель, рятуючись від іспанців, переїхала купецька сім'я Бернуллі. Цій родині довелося дати світові цілу плеяду видатних вчених. Родоначальниками династії стали два математика, Якоб і Йоганн Бернуллі. Вони були

найвидатнішими учнями Лейбніца. У 1687 році Якоб Бернуллі (1654 – 1705) зайняв кафедру математики в Базельському університеті, тоді ж він почав листуватися з Лейбніцем. Йоганн Бернуллі (1667 – 1748) в 1697 році став професором в Гронінгені (Голландія), а після смерті брата Якоба перейшов на його кафедру в Базельському університеті, де викладав сорок три роки.

У 1724 році указом імператора Петра I була заснована **Петербурзька академія наук**. За структурою вона відрізнялася від західноєвропейських академій, оскільки повинна була поєднувати функції наукового дослідження і навчання. Для цього при ній були створені Академічний університет і гімназія. Академія була державною установою, і її члени повинні були забезпечувати науково-технічне обслуговування держави.

Серед перших академіків були сини Йоганна Бернуллі – Микола (по кафедрі механіки) і Данило (по кафедрі фізіології). Після смерті Миколи Данило зайняв його місце по кафедрі механіки, а на своє запропонував прийняти Леонарда Ейлера, який і став академіком в 1727 році, коли йому виповнилося 20 років.

У 1739 році була організована **Шведська Королівська академія наук**. Одним з її організаторів був **Карл Лінней** (1707 – 1778) – творець єдиної системи класифікації рослинного і тваринного світу. Він узагальнив і впорядкував усі попередні знання в області біології. Однією з головних заслуг Ліннея є введення точної термінології при описі біологічних об’єктів. В якості вихідної категорії в систематиці стало виділення біологічного виду на основі розроблених критеріїв віднесення природних об’єктів до одного виду. У Швеції Ліннея також шанують як одного з творців літературної шведської мови. Окрім того, він сприяв введенню викладання природничих наук в систему університетської освіти.

Створення цих наукових товариств, а також видання наукових журналів дозволяло швидко поширювати відомості про кожне наукове відкриття, даючи можливість дослідникам використовувати новітню інформацію. Співпраця вчених і публікація результатів досліджень прискорила розвиток наукового прогресу. У результаті цієї «революції» в XVI – XVII століттях, наука стає одним з найяскравіших прикладів діяльності на благо людини. З цього моменту наукові знання набули незворотного характеру, а їх обсяг, так само як і кількість вчених подвоюється кожні 10 – 15 років.

ГЛАВА 7

XVIII століття – аналітичний період розвитку науки

7.1. Досягнення в галузі математичного аналізу

Друга половина XVIII століття стає дуже плідною для розвитку наук, особливо бурхливо розвивається математика. Математичний аналіз, який культивувала школа Лейбніца, стає апаратом дослідника в механіці та в інших науках. Однією з характерних рис розвитку математичного аналізу у XVIII столітті було його розгалуження на декілька наук: диференціальне та інтегральне числення, теорію диференціальних рівнянь, які й собі розділилися на вчення про звичайні диференціальні рівняння і про рівняння в часткових похідних, варіаційне числення, теорію спеціальних функцій, теорію функцій комплексного змінного. Виділяється також вчення про нескінченні ряди. У межах диференціального й інтегрального числення в якості нового відділу виростає аналіз функцій багатьох змінних.

Серед математиків можна виділити синів Йоганна Бернуллі Миколу і Данила, які були в 1725 році запрошені до Санкт-Петербурзької академії наук. **Микола Бернуллі** (1695 – 1726) встиг в Петербурзі написати всього одну роботу з теорії ймовірностей.

Задача, яку він запропонував, відома як Петербурзька задача (або Петербурзький парадокс).

Данило Бернуллі (1700 – 1782) працював в Петербурзі до 1733 року, після чого повернувся на батьківщину і до 1777 року був професором Базельського університету. Там його діяльність була присвячена математиці, астрономії, фізиці та гідродинаміці. Д. Бернуллі був академіком (з 1725 року), а з 1733 – почесним членом Петербурзької академії наук, членом академій: Болонської (1724), Берлінської (1747), Паризької (1748), Лондонського Королівського товариства (1750).

Твір «Гідродинаміка» з'явився в 1738 році. У ньому вчений вивів рівняння стаціонарної течії нестисливої рідини (рівняння Бернуллі), що лежить в основі динаміки рідин і газів. У тому ж році він заклав основи кінетичної теорії газів. З точки зору молекулярної теорії, стверджуючи, що причиною тиску газу є тепловий рух молекул, він пояснив закон Бойля–Маріотта.

Д. Бернуллі також належить одна з перших формулювань закону збереження енергії (до середини XX століття вона називалася живою силою), а також (одночасно з Ейлером) перше формулювання закону збереження моменту кількості руху (1746).

Разом з д'Аламбером, Ейлером і Лагранжем Д. Бернуллі займався найважливішою для розвитку математики і теорії коливань завданням про коливання натягнутої струни – першим завданням, яке вирішується за допомогою диференціального рівняння в частинних похідних. Таким чином, поряд з д'Аламбером і Ейлером, Д. Бернуллі є засновником математичної фізики. У теорії коливань цей видатний вчений увів поняття гармонійного коливання і принцип суперпозиції коливань.

Д. Бернуллі першим в 1768 році застосував математичний аналіз до завдань теорії ймовірностей (до цього використовувалися тільки комбінаторний підхід). Він опублікував ряд досліджень з теорії ймовірностей, розглянувши із застосуванням імовірнісних методів ряд практично важливих задач. Вчений також просунув математичну статистику, розглянувши із застосуванням імовірнісних методів ряд практично важливих задач.

З Базеля вийшов також найплодовитіший математик всіх часів **Леонард Ейлер** (1707 – 1783). З 1727 до 1741 року він працював в Петербурзькій академії, з 1741 до 1766 року Ейлер знаходився в Берлінській академії під особливим покровительством Фрідріха II, а

в 1766 році, під час правління імператриці Катерини II, повернувся до Петербурга, де і працював до самої смерті в 1783 році. Хоча в 1735 році він втратив одне око, а в 1766-м – друге, це не вплинуло на його продуктивність. Володіючи феноменальними працездатністю і пам'яттю, незрячий учений продовжував диктувати свої праці. Друкарня Петербурзької академії не встигала за ним, і публікувала праці Ейлер протягом 47 років після його смерті. Всього він написав близько 850 наукових праць, серед яких два десятка об'ємних книг.

Рис. 7.1. Данило Бернуллі

Рис. 7.2. Леонард Ейлер

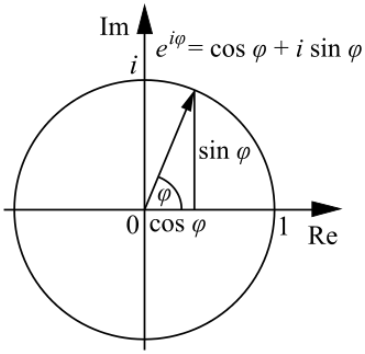

Рис. 7.3. Формула Эйлера

Наукові інтереси Ейлера належали до всіх областей природознавства, але основним полем його діяльності була математика і механіка. Саме Ейлеру належить перше місце в розробці диференціального й інтегрального числення, як і всього аналізу в цілому. У математиці XVIII століття можна назвати століттям Ейлера. Йому належать помітні результати у всіх областях математики, існуючих у його час. Великий вчений є одним з

основоположників диференціального й інтегрального числення, а також варіаційного обчислення. Ейлер запропонував численні прийоми інтегрування і рішення диференціальних рівнянь. Крім того він створив кілька нових математичних дисциплін – теорію чисел, диференціальну геометрію поверхонь, теорію комплексних функцій, де він увів позначення і для уявної одиниці і отримав фундаментальну формулу Ейлера $e^{i\pi} = -1$. Він також заклав основи теорії спеціальних функцій. Йому належать операція порівняння з цілого модулю, повна теорія безперервних дробів, число е, ряд спеціальних функцій і багато іншого. Завдяки Ейлеру в математику увійшла загальна теорія рядів.

Ейлер вперше об'єднав окремі розділи математики: аналіз, алгебру, геометрію, тригонометрію, теорію чисел і інші дисципліни в єдину систему. У деяких областях математики викладання «за Ейлером» збереглося до цих пір. Вчений також заклав фундамент аналітичної механіки.

Жан Лерон д'Аламбер (1717 – 1783) – французький вчений-енциклопедист. Широко відомий як філософ, математик і механік. Член Паризької академії наук (1740), Французької Академії (1754), Петербурзької (1764) та інших академій. Основні математичні дослідження д'Аламбера відносяться до теорії диференціальних рівнянь. Зокрема він дав метод рішення диференціального рівняння 2-го порядку в приватних похідних, що описує поперечні коливання струни (хвильового рівняння).

Видатний внесок д'Аламбер зробив також у небесну механіку. Він обґрунтував теорію збудженого руху планет і першим строго пояснив теорію випередження рівнодення і нутації.

Однією з основних проблем, яку вирішували найзначніші математики XVIII століття, була теорія руху Місяця. Її розробка мала глибоке теоретичне значення і була важлива для практики. Практичне значення цієї теорії було пов'язано зі створенням методу досить точного визначення географічної довготи місць. В основному теорія руху Місяця була створена в середині століття Л. Ейлером, **Алексісом Клодом Клеро** (1713 – 1765) і д'Аламбером. У низці мемуарів 1747 – 1756 років д'Аламбер незалежно від своїх двох великих сучасників дав теорію руху Місяця з ретельно обчисленими таблицями, які він поступово уточнював і поліпшував. У трактаті, що вийшов у світ в 1749 році, д'Аламбер показав, що не тільки явище прецесії, раніше математично досліджене Ньютоном, а й

явище нутації, незадовго до цього виявлене Брадлеєм, обумовлені гравітаційним впливом Місяця.

Рис. 7.4. Жан Лерон д'Аламбер

Рис. 7.5. Жозеф Луї Лагранж

Жозеф Луї Лагранж (1736 – 1813). Великий математик і механік народився в Туріні, закінчив Туринський університет і в 17 років почав викладати в Артилерійській школі в Туріні, а в 19 років став її професором. У 1766 році перебирається до Берліна, де спочатку керує фізико-математичним відділенням Берлінської академії наук, а пізніше стає її президентом замість Ейлера, який повернувся в Петербург. Берлінський період був найбільш плідним у творчості Лагранжа. Там він підготував свою знамениту «Аналітичну механіку», яка була опублікована 1788 року вже після того, як автор переїхав до Парижа. У Франції Лагранж веде активну викладацьку роботу, а також вирішує і практичні завдання.

У XVIII столітті головним напрямком в математиці стає розвиток аналізу нескінченно малих. З методу, придуманого для вирішення певного класу задач, він перетворився в універсальний метод аналізу функцій. Його успіхи у вирішенні багатьох завдань змусили критиків поганої його обґрунтованості замовкнути. Головним методом дослідження в природознавстві стало складання і рішення диференціальних рівнянь. З використанням цього підходу успішно розвиваються аналітична механіка, механіка рідини і газу та інші.

Наприкінці XVIII століття відбувається поділ математики на «чисту» і прикладну. При цьому чиста математика займається дослідженням математичних проблем самих по собі, а прикладна вирішенням конкретних завдань природознавства і техніки. Відповідно і в університетах з'явилися кафедри чистої і прикладної математики. У XVIII столітті математикою займаються вже не аматори, а професіонали, які отримують матеріальну винагороду за вирішення математичних проблем, а не тільки за викладання математики. XIX століття принесло подальший розвиток професії математика.

7.2. Створення аналітичної механіки

Хоча «Начала» Ньютона й означали створення нової механіки, фізичні основи, прийняті ним, були для багатьох сучасників сумнівні або навіть неприйнятні, а використовуваний математичний апарат застарілим. Що стосується трьох законів, то перший – закон інерції – був даний у формулюванні Декарта, а сам Ньютон називав його законом Галілея. Другий закон не ставили Ньютону в особливу заслугу, вважаючи, що він природно випливав з накопичених раніше результатів. Те, що цей закон дає диференціальне рівняння руху точки, оцінили пізніше. Третій закон, що дає можливість вирішувати завдання для невільної матеріальної точки, також оцінили пізніше. У зв'язку з цим протягом багатьох десятиліть розвиток механіки йшов не під впливом «Начал», а спирався на праці інших вчених, перш за все Декарта і Гюйгенса. Оцінити все значення праці Ньютона змогли тільки в XIX столітті.

У континентальній Європі в XVIII столітті апаратом дослідника в механіці стає математичний аналіз. Завдяки цьому з'явилася аналітична механіка, в справі створення якої найбільші заслуги належать д'Аламберу, Ейлеру і Лагранжуа. Цьому передували праці багатьох видатних вчених, які формулювали загальні закони динаміки, зокрема запропонований Р. Декартом і Х. Гюйгенсом закон збереження кількості руху.

Другим був закон збереження живих сил (так до середини XX століття називалася кінетична енергія). Галілей і Гюйгенс використовували окремий випадок цього закону. Лейбніц сформулював його вже в загальному вигляді і протиставив закону збереження кількості руху. Він поклав закон збереження живих сил

в основу механіки і застосовував його для вирішення деяких завдань. Широко застосовували його також Йоганн і Данило Бернуллі. Для загального випадку системи матеріальних точок цей закон був отриманий Лагранжем.

Закон збереження моменту кількості руху вперше з'являється у Кеплера у формі закону площ (другий закон Кеплера). У 1747 році французький вчений **Патрік д'Арсі** (1725 – 1779) сформулював його для системи тіл.

Закони збереження спочатку висувалися як загальні закони природи, але в подальшому вони стали наслідком загальних теорем динаміки.

Протягом багатьох років в якості основних висувалися різні принципи (аксіоми), вирішувалися приватні завдання, однак загальних методів вирішення завдань не існувало. Першим запропонував універсальний спосіб складання діфферен¬ціальних рівнянь руху Ж. д'Аламбер. У 1743 році була опублікована його основна праця з механіки – знаменитий «Трактат про динаміку». У першій частині трактату д'Аламбер формулює основні принципи механіки, якими він вважає **принцип інерції, принцип додавання рухів і принцип рівноваги**.

Принцип інерції сформульований окремо для випадку спокою і для випадку рівномірного прямолінійного руху. Принцип додавання рухів являє собою закон додавання швидкостей за правилом паралелограма. «Принцип рівноваги» сформульований у вигляді такої теореми: «Якщо два тіла, що володіють швидкостями, обернено пропорційними їх масам, мають протилежні напрямки, так що одне тіло не може рухатися, не зрушуючи з місця інше тіло, то між цими тілами матиме місце рівновага».

У другій частині трактату д'Аламбер запропонував загальний метод складання диференціальних рівнянь руху будь-яких матеріальних систем, заснований на зведенні задачі динаміки до статики. Тут для будь-якої системи матеріальних точок формулюється правило, назване згодом принципом д'Аламбера. Згідно з цим правилом, прикладені до точок системи сили можна розкласти на «діючі», тобто ті, що викликають прискорення системи, і «втрачені», необхідні для рівноваги системи.

Високо оцінив значення праці д'Аламбера Лагранж. Він писав: «Твір д'Аламбера «Трактат по динаміці», що з'явився в 1743 році,

поклав край усім подібного роду викликам вчених; в ньому запропонований прямий і загальний метод, за допомогою якого можна вирішити, чи, в усякому разі, висловити у вигляді рівнянь, всі проблеми механіки, які тільки можна собі уявити. Цей метод зводить всі закони руху тіл до законів їх рівноваги і таким чином зводить динаміку до статики».

У побудові аналітичного апарату, заснованого на принципі прискорюючих сил, головна заслуга належить Леонарду Ейлеру. У 1736 році було видано його двотомний твір «Механіка» – перша велика робота, в якій до вчення про рух був застосований математичний аналіз. У ньому розроблено аналітичний апарат динаміки матеріальної точки і введені сили інерції. Ейлер використовує запропонований Маклореном метод розкладання рухів і сил за трьома взаємно перпендикулярними (декартовими) координатними осями. У результаті задача про рух матеріальної точки зводиться до вирішення трьох диференціальних рівнянь.

У роботі «Scientia Navalis» («Корабельна наука»), яка була видана в 1743 році, Л. Ейлер розглядає задачу коливань і стійкості корабля і тим самим закладає основи теорії коливань і статичної стійкості. Через 20 років дослідження Ейлера привели до конкретних рекомендацій для кораблебудівників. Ейлер є також основоположником механіки твердого тіла. У творі «Теорія руху твердих тіл» він послідовно розглядає поступальний і обертальний рух, а потім і загальний випадок руху твердого тіла. У результаті вчений вперше виводить рівняння руху вільного твердого тіла, використовуючи для цього оригінальні способи опису положення твердого тіла (кути Ейлера). Ейлер також ввів в механіку основні поняття динаміки твердого тіла, в тому числі моменти інерції і вільні осі обертання.

Новий універсальний апарат для вирішення завдань механіки створив Жозеф Луї Лагранж. Він підійшов до механіки як до математичної дисципліни і поставив собі за мету написати книгу з механіки, в якій не буде жодного малюнка. Такою книгою стала «Аналітична механіка» («Mécanique analytique»), видана в Парижі в 1788 році. Про неї автор пише: «У цій роботі абсолютно відсутні будь-які креслення. Викладені мною методи не вимагають ні побудов, ні геометричних або механічних міркувань, вони вимагають тільки алгебраїчних операцій, підпорядкованих

планомірному і однаковому ходу. Усі, хто люблять аналіз, із задоволенням переконаються в тому, що механіка стає новою галуззю аналізу, і будуть мені вдячні за те, що цим шляхом я розширив область його застосування».

В «Аналітичній механіці» Лагранж підвів підсумок всьому, що було зроблено в механіці в XVIII столітті, і сформулював новий підхід до вирішення її проблем. У вченні про рівновагу він відмовився від геометричних методів статики і запропонував принцип можливих переміщень (принцип Лагранжа). У динаміці Лагранж, застосувавши одночасно принцип д'Аламбера і принцип можливих переміщень, отримав загальне варіаційне рівняння динаміки, яке також носить назву принципу д'Аламбера – Лагранжа. Нарешті, він ввів в ужиток поняття узагальнених координат* і отримав рівняння руху в найбільш зручній формі – рівняння Лагранжа II роду.

Тривалий час апарат аналітичної механіки обмежено застосовувався для вирішення завдань. Перешкодою служили громіздкі викладки, необхідні для отримання рівнянь руху при дослідженні досить складної механічної системи. І тільки впровадження систем комп'ютерної алгебри, здатних в якості вихідних даних сприймати аналітичні вирази і щоб між ними чинити не тільки алгебраїчні дії, але і диференціювання, дозволили для дискретних механічних систем будь-якої складності будувати рівняння руху, використовуючи апарат аналітичної механіки.

На основі механіки Ньютона зароджується нова наука – теорія механічних коливань. Саме з її допомогою було вирішено багато конкретних завдань. Л. Ейлер в роботі «Корабельна наука» заклав основи теорії статичної стійкості і теорії малих коливань. Д'Аламбер в своїх численних працях розглянув окремі завдання, такі як коливання маятника, плаваючого тіла, пружини і т.д. Ш. Кулон використав крутильні коливання дроту для визначення жорсткості своїх знаменитих крутильних ваг.

Серед завдань першого періоду особливе місце займає задача про поперечні коливання натягнутої струни. Експериментальні дослідження були проведені ще в XVII столітті І. Бекманом і М. Мерсенном. Встановлені ними закономірності були в 1715 році

---

* Терміни узагальнені координати, узагальнені швидкості і узагальнені сили були введені У. Томсоном і П. Г. Тетом у «Трактаті з натуральної філософії»

теоретично підтверджені Бруком Тейлором, який звів завдання до системи з одним ступенем свободи і вирішив відповідне диференціальне рівняння.

У гострій полеміці, яка розгорнулася пізніше між д'Аламбером, Ейлером, Д. Бернуллі і Лагранжем, не тільки була вирішена ця задача, але і сформувалися поняття періоду і частоти коливань, форми коливань, почали вживати термін малі коливання, сформульований принцип суперпозиції рішень, зроблені спроби розкладання рішення в тригонометричний ряд. Для розвитку механіки важливим результатом стало застосування принципу д'Аламбера для запису диференціальних рівнянь руху, а для математики – рішення диференціальних рівнянь в частинних похідних і уточнення найважливішого в аналізі поняття – функції.

Таким чином, протягом XVIII століття в теорії коливань були вироблені основні фізичні схеми і роз'яснені принципи, які є важливими для математичного аналізу проблем. Однак, незважаючи на певні успіхи у вирішенні окремих завдань, вчені не створили єдиної теорії коливань. Цей найважливіший крок у розвитку механіки вдалося зробити Лагранжу.

Саме з роботами Лагранжа пов'язаний початок другого періоду розвитку теорії коливань. Якщо до нього всі вчені, включаючи великих Ейлера і д'Аламбера, вирішували тільки окремі завдання теорії коливань, складаючи для кожного завдання нові рівняння, то творець аналітичної механіки, розвиваючи і поглиблюючи роботи своїх попередників в області теорії коливань і стійкості, заклав основи загальної аналітичної теорії малих коливань. Рівняння Лагранжа II роду стали основою для створення теорії малих коливань, що описуються лінійними диференціальними рівняннями з постійними коефіцієнтами. Надалі вона отримала назву теорії лінійних коливань. Лінійність зрідка властива механічній системі, а в більшості випадків є результатом її спрощення. Простота теорії лінійних диференціальних рівнянь з постійними коефіцієнтами, що описують коливання, зумовила їх широке поширення в техніці.

У своїй геніальній праці «Аналітична механіка» Лагранж отримав рівняння частот в загальному вигляді (його часто називають віковим рівнянням). Лагранж надав твердженням Д. Бернуллі про те, що загальне коливальний рух системи дискретних точок полягає в одночасному здійсненні всіх її гармонійних коливань, вид математичної теореми, скориставшись теорією інтегрування

диференціальних рівнянь з постійними коефіцієнтами, створеної Ейлером в 40-і роки XVIII століття і досягненнями д'Аламбера, який показав, як інтегруються системи таких рівнянь.

Разом з тим великий вчений повторює помилку, допущену д'Аламбером в 1761 році, про те, що кратні коріння вікового рівняння відповідають нестійкому рішенню, так як нібито при цьому в рішенні з'являються вікові або секулярні члени, що містять t не під знаком синуса або косинуса . У зв'язку з цим і д'Аламбер, і Лагранж вважали, що рівняння частот не може мати кратних коренів (парадокс д'Аламбера – Лагранжа). Досить було Лагранжу розглянути хоча б сферичний маятник або коливання стержня, перетин якого є круглим або квадратним, щоб переконатися, що кратні частоти в консервативних механічних системах можливі. Однак Лагранж завжди нехтував прикладами, в той час як Ньютон стверджував, що приклади не менш повчальні, ніж теоретичні викладки. Леонард Ейлер же завжди починав свої роботи з прикладів і лише потім переходив до теорії.

Помилка, допущена в першому виданні «Аналітичної механіки» повторилася і в другому виданні (1812), і в третьому (1853), виданим під редакцією знаменитого математика Жозефа Бертрана після смерті Лагранжа. Науковий авторитет д'Аламбера і Лагранжа був такий високий, що цю помилку повторили і Лаплас, і Пуассон, а виправили її тільки лише через майже 100 років незалежно один від одного К. Вейерштрасс (1858) і О. І. Сомов (1859).

7.3. Наука про опір матеріалів в XVIII столітті

Подальший розвиток в XVIII столітті отримала і наука про опір матеріалів. Наступний після Галілея крок в науці про міцність зробив Роберт Гук. У 1660 році він відкрив закон, що встановлює пропорційність між навантаженням і деформацією. Вчений опублікував цей закон тільки в 1678 році. Його робота «Про відновні здатності або про пружність» стала першою друкованою працею, в якій розглядалися пружні властивості матеріалів. У ній Гук описував досліди з подовженням струни, з гвинтовими і спіральними пружинами, а також розглядав досліди з вигином консолі, виготовленої з бруска сухої деревини. В останньому досліді він приходить до найважливішого висновку про те, що «на опуклій поверхні волокна розтягуються, а на увігнутій – стискаються».

Роберт Гук не тільки встановив лінійний зв'язок між величиною сил і виробленими ними деформаціями, але і вказав, де цим можна скористатися для вирішення дуже важливих завдань.

Заслуга Гука оцінюється ще вище, оскільки в XVII столітті майже не було предметів, що виявляють властивості пружності на око або на дотик. Гнучких сталевих виробів, крім шпаг і рапір, майже не було, гвинтова пружина винайдена саме Гуком для його дослідів. Надалі закон Гука послужив фундаментом, на якому розвивалася механіка твердого тіла, що деформується. Однак тривалий час поняття пружності застосовувалося для тонких металевих або дерев'яних стрижнів, але вважалося абсолютно непридатним до каменя і чавуну – найважливіших будівельних матеріалів XVIII і XIX століть. Так пружність каменю була встановлена дослідним шляхом тільки в XIX столітті. В результаті інженери-будівельники властивість пружності вважали чимось абстрактним і непридатним для практики.

Пружність матеріалу і закон Гука, що втрачають справедливість задовго до руйнування, абсолютно не пов'язували з проблемами міцності аж до початку XIX століття.

Наступним вченим, який зробив великий внесок у розвиток опору матеріалів, став французький фізик і механік, засновник Французької академії наук Едм Маріотт. Проектуючи трубопровід для водопостачання Версальського палацу, він зацікавився опором балок вигину. Експериментальним шляхом учений дійшов висновку, що теорія Галілея дає завищені значення руйнівного навантаження. Маріотт створює свою теорію вигину, в якій враховуються пружні властивості матеріалу. У 1680 році незалежно від Гука він відкрив закон пропорційності деформації прикладеному навантаженню і розповсюдив його на випадок вигину.

Маріотт виправив помилку Галілея, прийнявши інший закон розподілу напружень при вигині, і помістив нульову точку в середині висоти перерізу, визнавши тим самим наявність стислих волокон. Однак допущена помилка завадила йому прийти до правильної формули для випадку руйнування балки, матеріал якої діє за законом Гука. Проте Маріотт істотно просунув теорію механіки пружних тіл. Він не тільки удосконалив теорію вигину балок, а й перевірив її експериментально, а також дав формулу для визначення міцності труб на розрив під впливом внутрішнього тиску.

У XVIII столітті наукові результати, отримані в області опору матеріалів, знайшли практичні застосування. У Франції відкриваються перші вищі технічні навчальні заклади, виходять перші керівництва з будівельної механіки. Отримує подальший розвиток задача про вигин балки. У 1702 році П'єр Варіньон вивів формули Галілея і Маріотта як окремі випадки своєї теорії, помістивши при цьому нейтральну лінію, як і Галілей, на увігнутій стороні балки.

Розробляючи основи математичного аналізу, швейцарські математики брати Яків і Йоганн Бернуллі шукали галузі застосування цього нового інструменту дослідника. Одна з розглянутих Яковом завдань про форму кривої вигину пружного стержня поклала початок важливого розділу механіки пружного тіла. Якщо Галілей і Маріотт досліджували тільки міцність балки, то Я. Бернуллі поставив завдання про обчислення прогинів, застосувавши до дослідження пружної лінії зігнутої смуги (він називав брус смугою) обчислення нескінченно малих. У 1705 році вчений приходить до висновку про те, що кривизна лінії вигину в кожній точці пропорційна вигинаючому моменту в цій точці.

Однак й у Якова Бернуллі не обійшлося без помилки, в результаті якої величина прогину визначається невірно. На підставі свого помилкового розрахунку він навіть вивів невірну теорему про те, що положення нейтральної лінії не робить ніякого впливу на опір вигину і завдяки своєму колосальному авторитету, тим самим затримав на ціле століття розвиток вчення про вигин.

Перше правильне рішення завдання про міцність балки при вигині дав французький військовий інженер **Антуан Паран** (1666 – 1716) в 1713 році, проте його робота залишилася непоміченою сучасниками. Це рішення в 1729 році підтвердив петербурзький академік **Георг Бернгард Більфінгер** (1693 – 1750), але і його робота на цю тему, перша робота в Росії з будівельної механіки, також пройшла непоміченою.

Найбільше вчених в XVIII столітті дав розвитку механіки пружного тіла **Шарль Огюстен Кулон** (1736 – 1806). У 1773 році, через 60 років після Парана, Кулон, незнайомий з його роботами, повторив рішення задачі про вигин балки, але ще довго помилки продовжували повторюватися. Кулон вказує, що впливом

поперечних сил на міцність балки можна знехтувати, якщо висота балки мала в порівнянні з її довжиною.

Наступне завдання, що розглядається Кулоном – дослідження стиснення призми осьовою силою. Він припускає, що руйнування відбувається в результаті ковзання по певній площині і починається, коли складова сили по цій площині стає більшою за опір сколювання. Стаття, опублікована в 1773 році стала підставою теорії Мора – Кулона, яка описує залежність дотичних напружень матеріалу від величини прикладених нормальних напружень.

У 1784 році Кулон видає мемуари про кручення. Експериментуючи з крутильними вагами, він робить висновок про пропорційність крутного моменту $M_{кр}$ куту закручування дроту φ

$$M_{кр} = \frac{\mu d^4}{l}\varphi, \tag{7.1}$$

де l – довжина дроту, d – його діаметр, μ – постійна матеріалу. Для кожного типу дроту він знаходить межу пружності при крученні, перевищення якої призводить до появи залишкової деформації. Крім того він показав, що якщо дріт підданий попередньому закручуванню, то матеріал стає більш твердим, тобто межа пружності його підвищується. Таким чином, вчений приходить до висновку про те, що для опису властивостей матеріалу при крученні необхідні дві характеристики – число μ, що визначає пружні властивості матеріалу і число, яке вказує межу пружності.

Великі експериментальні дослідження механічних властивостей матеріалів були виконані Пітером ван Мушенбруком. Він побудував цілий ряд машин для випробувань при різних видах деформації. Мушенбрук також провів перші практичні дослідження поздовжнього вигину і прийшов до висновку, отриманого Ейлером теоретично – критичне навантаження обернено пропорційне довжині стійки.

До задачі про поздовжній згин Ейлер застосував створене ним варіаційне обчислення. З умови мінімуму потенційної енергії він визначав врівноважуючу навантаження. Роботи Ейлера по подовжньому вигину продовжив Лагранж. Він уперше виявив можливість поздовжнього вигину за кількома півхвилями і дав значення критичної сили при різних кінцевих закріпленнях. Однак ні Лагранж, ні Ейлер не визначали значення пружної константи, що

входить в рішення, в зв'язку з чим воно не могло бути використано при будівництві споруд. Це ще раз показує, наскільки у XVIII столітті наука була далека від практики.

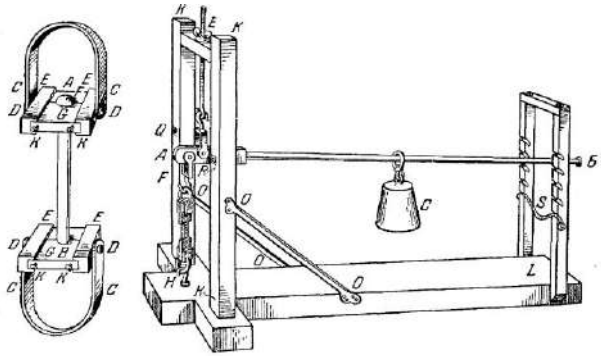

Рис. 7.6. Машина Мушенбрука для випробувань на розтяг. Зліва показаний тип зразків, що застосовувалися, і спосіб їх закріплення по кінцях.

7.4. Вивчення статичної електрики

Найважливішим досягненням науки XVIII століття стало вивчення статичної електрики. Перші спостереження явищ, відомих під назвою електрики і магнетизму, відносяться до часу античності і були зроблені народами, що живуть в басейні Середземного моря, особливо греками. Почалося це з виявлення властивості натертого бурштину притягати легкі предмети. Крім того, в стародавньому світі спостерігали явища атмосферних розрядів і анестезуючу дію деяких видів риб при зіткненні їх з людським тілом. Але уявлень про те, що в цьому проявляються електричні явища, не виникало.

Сам термін «електрика» з'явився на межі XVI і XVII століть, а потім поступово наповнювався змістом. Починаючи з XVIII століття, відбувається більш швидке накопичення знань, але тільки в XIX столітті електрика почала служити людині.

Переломний момент в історії електрики стався в 1600 році, коли вийшла у світ чудова праця англійського натураліста Вільяма Гільберта (1544 – 1603) «De Magnete», що представляє собою один з перших наукових трактатів, написаних на основі експериментів. До

цього вважалося, що електричні сили притаманні тільки янтарю і однієї з різновиду турмаліну – лінкуріону, а магнітні – тільки залізу. Гільберт експериментально довів, що електризація при терті виявляється у багатьох речовин – скла, смоли, мінералів та ін., а Земля є величезним магнітом, хоча і не складається з одного тільки заліза. Гільберт ввів поняття «vis electrica» («сила бурштину»), тобто електричної сили. З XVIII століття похідний термін «electricitas» став широко застосовуватися. У російській науковій літературі в XVIII столітті набув поширення термін «електрика».

Наступний великий крок у вченні про електрику зробив німецький фізик, інженер і філософ **Отто фон Геріке** (1602 – 1686). У 1663 році він винайшов один з перших електростатичних генераторів – куля з сірки, яка натирається руками. Розплавленою сіркою наповнювали порожнисту скляну кулю, яку, коли сірка застигала, розбивали. Крізь кулю пропускали залізну вісь і поміщали на особливій склянці так, що її можна було обертати навколо осі. На кулю, що обертається, натискали рукою, і вона наелектризовувалася тертям. У 1672 році фон Геріке першим спостерігав електролюмінесценції, виявивши, що заряджена куля потріскує і світиться в темряві. Крім того, ним було виявлено властивість електричного відштовхування однополярно заряджених предметів.

Англійський учений **Стівен Грей** (1666 – 1736) в 1720-і роки провів ряд дослідів, що призвели до відкриття передач електрики на відстань і поділу всіх речовин на провідники й ізолятори.

Пітер ван Мушенбрук звернув увагу на різний характер електризації скла і бурштину, що сприяло відкриттю в 1733 році **Шарлем Франсуа Дюфе** «смоляної» і «скляної» електрики (позитивної і негативної, згідно з термінологією Бенджаміна Франкліна). До числа найбільш відомих досягнень Мушенбрука належить лейденська банка – перший конденсатор, винайдений ним в 1745 році. При цьому він створив перший прообраз його зовнішньої обкладки (спочатку нею служила рука експериментатора, який тримав банку). Мушенбрук звернув увагу на фізіологічну дію розряду, порівнявши його з ударом ската (вченому належало перше використання терміну «електрична риба») Він провів досліди для перевірки своїх припущень. При цьому Мушенбрук заперечував

електричну природу блискавки, переглянувши свої погляди лише після дослідів Франкліна.

Рис. 7.7. Схема лейденской банки

Американський вчений **Бенджамін Франклін** (1706 – 1790) пояснив принцип дії лейденської банки, встановивши, що головну роль в ній грає діелектрик, що розділяє провідникові обкладинки; ввів загальноприйняте тепер позначення електрично заряджених станів «+» і «-»; розробив загальну «унітарну» теорію електричних явищ, що виходила з припущення про існування єдиної електричної субстанції, недолік або надлишок якої обумовлює знак заряду тіла. Велика заслуга Франкліна – встановлення тотожності атмосферної і такої, що отримується за допомогою тертя, електрики і доказ електричної природи блискавки. Виявивши, що металеві вістря, з'єднані з землею, знімають електричні заряди з заряджених тіл навіть без дотику з ними, Франклін запропонував ефективний метод захисту від грозового розряду – громовідвід.

Франкліну належить також ряд інших технічних винаходів: лампи для вуличних ліхтарів, економічна «франклінівська» піч, особливий музичний інструмент – «електричне колесо», що обертається під дією електростатичних сил, застосування електричної іскри для вибуху пороху та ін.

Сутність електричних і магнітних явищ і зв'язку між ними тоді не знали. Гільберт вважав ці явища абсолютно різними, і цей погляд панував до середини XVIII століття, коли, завдяки працям члена Петербурзької академії наук **Франца Ульріха Теодора Епінуса** (1724 – 1802), було покладено початок новим поглядам: наука збагатилася уявленнями про подібність електричних і магнітних

явищ. Аж до кінця XVIII століття вчені займалися вивченням тільки статичної електрики і її застосуванням в практичних цілях: для лікування, для підриву пороху від іскор при розряді і для передачі зарядів на відстань – першої спроби створення електричного телеграфу.

Рис. 7.8. Бенджамін Франклін і конструкція громовідводу

Протягом XVIII століття накопичився великий дослідний матеріал про статичну електрику. Було встановлено існування провідників і непроводніків електрики, доведено існування двох його родів – позитивного (скляного) і негативного (смоляного). Вдалося знайти більш досконалі методи отримання значних статичних зарядів з допомогою машин, винайти способи їх накопичення за допомогою лейденських банок і конденсаторів. Було виявлено явище електростатичної індукції. У кінці XVIII століття французький фізик Шарль Кулон і незалежно від нього англійський фізик **Генрі Кавендіш** (1731 – 1810) встановили і кількісну характеристику взаємодії зарядів (закон Кулона).

Хоча всі ці досягнення ще не віщували широкого застосування електрики для практичних цілей, вони мали істотне значення. Були створені перші теорії електрики, удосконалено методику експерименту, розроблений ряд приладів. У результаті процесу вивчення електричного струму, електротехніка в останній третині

XIX століття стала важливою самостійною галуззю науки і техніки та зробила революційний вплив на всю техніку в цілому, а у зв'язку з цим і на весь розвиток продуктивних сил суспільства.

Різноманітні застосування електричної енергії можна розділити на дві групи:

– в першій групі електрична енергія використовується в значних кількостях з метою її перетворення в інші види енергії: механічну (привід, тяга), світлову (освітлення), теплову (термічні процеси, опалення), хімічну (електроліз) і т.і.

– до другої групи належать такі застосування електричної енергії, за яких, хоча і відбуваються її перетворення в інші види енергії, але вони не є метою. Тут використовуються електричні імпульси або малі струми для впливу на будь-які індикатори або приймачі (телеграф, телефон, вимірювальні прилади, прилади керування або регулювання і т. д.).

В останнє десятиліття XVIII століття увагу вчених звернулося до нових електричних явищ, виявлених **Луїджі Гальвані** (1737 – 1798) і розвинених **Алессандро Вольта** (1745 – 1827). Був знайдений новий вид електрики, який вважали відмінним від статичного – електричний струм. У 1800 році Вольта, аналізуючи досліди і висновки Гальвані, приходить до побудови перших джерел електричного струму – вольтового стовпа і чашечної батареї. Почалося вивчення електричного струму, яке показало, що він може дати для практики те, чого не здатні дати інші області фізики.

7.5. Велика Французька революція і реформа науки і освіти

Найважливішим соціально-політичною подією, який наклав печатку на суспільну і інтелектуальну життя Європи першої половини XIX століття, стала Велика Французька буржуазна революція 1789 році. Вона послужила потужним поштовхом для філософського природничо-наукового мислення XIX століття. Одним з результатів революції стала реформа вищої освіти. У 1794 році були організовані вищі навчальні заклади нового типу - Політехнічна і Нормальна школи. Політехнічна школа стала першим в світі вищим технічним навчальним закладом широкого профілю. В її роботі брали участь видатні математики **Гаспар Монж** (1746 – 1818) і **Лазар Карно** (1753 – 1823).

Середньовічні університети в ході промислової революції змінилися, а їх освітні стандарти наблизилися до сучасних. Крім того, з'явилися нові вищі навчальні заклади, зокрема, політехнічні та спеціалізовані інститути та академії. У Франції, та й в інших країнах, важливу роль в підготовці вчених в XVIII столітті грали військові, військово-інженерні, морські школи, математичні програми яких нерідко перевершували за змістом та обсягом університетські курси.

Що стосується практичних застосувань досягнень науки, то треба зазначити, що в XVIII столітті вони майже не знаходили застосування в машинобудуванні, яке бурхливо розвивалося, не кажучи вже про інші галузі промисловості. Це пояснюється тим, що громіздкі і тихохідні машини не мали поки що потреби в проведенні розрахунків на міцність. Розвиток фізики також поки що не мав зв'язку з виробництвом, а такі науки як теплотехніка, електромагнітна теорія та ін. перебували ще в зародковому стані і не могли допомогти розвитку промисловості. З наук в цей період розвиваються, перш за все, механіка і математика, до кінця його з'являється хімія, електромагнетизм і ін.

Знання, яких вимагав розвиток техніки, як правило, носили емпіричний характер. Це були знання про конкретні речі, які не суперечать законам природи. Однак машинне виробництво, що розвивалося, вимагало об'єднання в одному технологічному циклі різних механічних і фізико-хімічних процесів, використання нових матеріалів і видів енергії. Завдяки цьому незмірно зросла роль науки у створенні нової техніки.

Найбільш видатним діячем нової епохи був Бенджамін Франклін – не тільки вчений, а й політичний діяч. В основі його політичних поглядів лежала концепція природних і невід'ємних прав людини, до яких відносяться життя, свобода і власність. Він був рішучим противником рабства. Будучи людиною з народу, Франклін був фактичним духовним лідером нової американської нації, яка зароджувалась в другій половині XVIII століття. Перебуваючи у Франції в якості посла, він мав там великий вплив на розвиток політики і науки. Франклін не тільки заклав наукові основи статичної електрики і винайшов громовідвід, але створив також низку інших корисних речей, таких як економічну малогабаритну

піч для будинку, крісло-гойдалку, біфокальні окуляри, висунув ідею електричного двигуна, що працює на статичній електриці та ін.

Рис. 7.10. Антуан Лоран Лавуазье

Наприкінці XVIII століття відкриттями **Антуана Лорана Лавуазьє** (1743 – 1794) завершився процес перетворення хімії в науку. Переломний етап у розвитку хімії, названий «хімічною революцією» почався зі створення ним в 1777 році кисневої теорії горіння. Відмовившись від теорії флогістону, Лавуазьє переглянув всі основні принципи і поняття хімії. У 1779 році він видав підручник «Елементарний курс хімії», заснований на кисневій теорії горіння і новій хімічній номенклатурі. Ґрунтуючись на дослідних даних, Лавуазьє створив список хімічних елементів. Він сформулював закон збереження маси і створив раціональну класифікацію хімічних сполук, засновану на різниці в елементному складі з'єднань і на характері їх властивостей. Уся система Лавуазьє втілює логічну стрункість і єдність.

Теорія Лавуазьє справила хімічну революцію і перетворила хімію в раціональну кількісну науку, що займається експериментальним вивченням складу тіл. У результаті відбулася остаточна відмова від алхімічних уявлень про природу речовини та її властивостей.

У цілому XVIII століття з точки зору розвитку науки можна охарактеризувати не тільки як століття освіти, але так само як аналітичний період. У цей час відбувається становлення теоретичних основ таких фундаментальних наук як математика, механіка, хімія, біологія, закладаються також основи багатьох розділів фізики.

ГЛАВА 8

Створення парової машини і промислова революція XVIII століття

8.1. Створення пароатмосферної машини

Мануфактурне виробництво, що виникло в кінці XVII століття, було засновано на застосуванні мускульної сили тварин й енергії води і вітру. Але в кінці XVII століття, коли почався бурхливий розвиток гірничодобувної, металургійної, металообробної, верстатобудівної й інших галузей виробництва, виникла гостра потреба в значно потужніших джерелах механічної енергії. Подальший розвиток промисловості гальмувався відсутністю таких джерел енергії. Розвиток промислового виробництва, таким чином, до кінця XVII століття опинився у глухому куті. Вихід полягав у розвитку теплової енергетики, тобто використанні енергії горючого палива. Увага винахідників звернулася до рушійної сили пари або вогню. Так у творі французького архітектора **Соломона де Ко** (1615) йдеться про можливість підйому води за допомогою дії вогню. У 1629 році італійський математик і інженер **Джованні Бранка** запропонував проект турбіни у вигляді укріпленого на вертикальній осі диска з лопатками, що обертається струменем пари, яка підводилася по дотичній до диска. Турбіна Бранка призначалася для приводу ткацьких верстатів, проте внаслідок малої продуктивності і

дуже низької економічності вона не отримала промислового застосування. Надалі принцип роботи колеса Бранка ліг в основу активних парових турбін.

Застосування парових турбін було дуже привабливим, тому що в них відразу виходить рівномірний обертальний рух ротора, і немає необхідності в механізмах, що перетворюють поступальний рух поршня в обертання валу, як це відбувається в парових машинах і ДВЗ. Однак виготовлення парової турбіни можливо тільки при високому рівні технології, наявності спеціальних матеріалів і методів дуже точної обробки металів. Крім того, створення парової турбіни вимагає знання властивостей пари і законів її протікання. Без усього перерахованого ККД парових турбін знаходився на надзвичайно низькому рівні, і вони могли грати хіба що роль цікавих іграшок.

Відкриття атмосферного тиску і науково поставлені досліди Е. Торрічеллі, Б. Паскаля і О. фон Геріке спонукали використовувати його в якості рушійної сили. Для цього необхідно було створити в циліндрі, забезпеченому поршнем, розрідження. Поршень в цей момент повинен знаходитися в крайньому положенні і зробити хід під тиском повітря. Це і лягло в основу створення атмосферних машин. Першими запропонували такі машини абат **Готфейлю** у 1678 – 1681 роках і Х. Гюйгенс у 1681 році. Для створення розрідження вони мали намір використовувати не пару, а вибухи пороху всередині робочого циліндра, тому вони і вважаються піонерами, які висунули ідею ДВЗ.

Дені Папен (1647 – 1712), який працював у Гюйгенса асистентом, переконався в небезпеці і незручності використання вибуху пороху і запропонував здійснювати розрідження за допомогою водяної пари. У 1690 році в Марбурзі він створив паровий двигун, який здійснював корисну роботу за рахунок нагрівання і конденсації пари. Вода в циліндрі при нагріванні перетворювалася на пару і рухала поршень вгору. Через спеціальний клапан пара виштовхувала повітря, а при конденсації пари створювався розріджений простір і зовнішній тиск рухав поршень донизу. Опускаючись, поршень тягнув за собою мотузку з вантажем. Такі машини, в яких поршень повертається у вихідне положення під дією атмосферного тиску, отримали назву пароатмосферних.

Двигун Папена не міг здійснити безперервну дію. Щоб змусити поршень піднімати вантаж, необхідно було маніпулювати

стрижнем-клапаном і стопором, переміщати джерело полум'я і охолоджувати циліндр водою. Недоліком машини Папена було також об'єднання в циліндрі функцій котла, циліндра і конденсатора. А заслугою Папена є винахід запобіжного клапана для парового котла, що дозволяє регулювати тиск пара.

З усіх проблем, що стоять перед винахідниками, найбільш гострою була тоді проблема відкачування води з шахт, глибина яких ставала все більшою. Першим успіху домігся англійський механік і винахідник **Томас Север**і (1650 – 1715). У 1698 році він винайшов працюючий без поршня паровий насос, призначений для відкачування води з шахт. Не випадково насос отримав назву «друг рудокопів». Севері відділив котел від посудини, в якій проводилася конденсація. Його паровий насос складався з парового котла і робочого циліндра. У машини було два робочих цикли: цикл всмоктування і цикл виштовхування. Всмоктування води відбувалося шляхом конденсації пари і створення розрідженого простору над рівнем води в посудині. Для цього кран у всмоктувальній трубі відкривають, а кран подачі пари і кран в напірній трубі закривають. Потім робочий циліндр обливають холодною водою, і пара, що знаходиться в ньому, починає конденсуватися. У робочому циліндрі створюється розрідження, і в нього з шахти під дією атмосферного тиску надходить вода. На циклі виштовхування робочий, обслуговуючий насос, відкриває кран в напірній трубі і закриває кран в трубі, що подає, після чого відкриває паровий кран. Вода виштовхується з робочого циліндра під тиском пари. Висота підйому води залежить від тиску пари, і фактично обмежується механічною міцністю всіх систем. Зазвичай вона не перевищувала 30 м, тому в глибоких шахтах доводилося ставити одну машину над іншою. Незважаючи на те, що цей насос коштував дорого, загрожував вибухом і мав низьку економічність, він знайшов широке застосування.

Згодом парова машина Севері була значно вдосконалена **Джоном Теофілом Дезаґюльє** (1683 – 1744). Він запропонував для конденсації пари впорскувати воду всередину циліндра. Це дозволяло значно скоротити час на конденсації пари, і машина Севері стала працювати значно швидше. Крім того, Дезаґюльє впровадив запобіжний клапан і двоходовий розподільний кран. Машини, вдосконалені Дезаґюльє, створювалися до початку XIX століття.

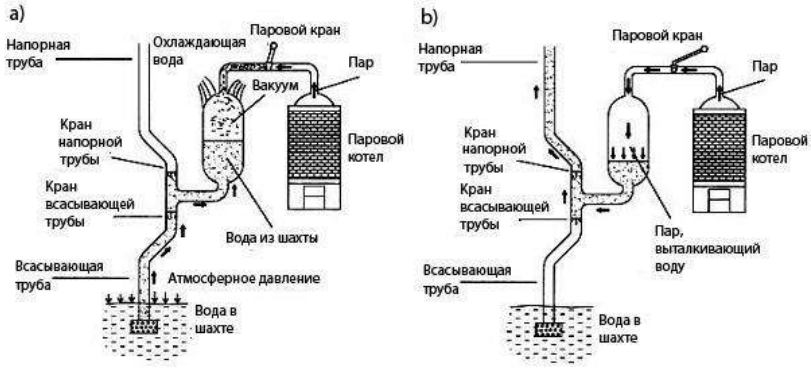

Рис. 8.1. Схема роботи парового насоса Томаса Севері.
a – цикл всмоктування, b – цикл виштовхування

Більш радикально проблему відкачування води з шахт вирішив **Томас Ньюкомен** (1663 – 1729). Машина, створена ним в 1707 році, є майстерною комбінацією ідей Севері і Папена. У ній пара готувалася в окремому котлі, а поршневий двигун був відділений від поршневого насоса, який відкачує воду. Система клапанів регулювала надходження пари і води в циліндри. Ці машини широко застосовувалися, мали приголомшливу надійність і служили по сто років і більше. Остання машина Ньюкомена була демонтована в Англії в 1934 році.

Хоча парові насоси успішно працювали, проте промисловість все гостріше відчувала потребу в універсальному двигуні, незалежному від місця, як водяні колеса, або від погоди, як вітряні. І в 1763 році російський інженер **Іван Іванович Ползунов** (1728 – 1766) запропонував, а до 1766 року побудував таку машину. Вона працювала на вугіллі, холостий хід виключався за допомогою двох циліндрів, які працювали на загальний вал, пароподіл було автоматичним, щоправда, машина залишалася пароатмосферною. Винахідник помер до запуску машини, яка після невеликої неполадки була зупинена і забута, хоча за короткий час роботи не тільки себе окупила, але і принесла великий прибуток.

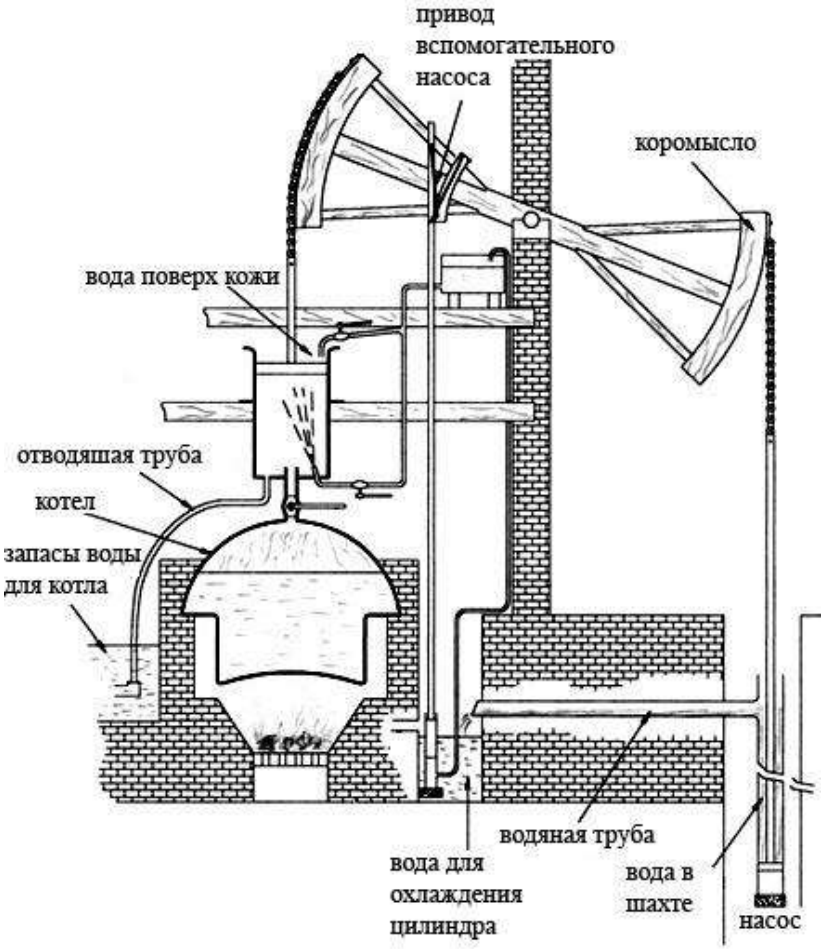

Рис. 8.2. Схема роботи пароатмосферної машини Томаса Ньюкомена

8.2. Створення універсальної парової машини

Створити перший універсальний паропоршневий двигун вдалося англійцю **Джеймсу Ватту** (1736 – 1819). У 1769 році він отримав патент на удосконалення ньюкоменівської водопідйомної машини: відокремлення конденсатора від циліндра і використання в якості рушійної сили замість атмосферного тиску пружності пари,

що подається зверху поршня. При цьому на відміну від пароатмосферних машин, циліндр зберігався весь час гарячим і навіть ізолювався матеріалом, який погано проводить тепло.

Незважаючи на отримання патенту, справа побудови машини через фінансові та інші труднощі не просувалася, поки за нього в 1773 році не взявся новий інвестор **Метью Бултон** (1728 – 1809). В результаті в 1774 році машина була побудована. Її випробування показали хороші експлуатаційні якості й у два рази меншу витрату палива в порівнянні з машиною Ньюкомена.

У 1782 році Ватт отримав патент на розширення пари в циліндрі парової машини, яке, однак, не відразу знайшло застосування на практиці в силу відсутності достатньо підготовлених машиністів. Тоді ж винахідник зайнявся важливішим питанням – створенням машини з безперервним обертанням. Оскільки застосування кривошипно-шатунного механізму в парових машинах було захищено патентом, Ватт застосував балансир і планетарну передачу. Для забезпечення безперервного ходу він також увів подвійну дію (пара по черзі надходила згори і знизу поршня), золотниковий паророзподіл і махове колесо. У 1784 році винахідник конструює двоциліндрову машину.

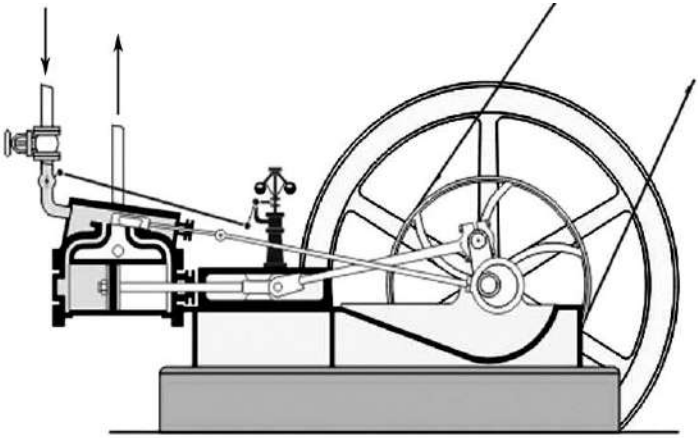

Рис. 8.3. Універсальна парова машина Джеймса Ватта

Для режиму автоматичної підтримки роботи машини Ватт в 1788 році запропонував відцентровий регулятор обертів. Це один з найважливіших його винаходів. Відцентрові регулятори і в наш час є обов'язковою приналежністю будь-якого двигуна внутрішнього згоряння або турбіни.

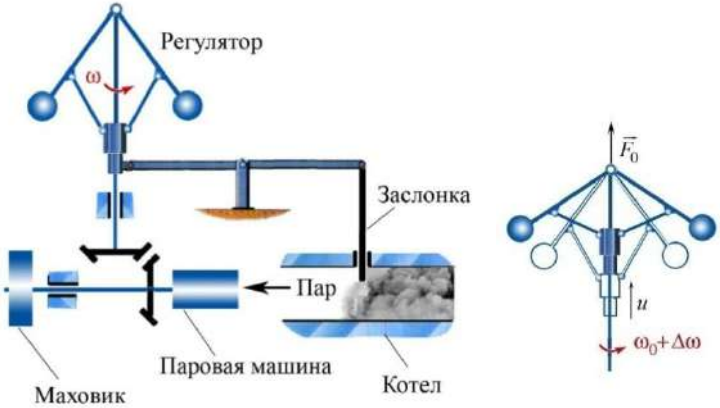

Рис. 8.4. Схема системи регулювання парової машини Ватта і принцип роботи відцентрового регулятора

8.3. Поширення машин Ватта

Машини Ватта отримали широке визнання. Якщо за 70 років (з 1699 до 1769 року) пароатмосферних машин було виготовлено близько 140, то за 10 років (1775 – 1785) машин на заводі Болтона і Ватта випущено 66 одиниць. Створення Ваттом машин подвійної дії з безперервним обертанням сприяло ще більш швидкому їх поширенню. Найбільше застосування вони знайшли в бавовняній промисловості, де до 1800 року було впроваджено 84 машини загальною потужністю 1382 к. с.* На другому місці стоїть металургія, включаючи рудники, вугільні копальні, ливарні та металообробні заводи (80 машин, 1438 к. с.), і, нарешті, водопідіймальні машини, що забезпечують водопроводи і канали

* У цьому підручнику потужність машин вказується в кінських силах (к. с.). Однак це позасистемна одиниця. Для переводу потужності в кіловати (кВт) слід помножити показник в к. с. на 0,7355.

(31 машина, 502 к. с.). У XIX столітті темпи будівництва парових машин виросли на порядок. У 1826 році в Великобританії налічувалося вже 1500 машин загальною потужністю 80 000 к. с.

Виробництво парових машин було не тільки великим досягненням в галузі енергетики. Це був крок уперед і в машинобудуванні. При проектуванні нових машин Уатт користувався розробленими ним емпіричними формулами. Крім того, завод Болтона – Ватта став першим в світі спеціалізованим заводом. На ньому з самого початку прагнули до якомога точнішого виготовлення деталей. Це в основному заслуга М. Болтона, який розробив правила виробництва деталей і впроваджував їх не тільки у себе, а й на інших заводах, що виготовляють комплектуючі парових машин. У 1779 році була розроблена інструкція зі збирання машин з малюнками і докладним порядком установки кожної її частини. У 1784 році з'являються і правила з догляду за машиною безперервного обертального руху.

Машини Ватта в невеликій кількості постачалися на експорт, але вже в 1780 році їх виробництво починається у Франції, на межі XIX ст. – у Німеччині і США, а в 1818 році – у Бельгії.

До початку XIX ст. англійський інженер Річард Тревітік і американець Олівер Еванс поєднали бойлер і двигун в одному пристрої, що дозволило використовувати його для створення паровозів і пароплавів. Великих успіхів досягла будівництво парових машин в США. Розвиток американських машин з самого початку пішло по шляху, відмінному від європейського. Уже в кінці XVIII століття там створюється машина високого тиску Еванса. На початку XIX століття в США будуються оригінальні пароплавні машини. У 1830-х роках там будуються паровози, що істотно відрізняються від європейських.

Незважаючи на те, що розширення пари в циліндрах машини стало обов'язковою умовою, пристрої пароросподілу були дуже недосконалі. Наприкінці 1840-х років у США з'являється новий тип парових машин винахідника **Джорджа Генрі Корлісса** (1817 – 1888). У 1849 і 1851 роках він отримав патенти на пристрій впускного і випускного клапанів, які істотно підвищували ККД парової машини. Нова система пароросподілу ґрунтувалася на застосуванні обертових кранів зі зміною ступеня наповнення

безпосередньо від регулятора. Завдяки їй та дуже якісному виконанню машин, вони відрізнялися малою витратою пари і високою рівномірністю ходу. Велику увагу Корлісс приділяв також котельній установці, застосовуючи сухий перегрітий пар.

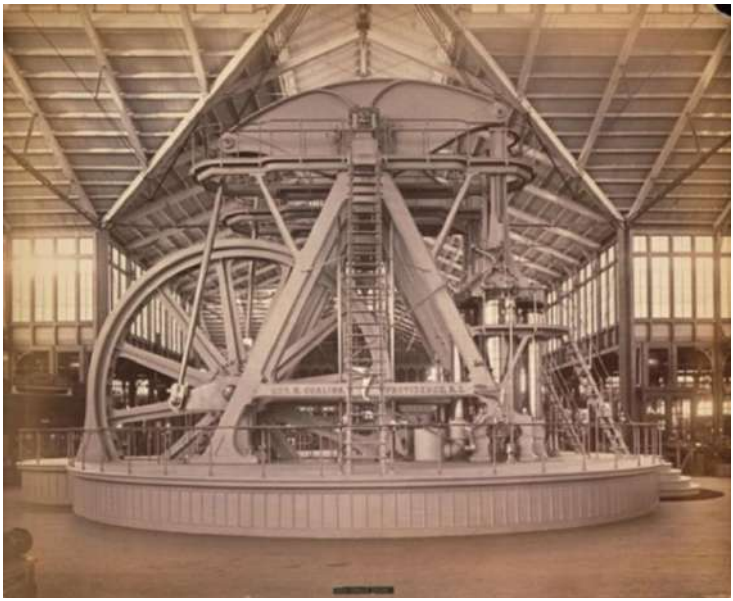

Рис. 8.5. Парова машина Корлісса. На Виставці Сторіччя в Філадельфії в 1876 році від неї приводилися в дію всі експонати Машинного павільйону. Потужність машини 2500 к. с., висота 13,5 м, маса 607 т.

Велике значення для вивчення динаміки кривошипно-повзунного механізму парової машини мала монографія австрійського інженера **Йоганна Радінгера** (1842 – 1901) «Про парові машини з високою швидкістю поршня», в якій було наведено графічний спосіб розрахунку сил, що діють в цьому механізмі.

Створення ефективного парового двигуна – парової машини – викликало промислову революцію XVIII століття. Цей винахід за своїм значенням в житті людства може зрівнятися тільки з освоєнням вогню і створенням комп’ютера. Незважаючи на більш складний пристрій механізму в порівнянні з паровою турбіною,

парова машина значно простіша у виготовленні і не вимагає таких знань в області теплотехніки і застосування спеціальних сплавів для виготовлення, як парові турбіни і тим більше, газові турбіни і двигуни внутрішнього згоряння.

Створена парова машина була саме у Великобританії не випадково. Англія була світовим промисловим і торговим лідером, володіла великими колоніями, тому мала величезні фінансові ресурси. Крім того, держава не пригнічувала економічну активність.

8.4. Революція на транспорті

У XIX столітті парові машини знаходять широке застосування не тільки в промисловості, але й на транспорті. Слід зазначити, що поки не була створена універсальна парова машина Ватта, всі спроби побудувати судно або наземний транспортний засіб, що рухався силою пари, або приводили до невдачі, або залишалися на папері.

У США винахідником **Робертом Фултоном** (1765 – 1815) був створений перший пароплав, який мав комерційний успіх. Судно під назвою «North River Steamboat of Clermont» (в літературі його неправильно називають «Клермонт») здійснювало регулярні рейси по річці Гудзон між Нью-Йорком і Олбані з 1807 року. Незабаром після цього не тільки в Сполучених Штатах, але і в Англії, і в інших країнах розгорнулося будівництво пароплавів.

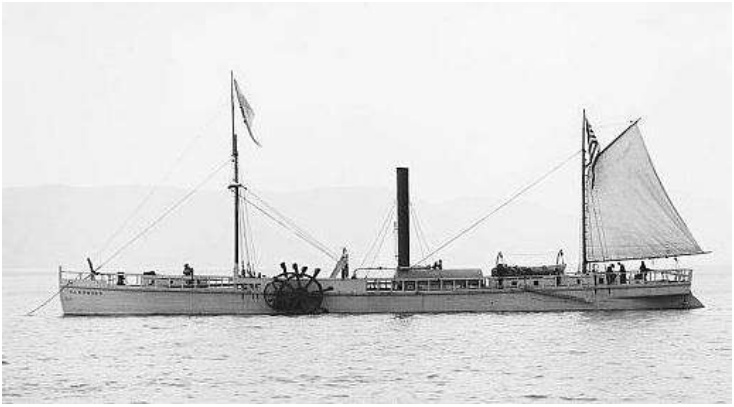

Рис. 8.6. Пароплав Роберта Фултона

У 1819 році американський колісний пароплав «Саванна» вперше перетнув Атлантичний океан. Однак більшу частину шляху судно пройшло під вітрилами. І тільки в 1838 році англійський пароплав «Сіріус» перетнув Атлантику без застосування вітрил. У військовому флоті остаточний перехід на парові двигуни відбувся тільки після Кримської війни 1853 – 1856 років. Однак архаїчні вітрила зберігалися на більшості бойових кораблів ще років 30.

Саме суднові парові машини були найдосконалішими. У 1829 році. німецький інженер Моріц Рентген, який працював в Нідерландах, запропонував машину типу компаунд. Машина мала два робочих циліндра різного діаметру. Пара з казана надходив в менший циліндр високого тиску, а відпрацювавши там, яка спрямовується в більший циліндр низького тиску. Це дозволяло більш повно використовувати енергію пари і підвищити ККД машини.

Однак на першому етапі компаунд-машини не знайшли широкого застосування, оскільки в суднових машинах тоді застосовувався дуже низький тиск – близько 1,2 атм., в той час як у стаціонарних він досягав 3 атм. Застосування в суднових котлах більш високого тиску тривалий час вважалося небезпечним через нещасні випадки. З підвищенням в 1860-х роках тиску в пароплавних котлах до 5 – 7 атм. машини подвійної дії набули широкого поширення. У 70-х, 80-х роках XIX століття потужності машин досягли 5000 к. с., що змусило через збільшення розмірів розділити циліндр низького тиску на два.

На цьому розвиток пароплавних машин не зупинився, при подальшому збільшенні тиску до 10 – 12 атм. був зроблений перехід до машин потрійного розширення. При цьому витрата вугілля скоротилася майже в півтора рази. Потужність машин зросла до 8–9 тис. к. с., а діаметр циліндра низького тиску досяг трьох метрів. Тому його також часто ділили на два. Така конструкція до того ж виявилася зручною для врівноваження сил інерції за способом, запропонованим у 1893 році німецьким інженером **Ернстом Отто фон Шліком** (1840 – 1913). Машини такого типу потужністю 14 000 к. с. були побудовані в 1897 році у Штеттині (зараз м. Щецин, Польща) заводом «Вулкан» для пароплава «Кайзер Вільгельм дер Гроссе», а потім будувалися для броненосців кайзеровского флоту.

Найбільшими паровими машинами стали машини чотириразового розширення, побудовані для розкішного лайнера «Дойчланд». Вони мали потужність 17 500 к. с., по шість циліндрів

і тиск пари 16 атм. Цей пароплав поставив рекорд швидкості (23,15 вузла) і тримав його до введення в лад англійських турбінних лайнерів «Мавританія» і «Лузітанія». Однак усіх надій лайнер не виправдав через підвищені вібрації корпусу від резонансу при максимальних обертах машин. Це турбувало пасажирів, що призвело до падіння попиту на квитки і стало причиною фінансового краху цього пароплава.

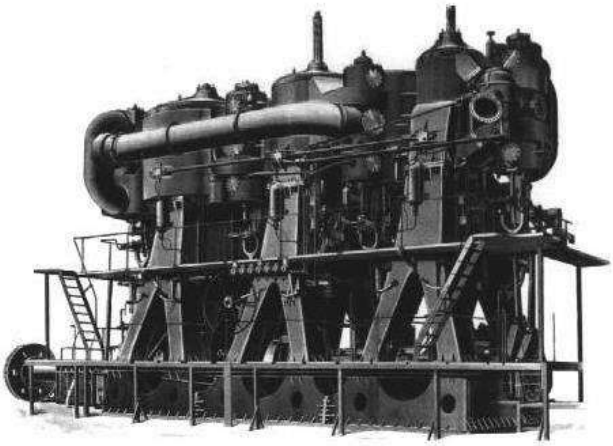

Рис. 8.7. Парова машина пароплава «City of Paris» потужністю 9 000 к. с., Англія, 1888 рік.

Що стосується машин чотириразового розширення, то їх подальший розвиток було припинено через перехід суднобудування на початку XX століття на застосування парових турбін і дизелів. Але, незважаючи на це, виробництво морських пароплавів тривало до 1980-х років, значно довше, ніж виробництво паровозів, яке припинилося в кінці 1950-х років. Це пояснюється більш високим ККД суднових парових машин. Справа в тому, що пароплави, на відміну від паровозів, можуть використовувати конденсацію пари для зниження тиску на виході з циліндрів, що істотно підвищує ККД. Крім того, на пароплавах можуть застосовуватися більш ефективні водотрубні котли в порівнянні з жаротрубними, що встановлюються на паровози. Пароплави також можуть використовувати різне паливо.

Річкові пароплави припинили будувати значно раніше, так як на малих судах дизель є набагато ефективнішим парової машини.

Парові машини справили також революцію і в наземному транспорті. Перший діючий паровий транспортний засіб створив в 1769 році французький офіцер **Жозеф Кюньо** (1725 – 1804). Дерев'яний візок мав три колеса, невеликий паровий котел і машину з вертикальним паровим циліндром. Переднє кероване колесо було провідним і забезпечувалося зубцями. Віз рухалася без зупинки тільки 15 хвилин і проходив за цей час 1000 м, після чого потрібно було зупинятися і заправляти котел.

Двигун візка Кюньо мав малу потужність через низький тиск в циліндрі. Після аварії в 1770 році на паризькій вулиці він був визнаний небезпечним і переданий до музею.

Рис. 8.8. Паровий візок Кюньо

У 1784 році американський винахідник **Олівер Еванс** отримав патент на малогабаритну парову машину високого тиску (10 атм.), яка могла встановлюватися на невеликих транспортних засобах.

У 1801 році **Річард Тревітік** (1771 – 1833) побудував карету з паровим двигуном, яку продемонстрував на вулицях міста Кемборна. «Пихкаючий диявол» мав величезні задні колеса, які наводилися в рух одноциліндровою паровою машиною з тиском 9,5 атм. і горизонтально розташованим циліндром. Автомобіль вміщував вісім пасажирів, але ходив також на невеликі відстані. Через три дні експлуатації через недогляд машина вийшла з ладу. Відновлювати автомобіль Тревітік не став, а побудував аналогічний в Лондоні. Хоча він і привернув велику увагу публіки, але виявився

дуже незручним у порівнянні зі звичайними каретами і був на деякий час забутий. Однак уже в 1829 році парові омнібуси стали найшвидшим пасажирським транспортом, розвиваючи на звичайних шосейних дорогах швидкість 24 км/год. Побоюючись конкуренції, власники залізниць і кінних диліжансів домоглися прийняття в 1865 році закону, що обмежує швидкість парових омнібусів 7 км/год за містом і 4 км/год в містах. Крім того перед екіпажем повинна була бігти людина з червоним прапорцем і попереджати всіх про небезпеку. Цим законом розвиток парового безрейкового транспорту було зупинено на три десятиліття.

Рис. 8.9. Паровий омнібус Річарда Тревітіка

В кінці XIX століття парові і електричні автомобілі отримали широке розповсюдження. Так, в США в 1900 році приблизно половина автомобілів була на паровому ходу. Перший час після появи автомобілів з ДВЗ парові автомобілі перевершували їх за своїми характеристиками. Але, не дивлячись на ряд переваг (хороша тяга, багатопаливність), парові автомобілі до 1930 року зійшли зі сцени через свою неекономічність і складнощі при експлуатації. До початку 1920-х років парові автомобілі вироблялися зовсім в невеликій кількості. Але все ж до 1960-х років промисловість випускала парові вантажівки, які, зокрема, використовувалися фермерами США і Великобританії.

Рис. 8.10. Омнібус «Enterprise» Уолтера Хенкока, 1833 рік. Швидкість 32 км/год, запас ходу 32 км

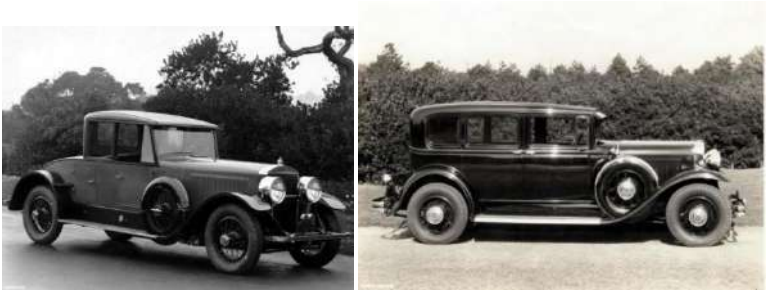

Рис. 8.11. Парові автомобілі братів Добл. Мали ключ запалювання, більш потужний і практичний двигун, що працював на гасі, були простими в управлінні. Машинирозігрівалися всього за півтори хвилини, в той час як більш старим паровим автомобілям для цього було потрібно не менше півгодини. Максимальна швидкість моделі «Е» 1924 року (на рис. зліва) становила 160 км/год, а до 100 км/год вона розганяла всього за 10 секунд. Автомобілі братів Добл не знайшли застосування через високу вартість.

Однак виробництво парових автомобілів не пройшло безслідно. Деякі важливі елементи сучасних автомобілів впроваджені саме для них. Так в 1834 році американський інженер **Робертс** винайшов диференціал, а в 1843 році його співвітчизник Хілл – коробку

передач. Колеса зі спицями, легкі рами з труб, шарикопідшипники і пневматичні шини автомобіль отримав від велосипеда.

Створення перших паровозів. Значно довше парові машини використовувалися в залізничному транспорті. До моменту появи залізниць на початку XIX століття рейковий шлях вже досяг певного рівня розвитку. Перші рейкові шляхи використовувалися в шахтах і на копальнях і представляли собою два ряди дерев'яних брусів, за якими пересувалися візки з вантажем. Їх колеса мали жолоби для запобігання сходу з напрямних брусів.

У 1767 році англієць **Річард Рейнольдс** застосував чавунні рейки, які прибивали до поздовжніх брусів. Оскільки з такого шляху вагонетки часто сходили, в 1776 році Кюр застосував в якості рейок чавунні куточки з високими краями. Такі колійні дороги отримали в Англії широке поширення і перевозили не тільки вантажі, але і пасажирів. Склади з декількох вагонів тягнули коні, які могли рухатися і без колії. Використовувався цей вид транспорту аж до початку XX століття.

У 1789 році англієць **Уільям Джессоп** ввів у вжиток рейки грибовидного перетину, які скріплювалися особливими чавунними подушками. Рейки відливалися з чавуну, мали «рибовидну» форму, тобто нерівномірну товщину і укладалися на кам'яні опори. Колеса забезпечувалися ребордами (закраїнами). В результаті був створений шлях, що забезпечує безпечний рух зі значною швидкістю.

Згодом ненадійні крихкі чавунні рейки замінили на залізні, а пізніше і на сталеві. Оскільки рух по дорозі з жорсткими кам'яними опорами призводив до підвищеного зносу рейок і вагонів, а також був некомфортним, шлях зробили більш пружним, укладаючи дерев'яні шпали на кам'яний баласт. У 1830-х роках американець Роберт Стівенс запропонував конфігурацію рейки, що збереглася до нашого часу.

Паралельно розвивалися й сухопутні транспортні засоби з паровим двигуном. Вже до початку XIX століття був створений паровий автомобіль **Річарда Тревітіка** (1771 – 1833), і для створення першого паровоза залишалося тільки поставити екіпаж на рейки, що і зробив Тревітік в 1803 році він побудував свій паровоз «Непереможний» на замовлення металургійного підприємства в Південному Уельсі для заміни кінної тяги на рейкової дорозі, по якій возили вугілля. Рейки були кутові, тому колеса діаметром 1372 мм

гребенів не мали. Маса паровоза була приблизно 5 т. Хоча швидкість досягала 8 км/год, шлях в 16 км паровоз зі складом загальною масою 25,4 т подолав за 4 години і 5 хв. Це пов'язано з частими зупинками через поломки рейок, чого не було при використанні кінної тяги. Замість того щоб посилити рейковий шлях господар паровоза Гомфрен використовував його в якості стаціонарної установки для відкачування води. Усі наступні проекти Тревітіка з різних причин не були реалізовані. Помер він у злиднях, хоча його ідеї знайшли широке застосування.

У період 1810 – 1813 років низка винахідників створили більш досконалі локомотиви. У 1812 році інженер **Муррей** створив паровоз «Бленкінсоп», який пересувався звичайними рейками. Однак в рух його приводило зубчасте колесо, яке котилося зубчастою рейкою, розташованої поруч зі звичайними рейками. Паровоз Муррея возив вугілля до 1834 року, пропрацювавши 22 роки. Пізніше було доведено, що гладке колесо, яке котиться по гладкій рейці, повною мірою може забезпечити тягу локомотиву. У наш час зубчасті залізні дороги збереглися тільки на гірських ділянках з дуже великими підйомами.

Рис. 8.12. Паровоз Тревітіка

Рис.8.13. Паровоз «Бленкінсоп»

У 1813 році **Блекет** і **Хьодлі** побудували паровоз «Пихкаючий Біллі» з гладкими провідними колесами, який працював на Вулатській дорозі 50 років. Пізніше він став експонатом Кенсінгтонського музею в Лондоні і є найстарішим зі збережених паровозів.

А найвдалішими виявилися паровози, спроектовані і побудовані **Джорджем Стефенсоном** (1781 – 1848). У 1814 році він створив свій перший паровоз «Блюхер», а в наступні роки ще безліч машин. Всі вони працювали на промислових дорогах невеликої довжини.

В результаті розвитку паровозів на порядок денний було поставлено питання створення міжміських доріг загального призначення. Будівництво першої в світі залізниці загального користування протяжністю 21 км між Стоктоном і Дарлінгтоном почалося в 1822 році. Для цієї дороги Стефенсон побудував три паровози типу «Locomotion» – «Саморух», потужністю 7–8 к.с., що забезпечують швидкість 13 км/год. Саме від його назви походить звичне слово «локомотив». Паровози «Саморух» безперервно пропрацювали до 1904 року, тобто більше 80 років. Будувалися вони на першому в світі паровозобудівному заводі в Ньюкаслі. 27 вересня 1825 року дорога була відкрита. У житті людства починалася нова епоха.

Однак паровози на дорозі Стоктон – Дарлінгтон водили тільки тихохідні вугільні склади. Пасажирів перевозили в спеціальних вагончиках, запрягаючи в них коней, оскільки паровози мали малу швидкість. Проте, експлуатація першої дороги приносила хороший прибуток, і в Англії була закладена дорога Ліверпуль – Манчестер.

Видатні інженери того часу зробили внесок у розвиток паровозів. Серед них можна відзначити **Тімоті Гакворта**, який створив тривісний паровоз «Король Георг» в якому запропонував цілий ряд нововведень, а саме:

- спарники для передачі обертання ведучих коліс;
- осьовий випуск м’ятої пари через конус в трубі для інтенсифікації подачі повітря в топку;
- ресори на двох передніх осях (задня щоб уникнути качки від сил інерції у вертикально розташованих циліндрах ресор не мала);
- насос для живлення котла водою;
- пружинний запобіжний клапан на котлі.

У 1828 році завод Стефенсона побудував для США паровоз «Америка». Він мав залізні бандажі коліс замість чавунних. Другим важливим нововведенням стало розташування циліндрів під нахилом 33°, що дозволило підвісити на ресорах всі осі.

У тому ж 1828 році **Марк Сеген** (1786 – 1875) поставив на паровоз Стефенсона, призначений для французької залізниці Ліон –

Сент-Етьєн жаротрубний котел. Його конструкція застосовувалася майже без змін протягом всієї подальшої експлуатації паровозів. Саме жаротрубний котел дозволив паровозу Стефенсона «Ракета» перемогти в 1829 році на знаменитому змаганні в Рейнхіллі і пройти дистанцію з вантажем в 13 т із середньою швидкістю 19 км/год при максимальній швидкості 48 км/год. Без вантажу «Ракета» показала швидкість 56 км/год. Вісім паровозів типу «Ракета» були замовлені для дороги Ліверпуль – Манчестер, відкритої 15 вересня 1830 року Вона стала першою в світі дорогою, де і вантажний, і пасажирський рух здійснювалося паровозами. Дорога Ліверпуль – Манчестер також стала еталоном при створенні залізниць не тільки в Англії, але і в інших країнах по влаштуванню рейкового шляху, паровозам, вагонам і різних інженерних споруд. До сих пір 75% доріг мають стефенсонівську ширину колії (1435 мм). «Ракета» стала прообразом і першого російського паровоза, який в 1833 році створили батько і син **Черепанови** на Уралі.

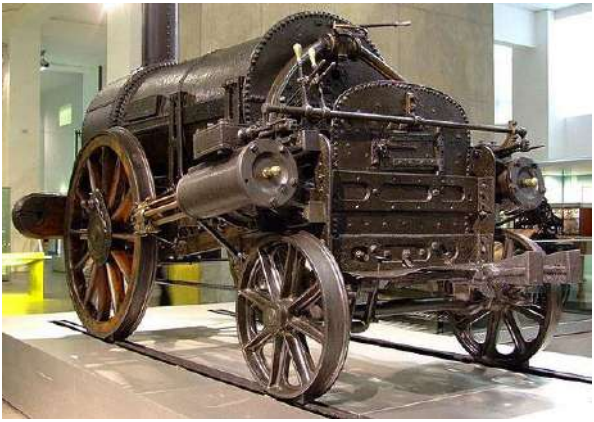

Рис. 8.14. Паровоз Стефенсона «Ракета»

У 1830-і роки в Англії розгорнулося масштабне будівництво залізниць. Крім того їх стали будувати відразу в декількох державах Європи і в Америці. Це зажадало різкого збільшення випуску паровозів і відповідно заводів по їх випуску. Тоді ж було закладено класичний тип паровоза. Парові машини, як правило, мали два циліндра. До паровозу стали чіпляти спеціальний вагон з запасом

води і палива – тендер. На цьому можна вважати закінчився період формування паровоза.

Обсяги перевезення пасажирів на лінії Ліверпуль – Манчестер перевершили очікування, що викликало поділ паровозів на пасажирські і вантажні. Зростання розмірів двохосьових паровозів привело до того, що через коротку базу локомотив став схильний до сильних бокових коливань, що в свою чергу негативно впливало на шлях. У зв'язку з цим на паровозі встановили підтримуючу вісь. Це дало такі хороші результати, що повсюдно двовісні паровози більше не будували, перейшовши до тривісних.

Найпотужнішим локомотивом в світі став вантажний паровоз Стефенсона «Атлас» з трьома провідними колісними парами і внутрішніми циліндрами. У 1835 році Стефенсон також побудував і дуже вдалий пасажирський паровоз «Патентований». Для кращого проходу поворотів провідні (середні) колеса не мали гребенів на бандажах. Саме паровози цієї серії стали основою паровозного парку в Великобританії і копіювалися в різних країнах. П'ять таких паровозів обслуговували першу в Росії залізницю Санкт-Петербург – Царське Село.

Рис. 8.15. Паровоз Стефенсона «Патентований»

У паровозах також стали застосовуватися двоциліндрові компаунд-машини. Однак їх істотним недоліком стала неможливість зрушення паровоза при зупинці в мертвій точці поршня в циліндрі високого тиску. Для подолання цього недоліку паровози з компаунд-

машиною оснащувалися складними приладами зрушення, короткочасно пускають свіжий пар одночасно в обидва циліндра. Надалі поліпшення економічності паровозів стали домагатися шляхом перегріву пари і від компаунд-машин в локомотивобудуванні відмовилися.

8.5. Розвиток металургії

Збільшення числа машин викликало підвищену потребу в металі, що потребувало розвитку металургії. Головним досягненням цієї епохи в металургії була заміна деревного вугілля, що використовувався середньовічними ковалями, на кам'яно-вугільний кокс. Його ввів у вжиток ще в XVII ст. Клемент Клерк і його майстри ковальських справ і лиття.

З 1709 року в містечку Коулбрукдейл **Абрахам Дарбі**, засновник цілої династії металургів і ковалів, використовував кокс для отримання чавуну з руди в доменній печі. З нього спочатку робили лише кухонне начиння, яке відрізнялося від виробів конкурентів лише тим, що його стінки були тоншими, а вага меншою. У 1750-х роках син Дарбі побудував ще кілька доменних печей, і до того часу його вироби стали ще й дешевшими, ніж виготовлені на деревному вугіллі. У 1778 році онук Дарбі, **Абрахам Дарбі III**, зі свого лиття побудував в Шропширі знаменитий Залізний міст, перший міст в Європі, що повністю складався з металевих конструкцій.

Для подальшого поліпшення якості чавуну в 1784 році **Генрі Корт** розробив процес пудлінгування. Зростання виробництва і поліпшення якості англійського металу до кінця XVIII ст. дозволило Великобританії повністю відмовитися від імпорту шведського і російського заліза. Розгорнулося спорудження каналів, які давали можливість перевозити вугілля і метали.

До кінця XVIII століття переважна частина чавуну вже виплавлялася на коксі, була вдосконалена система завантаження домен, почали застосовуватися системи водяного охолодження склепінь печей. Завантажувальний пристрій для доменної печі винайшов у 1850 році англієць **Джордж Паррі**. Була вирішена і проблема гарячого дуття і можливість використання доменних газів, які утворюються в печі та раніше йшли в атмосферу. Перше

дослідження з питання використання доменних газів опублікував в 1814 році французький дослідник П'єр Бертьє. У 1857 році англійський інженер **Едуард Альфред Каупер** (1819 – 1893) винайшов тепловздуховий апарат (Каупер), що став постійним супутником доменних печей.

Різке зростання машинобудування і металообробки поставив питання не тільки про збільшення виплавки чавуну, а й переробки його в залізо. Однак зі зростанням виплавки чавуну в цьому питанні намітилося відставання. Це пов'язано із застосуванням малоефективного і недосконалого способу переділу чавуну на залізо кричних горнах, які працювали на деревному вугіллі. Тільки в 1766 році англійці, брати **Томас** і **Джордж Кранеджі**, переконструювали крічний горн в газополум'яної піч, а їх співвітчизник, майстер **П. Оньєн** запропонував в 1783 році спосіб переділу чавуну в залізо, нагадує пудлинговання (від англ. Pudding – перемішувати).

Рік по тому інший англійський металург Генрі Корт запатентував пудлінгову піч, на поду якої здійснювалося пудлінгування, яке остаточно витіснило «кричний переділ». Суть пудлінгування полягало в тому, що розплавлений чавун вручну перемішували металевою штангою, в процесі чого на неї налипав метал, а розплав ставав більш в'язким. На кінцевій стадії процесу утворилася важку тістоподібну масу розламували ломами на кілька шматків і потім знову сплавляли їх в печі. Для отримання заліза з чавуну процес плавки повторювали до 9 разів. Також Генрі Корт в 1783 році встановив в Ланкастері перший прокатний стан.

Розширення виробництва сталі зажадало заміни існуючих в той час чисто емпіричних методів дослідження науковими. З'явилася нова наука – металознавство, яка тісно пов'язана з металофізикою і представляє наукову основу для отримання металів з заданими властивостями. Її основоположником був начальник Алтайських гірських заводів і Томський цивільний губернатор **Павло Петрович Аносов** (1796 – 1851). Він першим почав дослідження впливу на сталь різних елементів, і першим довів, що фізико-хімічні та механічні властивості сталі можуть бути значно змінені і поліпшені добавками деяких легуючих елементів. Він став зачинателем виробництва спеціальних сталей – титанових, марганцевих,

хромистих й ін. Російський учений заклав основи металографії, вперше застосувавши в дослідженнях будови сталі мікроскоп. Аносов також розкрив втрачені секрети булатної сталі, виробленої в давнину і в середньовіччі у східних країнах.

Однак найактуальнішою проблемою в XIX столітті було здешевлення стали і її виробництво у великому обсязі. Англійський винахідник **Генрі Бессемер** (1813 – 1898), займаючись поліпшенням якості сталі для гарматних стволів, розробив в 1856 році спосіб отримання сталі без додаткового нагріву. Для цього в резервуарі грушоподібної форми (бесемерівський конвертер), через розплав чавуну продувався повітря. У 1860 році був винайдений конвертер, який обертається, з подачею повітря крізь днище.

На перших етапах в промислових обсягах сталь виходила низької якості, проте роки праці принесли свої плоди, вчений виробив спосіб видалення шкідливих домішок – сірки і фосфору. У результаті була отримана добра низьковуглецева сталь.

У 1856 році англійський металург **Роберт Форест Мюшет** (1811 – 1891) отримав патент на дуже схожий з бесемерівським процес, відмінність якого полягала в тому, що зміст включень, які випалюваних повністю потоком повітря, регулювалося добавкою так званого дзеркального чавуну, що містить марганець. Саме добавка марганцю в кінці продувки забезпечила успіх бесемерівського процесу. У 1857 році Мюшет зробив рейки зі сталі, а не з чавуну. Сталеві рейки були набагато міцніше чавунних, що дозволило робити їх довше. Це стало найважливішим фактором для розвитку залізниць в усьому світі. У 1868 році Мюшет ввів в легуючу добавку – приблизно 5% вольфраму і отримав інструментальну сталь, що володіє властивістю самозагартування.

Однак бесемерівський спосіб мав суттєві недоліки – великі обмеження по хімічному складу чавунів. У 1864 році французький артилерист **П'єр Мартен** (1824 – 1915) розробив спосіб отримання литої сталі в полум'яній регенеративній печі. Він використовував розроблений незадовго до цього німецькими інженерами Фрідріхом і Вільгельмом Сіменсами принцип регенерації тепла продуктів горіння. Отримані в мартенівських печах болванки прокочувалися потім в листи і профільні смуги. Цей спосіб забезпечив

промисловість недорогим будівельним матеріалом, більш міцним, ніж залізо. Мартенівський процес отримання стали доповнював бесемерівський, дозволяючи переробляти сталеві відходи бесемерівського виробництва, які накопичилися у великих кількостях на заводах. При цьому обладнання в мартенівському цеху коштувало набагато дешевше, ніж в бессемерівському.

Ще одним дуже важливим досягненням металургії став дешевий алюміній. Тривалий час вчені шукали способи отримання алюмінію, але метал виходив дуже дорогим. І тільки в 1886 році двоє молодих людей – американський студент **Чарльз Мартін Холл** і французький інженер **Поль Луї Туссен Еру**, незалежно один від одного відкрили спосіб отримання алюмінію за допомогою розкладання електричним струмом оксиду алюмінію, попередньо розплавленого в кріоліті. Правда, електролітичний спосіб вимагав великої кількості енергії, але на той час вже були достатньо потужні електростанції. Цей дуже легкий метал не піддається корозії, стійкий до органічних кислот, досить пластичний для отримання прокату і дроту, добре заповнює форму при литві і має малий омічний опір. Це зробило його незамінним в техніці.

8.6. Наслідки промислової революції

Промислова революція (промисловий переворот, велика індустріальна революція) – це перехід від ручної праці до машинного, від мануфактури до фабрики, від аграрної економіки до індустріального виробництва. Термін «промислова революція» був введений в науковий обіг видатним французьким економістом Жеромом Бланкі. Промисловий переворот відбувався в різних країнах не одночасно, але в цілому можна вважати, що період цих змін починався від другої половини XVIII століття і тривав протягом XIX століття. Характерною рисою промислової революції було стрімке зростання продуктивних сил на базі великої машинної індустрії та затвердження капіталізму в якості панівної світової системи господарства.

Важливою складовою промислового перевороту було впровадження в транспорт і виробництво робочих машин і механізмів, які замінили ручну працю людей.

Механізація в першу чергу торкнулася ткацької промисловості – провідною галуззю XVIII століття. З нею пов'язана діяльність англійця **Едмунда Картрайта** (1743 – 1823). Він винайшов чесальну машину, парову обробку волокнистих речовин і в 1785 році ткацький верстат з ножним приводом, який в 40 разів збільшив продуктивність праці. За клопотанням 50 фабрикантів за свої винаходи Картрайт отримав від парламенту винагороду в 10 000 фунтів стерлінгів.

Розвиток буржуазного суспільства змінює не тільки економіку, політику і соціальні відносини, а й породжує зміни в свідомості людей. Характерною рисою промислової революції з'явився стрімке зростання продуктивних сил на базі великої машинної індустрії та затвердження капіталізму в якості панівної світової системи господарства. Промислова революція пов'язана не просто з початком масового застосування машин, а й зі зміною всієї структури суспільства. Вона супроводжувалася різким підвищенням продуктивності праці, швидкою урбанізацією, початком швидкого економічного зростання (до цього економічне зростання, як правило, було помітне лише в масштабах століть), історично швидким збільшенням життєвого рівня населення.

В результаті промислової революції з'явилося конвеєрне виробництво, на порядок підвищило продуктивність праці і підготувало суспільство масового виробництва. Вона дозволила протягом життя всього лише 3 – 5 поколінь перейти від аграрного суспільства (де більшість населення вело натуральне господарство) до індустріального.

ГЛАВА 9

Розвиток техніки в XIX столітті

9.1. Переворот в машинобудуванні

Перша половина XIX століття – час тріумфальної ходи парової машини. Парова машина, яка спочатку служила водяним насосом, була пристосована для дуття в горнах, кування заліза, а також для заміни водяного колеса в силових установках. Машинна індустрія, заснована на паровому двигуні як джерелі енергії, охоплювала все нові і нові галузі промисловості. На зміну гужовому транспорту прийшли залізні дороги і парові автомобілі та трактори, парові машини на водному транспорті витісняли вітрила і весла.

Провідною на початку XIX століття залишалася ткацька промисловість. Саме її в першу чергу торкнулася механізація. Створювалися ткацькі верстати, вже розраховані на застосування парового двигуна. У 1804 році **Жозеф Марі Жаккар** (1752 – 1834) створив ткацький верстат з програмним управлінням, здатний автоматично ткати мереживну тканину. Управління вперше здійснювалося за допомогою перфокарт. У 1825 – 1830 роках англійський механік **Річард Робертс** (1789 – 1864) винайшов автоматичну прядильну машину. Механізуються і праця швачки, з’являється

безліч варіантів швейних машинок, найвдалішою з яких стає машинка американця **Ісаака Меррита Зінґера** (1811 – 1875), який винайшов для неї човник.

На початку XIX століття відбувається переворот в машинобудуванні. Слід зауважити, що на початку XIX століття найпередовішим було англійське машинобудування, воно значно випереджало машинобудування країн континентальної Європи. На зміну старому токарному верстату приходять нові високоточні автоматичні верстати. Початок автоматизації поклав англійський винахідник і промисловець **Генрі Модслі** (1771 – 1831). Він винайшов безліч верстатів, в тому числі поперечно-стругальний верстат з кривошипно-шатунним механізмом і механізований супорт токарного верстата, що дозволяє незалежно переміщати різець в двох взаємно перпендикулярних напрямках. А його токарно-гвинторізний верстат став першим металорізальним верстатом, що дозволив стандартизувати розміри різьби. Це поклало початок стандартизації деталей, що мала величезне значення для розвитку машинобудування. Модслі також уперше об’єднав верстати в одну потокову лінію. У 1794 році Генрі Модслі винайшов «хрестовий супорт», що являв собою дві каретки, які могли незалежно переміщатися в двох взаємно перпендикулярних напрямках за допомогою гвинта.

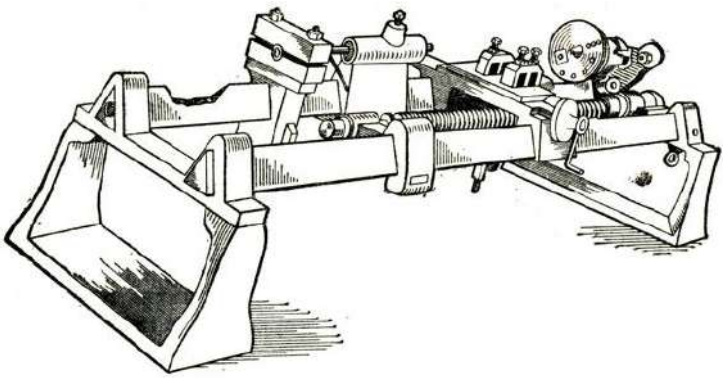

Рис. 9.1. Токарно-гвинторізний верстат Генрі Модслі

Великий внесок у розвиток машинобудування вніс американський винахідник і промисловець **Елі Вітні** (1765 – 1825). Він створив бавовноочищувальну машину і один із перших фрезерних верстатів. Однак найголовнішим його досягненням стало те, що Вітні заклав основи організації масового виробництва в машинобудуванні. У 1800 році він побудував мушкетний завод, на якому вперше впровадив принцип взаємозамінності деталей на складанні. Нові токарні та фрезерні верстати дозволили замінити ручну працю при високоточній обробці металів.

Так зароджувалося велике виробництво. На фабриках і заводах робочі машини приводилися в дію спільним центральним двигуном (паровою машиною), а передача енергії проводилася за допомогою механічної, як правило, пасової трансмісії. До кінця XIX століття на зміну паровій машині приходять нові теплові двигуни, а механічний привід витісняється електроприводом. Поява металорізальних верстатів, таких як токарний, дозволили спростити процес виготовлення металевих частин парових машин і надалі створювати все більш досконалі верстати для різноманітних цілей. Упровадження точних верстатів не тільки підвищило продуктивність праці, а й дозволило використовувати працю менш кваліфікованих робітників і тим самим розширювати виробництво. У військовій справі впровадження високоточних верстатів дозволило перейти до нарізної, а пізніше і казнозарядної зброї.

Великий внесок у розвиток верстатобудування вніс шотландський астроном і інженер **Джеймс Несміт** (1808 – 1890). У 1829 – 1831 роках він побудував фрезерний верстат з ділильною головкою для кріплення заготовки. Це пристосування використовується до нашого часу. У 1842 році Несміт запатентував паровий молот. Перші молоти використовували вільне падіння, але пізніше було зроблено підсилене падіння. Оператор отримав можливість керувати силою кожного удару. Несміт любив хвалитися можливістями молота. Спочатку молот розбивав яйце, поміщене в фужер, не пошкоджуючи келиха, а потім наносив удар в повну силу, який стрясав будинок. Молот Несміта набув широкого поширення, до 1856 року було вироблено 490 одиниць, які продавалися не тільки в Європі, але і в Індії і навіть в Австралії.

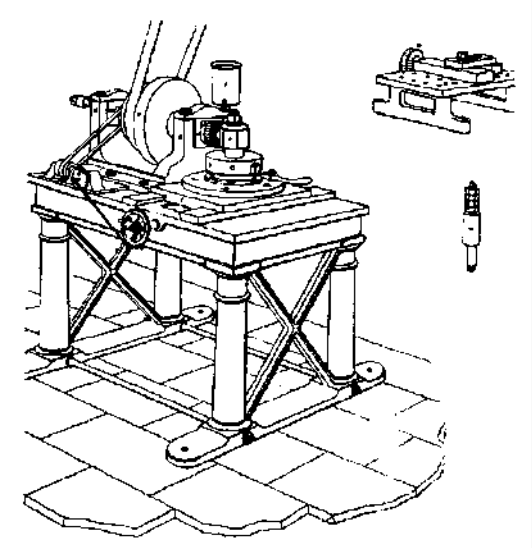

Рис. 9.2. Фрезерний верстат Джеймса Несміта

Принцип парового молота Несміт застосував в машині для забивання паль, яку він виготовив у 1843 році. При демонстрації можливостей нової машини 3 липня 1845 році палю довжиною 21 м вона забила за чотири з половиною хвилини, в той час як традиційним методом на це було потрібно дванадцять годин.

Несміт був також одним з перших виробників інструментів, який запропонував стандартизацію ряду верстатів, до нього виробники виготовляли інструменти у відповідності зі специфікаціями індивідуальних клієнтів, мінімумом стандартизації, що викликало проблеми сумісності.

Ще одним з досягнень промислової революції стало вуличне освітлення. Його поява в британських містах стала можливою завдяки шотландському інженерові **Вільяму Мердоку** (1754 – 1839). Ним було винайдено процес отримання світильного газу шляхом піролізу кам’яного вугілля, а також способи його накопичення, транспортування і використання в газових ліхтарях. Світильний газ – суміш водню (50%), метану (34%), окису вуглецю (чадний газ – 8%) та інших горючих газів, що отримується при піролізі кам’яного вугілля або нафти. Перші газові світильники були

встановлені в Лондоні в 1812 – 1820 роках. Незабаром велика частина вугілля, що видобувалася у Великобританії, йшла на потреби освітлення, так як воно не тільки підвищувало комфорт і безпеку на міських вулицях, а й сприяло подовженню робочого дня на фабриках і заводах. Раніше заводи освітлювалися дорогими свічками і масляними лампами.

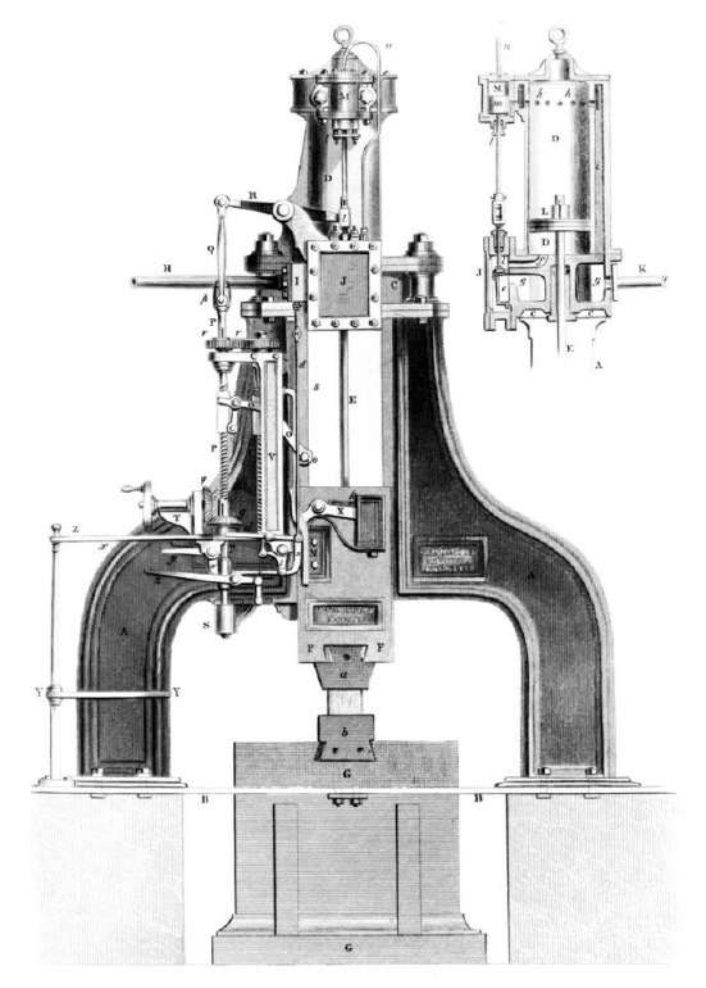

Рис. 9.3. Паровий молот Джеймса Несміта

Друга половина XIX століття – це період розвиненого капіталізму. До провідних капіталістичних країн приєдналися Німеччина, що стала в 1871 році єдиною державою, і США, в яких після громадянської війни 1861 – 1865 роках бурхливо розвивається промисловість. Ці країни наздоганяють Англію в промисловому розвитку, а до кінця століття США навіть починають її випереджати. Після скасування в 1861 році кріпосного права на шлях капіталістичного розвитку стає і Росія.

Політичні умови для стрімкого зростання капіталізму були створені в США після перемоги у війні за незалежність. Це – всебічна підтримка урядом підприємництва і відсутність цехових організацій. Важливу роль також відігравало використання досвіду англійських промисловців. Високими темпами розвивалося верстатобудування, текстильна і харчова промисловість. Ще більше сприяла промисловому розвитку перемога жителів Півночі в громадянській війні. Важливим стимулом розвитку промисловості стала дуже висока заробітна плата її працівників, що перевищувала європейську в кілька разів. Прискореному зростанню машинобудування США сприяло масове застосування парових машин, причому найпоширенішими стали економні та потужні машини Корлісса.

Швидкими темпами розвивається видобувна промисловість. До кінця XIX століття США посіли перше місце в світі з видобутку вугілля – основного джерела енергії в той час. Вони також обійшли Англію за обсягами виплавки чавуну і сталі. У 1850-і роках починається видобуток нафти. На початку XX століття США видобували більше половини мідної руди світу, вийшли на перше місце за видобутком нафти і цинку. У 1890-і роки розвиваються нові галузі промисловості – хімічна та електротехнічна, зароджується турбінобудування і автомобільна промисловість. За чисельністю машин, що випускалися, їх поширенню та якості Америка значно перевершила всі європейські країни, включно з Великобританією. Тому іноді цей період називають другою промисловою революцією.

9.2. Кораблебудування – найпрогресивніша галузь техніки в XIX столітті

Як приклад розглянемо розвиток кораблебудування – найбільш передової галузі техніки в XIX столітті. Хоча дерев'яні парусні кораблі, що складали основу флотів в першій половині XIX століття, мали водотоннажність до 5000 т і вражали уяву сучасників, вони були скоріше витвором мистецтва «майстрів доброї пропорції», ніж інженерною конструкцією. На рис. 9.4 представлено кресленник 120-гарматного лінійного корабля «Дванадцять апостолів», одного з останніх вітрильних кораблів і найбільшого в російському флоті (водотоннажність 4790 т).

На початку XIX століття на річках починають успішно експлуатуватися пароплави. Однак довгий час парові машини в військовому флоті вважалися допоміжними двигунами. Впровадження парового двигуна на бойових кораблях стримувалося недосконалістю колісного рушія. Громіздкі гребні колеса не дозволяли розташувати повноцінну бортову батарею, доводилося встановлювати в носовій і кормовій частинах корабля невелику кількість знарядь великого калібру. До того ж колеса були уразливі для вогню супротивника.

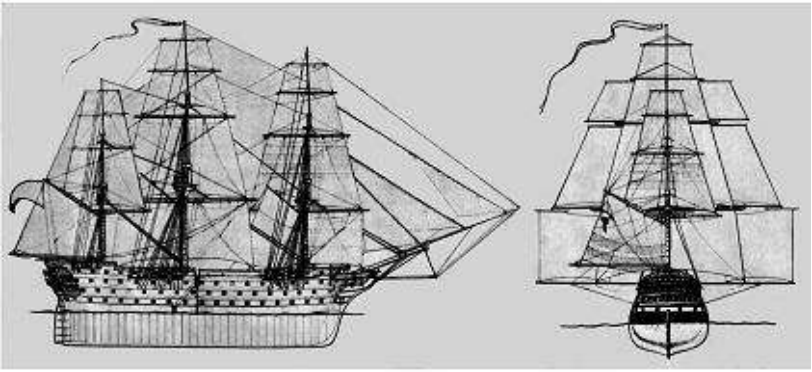

Рис. 9.4. Лінійний корабель «Дванадцять апостолів», Росія. Побудований в Миколаєві в 1841 році.

Упровадження гребного гвинта вирішило ці проблеми. Перший гвинтовий пароплав «Архімед» був побудований в Англії в 1838 році. У 1841 році до строю вступив французький гвинтовий

пароплавофрегат «Гомер», водотоннажністю 2700 т, озброєний 20 гарматами. Ходові якості гвинтових пароплавів виявилися значно вище, ніж у колісних.

У 1848 році у Франції був закладений перший в світі парусно-гвинтовий 90-гарматний лінійний корабель «Наполеон», водотоннажністю 5047 т. Дві парові машини сумарною потужністю 900 к. с. надавали йому швидкість 13,5 вузлів. У ряді країн частина вітрильних лінійних кораблів переобладнали в парусно-гвинтові, роблячи вставку з паровою машиною. Однак під час Кримської війни 1853 – 1856 років основна частина флотів не тільки Росії і Туреччини, але навіть таких промислово розвинених країн, як Англія і Франція, була парусною. Наприклад, з 16 лінійних кораблів союзників, які увійшли в Чорне море, тільки п'ять були гвинтовими, зберігали при цьому повне вітрильне оснащення. Тоді як у російському Чорноморському флоті всі 14 лінійних кораблів були вітрильними. Саме відсутність парових кораблів позбавила змоги Чорноморський флот дати бій противнику у відкритому морі, а досвід війни показав, що вітрильні судна віджили свій вік, і майбутнє – за пароплавами з гвинтовими рушіями.

Кримська війна справила величезний вплив на розвиток військово-морського флоту. Після неї бойові кораблі, які не мали машин, були виключені зі списків військових флотів. Остання битва вітрильного флоту при Синопі також показала велику вразливість дерев'яних кораблів від вогню тогочасних бомбічних гармат. Це призвело до створення броненосців. У 1859 році у Франції був введений в дію перший броненосний корабель «Ла Глуар» водотоннажністю 5600 т, озброєний 30 162-мм гладкоствольними гарматами, які розміщувалися в забронюваній батареї. Насправді це був не новий корабель, а перероблений за проектом інженера **Дюпюї де Лома** дерев'яний гвинтовий лінійний корабель типу «Наполеон», на якому була зрізана одна палуба для компенсації ваги броні.

Першим броненосцем, повністю побудованим з заліза, став англійський «Воріор» (1860). Застосування для конструкції корпусу заліза дозволило збільшити довжину корабля до 116 м, внаслідок чого водотоннажність зросла до 9 360 т. «Воріор» був озброєний 26 68-фунтовими (203 мм) гладкоствольними гарматами і 10 110-фунтовими (178 мм) нарізними казнозарядними гарматами Армстронга , які розміщувалися в казематі, захищеному 112-мм

бронею. Відсутність броні на краях корабля компенсувалася встановленням там водонепроникних перегородок. Однак казнозарядні гармати на той момент виявилися вкрай ненадійними, а гладкоствольні марними в бою з броньованими кораблями, і «Воріор» був переозброєний нарізними, але дульнозарядними гарматами. В даний час перший в світі броненосець зберігся і використовується в якості плавучого музею.

Розвиток металургії дозволив спочатку широко використовувати в кораблебудуванні залізо, а потім перейти до дешевшого, але міцнішого матеріалу – сталі. Будівництво залізних, а потім і сталевих кораблів з паровими машинами і гвинтовими двигунами вимагало застосування в суднобудуванні розрахунків на основі сучасних досягнень науки. У результаті з майстерності дерев'яної архітектури кораблебудування перетворилося в найбільш розвинену галузь промисловості, яка використовувала найрізноманітніші спеціальності. Будівництво гігантських броньованих кораблів потребувало розробки теоретичних основ будівельної механіки корабля, а також вивчення законів остійності і качки. На відміну від попередніх років, коли тип корабля не зазнавав суттєвих змін впродовж століть, в другій половині XIX і початку XX століть корабель часто встигав застарівати ще до спуску на воду.

Рис. 9.5. Броненосець «Воріор». Сучасний вигляд

Поява броненосців звела нанівець попередню потужність всіх військових флотів світу, що і послужило причиною поспішного швидкого будівництва нових кораблів. Якщо для прикриття корабля від вогню гладкоствольних гармат було досить тонкої залізної броні, то поява нарізних гармат змусила збільшувати її товщину. Це зі свого боку призвело до підвищення калібру артилерійських систем. Удосконалення броньового захисту змусило збільшувати калібр гармат, в результаті чого замість численної артилерії кораблі стали озброювати декількома гарматами великого калібру, які розміщувалися в барбетних або баштових установках. Уже в 1873 році. англійська фірма Армстронг побудувала 406-мм гармати. Чотирма такими артилерійськими системами (в двох баштах) був озброєний англійський броненосець «Інфлексібл», що зійшов на воду в 1878 році.

Ще більш потужні 450-мм гармати масою 100 т були виготовлені англійською фірмою «Елсвік» для італійських броненосців «Дуіліо» і «Дандоло» водотоннажністю 12 000 т, що вступили в дію в 1878 році. В результаті змагання між бронею і артилерією не лише збільшився калібр гармат, а й товщина броні досягла 600 мм. Гармати вітрильних кораблів розташовувалися на колісних лафетах і стріляли майже горизонтально, а енергія пострілу погашалась просто відкотом знаряддя по палубі. Для далекобійних нарізних артилерійських систем були створені лафети, які обертаються на платформі, а для погашення надзвичайно сильної віддачі почали використовувати гідрогальма. Дулова енергія баштових гармат броненосців «Інфлексібл» і «Дуіліо» перевищила енергію старих гладкоствольних гармат в 60 разів.

За якихось два – три десятка років у військовому флоті відбувся перехід від вітрильних дерев’яних кораблів, водотоннажність яких не перевищувала 5 000 т до сталевих гігантів, водотоннажністю 15 000 т. Для управління рухом і озброєнням цих кораблів використовувалося безліч механізмів.

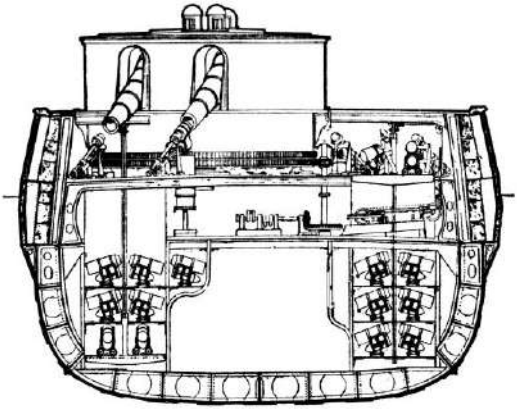

Рис. 9.6. Процес заряджання гармат броненосця «Дуіліо». Снаряди калібру 450 мм і масою 908 кг подавалися за допомогою спеціальних парових машин.

Те ж явище спостерігалося і в комерційному суднобудуванні. Так, вже в 1858 році в Англії був побудований гігантський пароплав «Грейт Істерн» водотоннажністю 32 700 т і довжиною 210,4 м. Пароплав призначався для вантажопасажирських перевезень і поряд з двома паровими машинами сумарною потужністю 7500 к. с., одна з яких працювала на гвинт, а друга приводила в рух гребні колеса, мав ще й шість щогл з вітрилами, площа яких сягала 3400 м^2. Щоправда, експлуатація цього гіганта виявилася економічно невигідною, і його використовували для прокладання трансатлантичного кабелю, а в 1890 році розібрали на металобрухт.

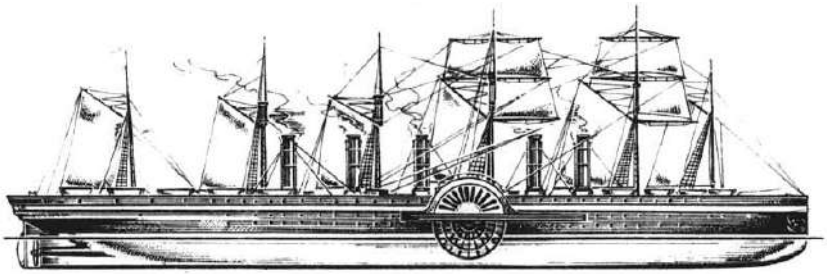

Рис. 9.7. Пароплав «Грейт Істерн»

Перехід на нові будівельні матеріали, що супроводжувався полегшенням суднових конструкцій, поставив перед суднобудівниками цілу низку нових проблем, в тому числі і динамічних, і потребував проведення нових типів розрахунку, таких як дослідження концентрації напружень, коливання суднових корпусів й ін. Основи будівельної механіки корабля заклав ще Л. Ейлером, який в 1770 році отримав премію Паризької Академії наук за мемуар «Дослідження зусиль, які повинні виносити всі частини корабля під час бічної і кільової качки». Ним були розроблені правила навантаження корабля, правила обладнання зв'язків і розроблена раціональна система конструкції дерев'яних суден. Через 100 років, в 1870 році цей мемуар послужив головному кораблебудувальнику Британського флоту **Едварду Ріду** (1830 – 1906) в розробці правил побудови залізних судів.

Особливі труднощі виникли, коли розміри судна збіглися з довжиною океанської хвилі (понад 130 м). Тоді корабель виявляється між гребенями двох хвиль (рис. 9.8, а) або повисає на гребені однієї хвилі посередині (рис. 9.8, б). Першими з цією проблемою зіткнулися англійські кораблебудівники, і кораблі, в яких довжина корпусу співмірна з довжиною хвилі, називаються суднами Ріда. До того ж корозійний вплив морської води може істотно знизити межу витривалості при циклічних навантаженнях. Ситуація, коли судно ламається в середній частині, не витримавши навантаження, досить поширений вид аварії.

У військовому кораблебудуванні потреби в динамічних розрахунках були вищими, так як корпуси військових кораблів легше комерційних, а машини у них більш швидкохідні. Крім того, вони повинні розраховуватися на такі навантаження як постріли зі своїх гармат, попадання ворожих снарядів і навіть гідравлічний удар при підводних вибухах.

Якщо спочатку парова машина служила в якості допоміжного двигуна, то з часом на військових кораблях від вітрил зовсім відмовилися, звернувши всю увагу на вдосконалення машин, потужність яких в лічені роки зросла в десятки разів. Збільшення потужності і швидкості парових машин при одночасному полегшенні конструкції корпусу породило проблему коливань останнього. Вирішення цього завдання зіграло велику роль в розвитку теорії

коливань континуальних систем. Друга глобальна проблема – крутильні коливання валів парових машин – також виникла вперше в суднобудуванні.

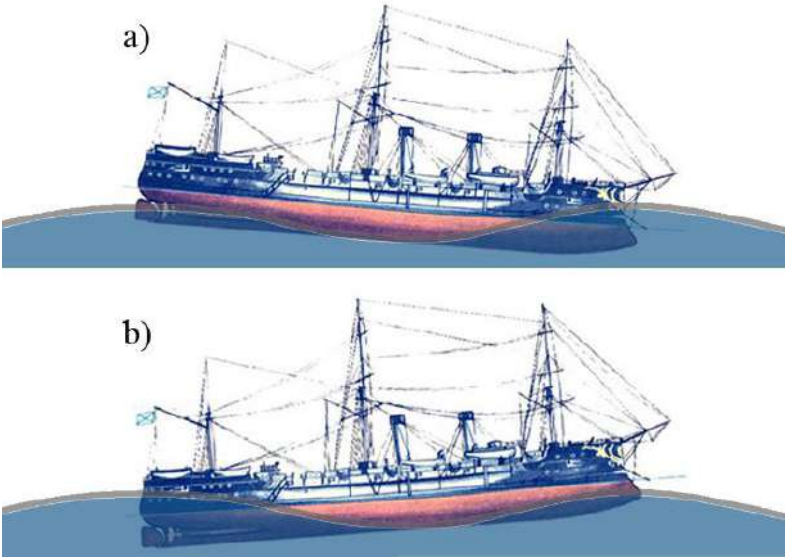

Рис. 9.8. Броненосний крейсер «Рюрик», Росія, 1892 рік. Довжина 132,6 м, водотоннажність 11 650 т. Дві парових машини загальною потужністю 13 250 к. с. дозволяли крейсеру розвивати швидкість близько 19 вузлів, а для більшої автономності плавання він зберігав ще повне вітрильне оснащення.

До кінця XIX століття в усіх флотах склався тип ескадреного броненосця – основного класу бойових кораблів. Як правило, він мав водотоннажність від 10 до 15 тис. т, озброювався чотирма 12-дюймовими (305 мм) гарматами, розташованими в двох баштах, 12 – 16 6-дм (152 мм), і безліччю малокаліберних гармат калібру 37–76 мм для захисту від міноносців. Обов’язковим атрибутом була також зброя ближнього бою – таран і торпедні апарати. Двигунами служили парові машини, що забезпечували швидкість 16 – 18 вузлів. Бронею товщиною 200 – 300 мм прикривалися життєво важливі ділянки, в тому числі артилерія великого калібру і бойові рубки, а також був броньовий пояс по ватерлінії. Основна частина надводного борту броні не мала.

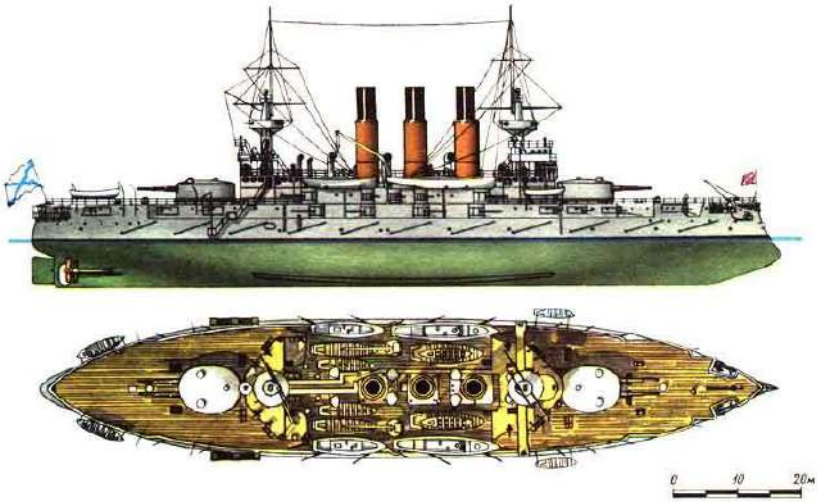

Рис. 9.9. Ескадрений броненосець «Ретвізан», Росія, 1901 г. Довжина 117,9 м, ширина 22 м, осадка 7,9 м, водотоннажність 13 106 т, потужність машин 17 600 л. с., швидкість 18 вузлів, бронювання до 229 мм, озброєння: 4 × 305-мм гармати, 12 × 152-мм, 20 × 75-мм, 24 × 47-мм, 8 × 37-мм, 2 × 63,5-мм десантних гармат, 4 кулемети, 6 торпедних апаратів калібру 380 або 450 мм. Броненосець будувався в Філадельфії (США) за російським кресленниками і був в роки Російсько-японської війни одним з кращих кораблів Російського флоту.

9.3. Історія розвитку електротехніки

Розвиток електротехніки починається в 1800 році з відкриття **Алессандро Вольта** (1745 – 1827) хімічного джерела струму. Оскільки вольтів стовп був малопотужним і ненадійним в експлуатації, **перший період розвитку електротехніки** (1800 – 1831) був порівняно малоплодотворним для практики, але вельми багатим для вивчення властивостей електрики і потенційних можливостей її практичного застосування.

У 1800 році **Карлейль** і **Нікольсон** розклали за допомогою струму воду на водень і кисень. **У. Крейкшенк** показав в тому ж році, що й солі різних металів також розкладаються струмом. У 1801 році **У. Х. Вулстен** дослідним шляхом довів ідентичність струму, одержаного від вольтова стовпа, з тими зарядами, які виникають при

явищах статичної електрики. Було виявлено теплову дію струму – нагрівання провідника.

У 1802 році видатний російський фізик **Василь Володимирович Петров** (1761 – 1834) сконструював велику електричну батарею, що складається з 2100 мідно-цинкових елементів з електрорушійною силою близько 1700 В. Він досліджував властивості цієї батареї як джерела струму і показав, що її дія заснована на хімічних процесах між металами і електролітом. Одним з визначних успіхів вченого стало відкриття в 1802 році явища електричної дуги, яку він отримав між вугільними електродами. Петров довів можливість практичного застосування електричної дуги для цілей плавки, зварювання металів, відновлення їх з руд і освітлення. Тоді ж він виявив і явище тліючого розряду при проходженні електричного струму через розріджені гази. Виробляючи електроліз жирів і масел, Петров виявив ізоляційні властивості цих речовин. Результати своїх робіт він опублікував у 1803 році в книзі «Повідомлення про гальвано-вольтові досліди».

Й. В. Ріттер (1776 – 1810) в 1803 році виявив можливість акумулювання енергії гальванічного струму. У 1807 – 1808 роки **Г. Деві** (1778 – 1829) здійснив електроліз багатьох металевих солей і отримав метали в чистому вигляді (натрій, калій, кальцій, стронцій, магній, барій, бор).

Властивість струму майже миттєво поширюватися на великі відстані породило ідею використовувати його для створення електричного дротового зв’язку. Другою важливою властивістю була здатність струму розкладати рідини на складові частини. На цій основі **С. Т. Земмеринг** (1755 – 1830) побудував електролітичний телеграф, індикатором в якому служили бульбашки газу, утвореного при розкладанні рідини струмом. Для практики цей телеграф виявився непридатний, проте він пробудив загальний інтерес до такого виду зв’язку.

Друге застосування – гальванічний спосіб підриву мін на відстані. У 1812 році в Петербурзі на Неві, а в 1815 році в Парижі на Сені **Павло Львович Шиллінг** (1786 – 1837) демонстрував методи гальванічного вибуху підводних мін.

Важливе значення мало відкриття **Г. К.Ерстедом** (1777 – 1851) в 1819 році електромагнетизму, тобто дії струму на магніт. Досліди Ерстеда, продовжені і розвинені Араго, Ампером та ін., привели до створення соленоїда, мультиплікатора, електромагніту і

гальванометра. Досліди Барлоу, Фарадея і Генрі показали можливість перетворення електричної і магнітної енергії в механічну, тобто можливість створення електродвигуна, якого дуже потребувала промисловість, яка бурхливо розвивалася. Однак гальмом було те, що хімічні джерела струму були придатні тільки для лабораторних випробувань. Відкриття в 1821 році **Т. Є. Зеєбеком** (1770 – 1831) термоелектрики також не забезпечило створення придатних для практики генераторів.

У цей період **Андре Марі Ампер** (1775 – 1836) розробив багато питань взаємодії струмів, узагальнені в опублікованій в 1826 – 1827 роках теорії електродинамічних явищ; почав свої експерименти, в області індукції **Майкл Фарадей** (1791 – 1867). **Ж. Б. Біо, Ф Савар** і **П. Лаплас** дали математичний вираз для сили взаємодії між струмами і магнітами, а Ампер для сили взаємодії між струмами.

У 1826 році **Георг Ом** (1787 – 1854) експериментальним шляхом відкрив основний закон електричного кола і ввів поняття опір. Він також навчився обчислювати опір металевих провідників. Вчений світ спочатку не сприйняв закон Ома. Першими його визнали російські фізики Ленц і Якобі. І тільки в 1842 році до Ома прийшло визнання – Лондонське королівське товариство нагородило його золотою медаллю.

Таким чином, в першому періоді розвитку електротехніки були створені передумови для її розвитку, для подальших застосувань електричного струму.

З видатного відкриття Майкла Фарадея явища електромагнітної індукції починається **другий період розвитку електротехніки** (1831 – 1867). До відкриття способу перетворювати магнетизм в електрику застосування останнього не виходило за межі дослідів і наукових розваг. Вся сучасна електротехніка, заснована на застосуванні великих струмів, має своїм джерелом відкриття Фарадея. Крім цього Фарадей відкрив кількісні закони електролізу.

Однак в цей період, незалежно від відкриття Фарадея розвивалися й ті області електротехніки, для яких було досить імпульсів або малих струмів. У 1828 – 1832 роки Шиллінг створив придатний для практики електромагнітний телеграф, використавши в якості індикатора переданих за певним кодом імпульсів мультиплікатор. Цим він відкрив шлях багатьом вченим в цій області, таким як **Якобі, Морзе, Уітстон** та ін. Телеграфія в 1840-і роки стала основною сферою застосування електричного

струму. І до кінця 1860-х років. Європа і Північна Америка були покриті густою мережею телеграфних ліній. Що стосується підводних ліній, то спочатку вони були прокладені через річки, а в 1850 році був прокладений кабель через Ламанш, правда лише через рік вдалося домогтися доброї якості зв'язку. У 1856 році була утворена Атлантична телеграфна компанія для облаштування телеграфного зв'язку між Англією і США. Крім величезних коштів, до її роботи були залучені великі наукові сили на чолі з У. Томсоном (лорд Кельвін). Довжина цієї лінії становила 3600 км. У 1866 році після десяти років важкої праці і усунення численних аварій і несправностей зв'язок між Європою та Америкою було, нарешті, встановлено. Розвиток телеграфу відіграв важливу роль в розробці і встановленні системи міжнародних електричних одиниць, сприяв виникненню і вдосконаленню електрометрії і побудові вимірювальних приладів.

Електромагнітний принцип використовували винахідники для створення електродвигуна. Перші електромотори були з постійними магнітами. Спочатку з'явилися електротехнічні пристрої зі зворотно-поступальним або гойдальним рухом якоря, які не знайшли практичного застосування. У 1834 році російський вчений **Борис Семенович Якобі** (1801 – 1874) створює перший в світі електродвигун з безпосереднім обертанням робочого валу. Обертальний рух якоря в двигуні Якобі відбувався внаслідок поперемінного притяжіння і відштовхування електромагнітів. Нерухома група U-образних електромагнітів живилася струмом безпосередньо від гальванічної батареї, причому напрямок струму в цих електромагнітах залишався незмінним. Рухома група електромагнітів була підключена до батареї через комутатор, за допомогою якого напрямок струму в кожному електромагніті змінювався раз за один оберт диска. Полярність електромагнітів при цьому відповідно змінювалася, а кожен з рухомих електромагнітів поперемінно притягався і відштовхувався відповідним нерухомим електромагнітом, внаслідок чого вал двигуна починав обертатися. Потужність такого двигуна становила всього лише 15 Вт.

У 1839 році Якобі побудував човен з електродвигуном потужністю 1 к. с., який працював від 69 гальванічних елементів Грове і рухав човен з 14 пасажирами по Неві проти течії. Це стало першим практичним застосуванням електромагнетизму для пересування. Однак для широкого застосування електромоторів необхідні були

надійні джерела струму, якими не могли служити батареї гальванічних елементів.

Рис. 9.10. М. Фарадей

Рис. 9.11. Б. С. Якобі

Академік Якобі в 1838 році винайшов гальванопластику. Ця технологія швидко поширилася в Російській імперії. Зокрема, у такий спосіб були створені скульптури на нефах Ісаакіївського собору в Санкт-Петербурзі. Борис Семенович отримав за це відкриття Демидівську премію і золоту медаль Паризької виставки.

У цей час велися досліди і в галузі використання струму в електротермічних процесах. **Джеймс Прескотт Джоуль** (1818 – 1889) в 1841 році і незалежно від нього в 1842 році **Емілій Християнович Ленц** (1804 – 1865) відкрили закон виділення теплоти при проходженні струму – закон Джоуля – Ленца. Крім того Джоуль визначив механічний еквівалент тепла. Це зіграло величезну роль у встановлення закону збереження і перетворення енергії. Ленц сформулював правило, за яким наведений струм завжди спрямований так, що його магнітне поле протидіє процесам, що викликають індукцію. Відзначимо також встановлені **Робертом Густавом Кірхгофом** (1824 – 1887) закони розгалуженого електричного кола і роботи Вебера і а в області теорії магнетизму.

Найбільший інтерес у другому періоді розвитку електротехніки, після телеграфії, викликало електричне освітлення. Тоді

вже були створені основні типи дугових ламп і безліч ламп розжарювання.

Але для всього цього було потрібно надійне джерело дешевої електроенергії. Таким став електромашинний генератор, заснований на принципі електромагнітної індукції, відкритої Фарадеєм. Створенню його сприяв розвиток науки. Познайомившись з експериментальними дослідженнями Фарадея в області електрики, Максвелл зрозумів, що для торжества і розвитку його ідей необхідно перекласти їх строгою математичною мовою. У 1873 році він створив узагальнюючу теорію електрики і магнетизму.

Третій період розвитку електротехніки (1867 – 1891) почався в той час, коли на основі явища електромагнітної індукції та принципу самозбудження («динамоелектричних принцип») був побудований генератор Грамма, що давав дешеву електроенергію. У третьому періоді використовувався в основному постійний струм, і відбувався подальший розвиток його неенергетичного застосування – телеграфія, телефонний зв'язок, електрична сигналізація, автоматичні пристрої і ін. Однак при цьому в області енергетичних застосувань відбувається поступовий перехід від дослідів до практики.

У другій половині 1870-х років, завдяки роботам **Павла Миколайовича Яблочкова** (1847 – 1894), з'явилися генератори однофазного змінного струму. Вони отримали застосування лише завдяки свічці Яблочкова. Вона являла собою два стрижня, затиснутих в клемах підсвічника та розділених ізоляційною прокладкою з каоліну. На верхніх кінцях запалювався дуговий розряд, і полум'я дуги яскраво світило, поступово спалюючи вугілля і випаровуючи ізоляційний матеріал.

П. М. Яблочков сконструював перший генератор змінного струму, який, на відміну від постійного струму, забезпечував рівномірне вигорання вугільних стрижнів і не вимагав регулятора. Він першим застосував змінний струм для промислових цілей, створив трансформатор змінного струму, електромагніт з плоскою обмоткою і вперше використав статичні конденсатори в ланцюзі змінного струму. Яблочков перший в світі створив систему електричного освітлення з великою кількістю свічок, які живляться від одного генератора змінного струму. Свічка Яблочкова дала можливість встановити електричне освітлення в громадських

приміщеннях, вулицях, парках і т.д. У 1879 році була винайдена лампа розжарювання Т. Едісона.

У 1880-і роки з'являються перші лінії електрифікованого залізничного транспорту, в тому числі й міські (трамваї), винайдена електрозварювання, будуються електричні печі, підйомники і інші транспортуючі пристрої. Електрика широко впроваджується в хімічні технології (електроліз). У цей час яскраво розквітає талант **Томаса Алва Едісона** (1847 – 1931). Ще в 1870-і роки він удосконалив телеграф, телефон, кіноапаратуру, винайшов фонограф. Едісон розробив один з перших комерційно успішних варіантів електричної лампи розжарювання, ідея якої належить російському винахіднику **Олександру Миколайовичу Лодигіну** (1847 – 1923).

У 1882 р Едісон запустив в експлуатацію першу в світі масштабну електромережу, яка постачала електроенергією 59 клієнтам в районі Нью-Йорка Нижній Манхеттен. Мережа була постійного струму, напругою 110 В. Винахідник заснував компанію Edison General Electric з виготовлення електрогенераторів, лампочок, кабелів і освітлювальних приладів. У 1892 році компанія Едісона об'єдналася з іншими компаніями в корпорацію General Electric. Томас Едісон поєднував талант винахідника з даром організатора «винахідницької індустрії». У 1889 році на Всесвітній промисловій виставці в Парижі він продемонстрував європейцям плоди своєї творчості: телеграф, телефон, фонограф, різні електротехнічні прилади.

Тимчасові переваги змінного струму з відмиранням свічки Яблочкова та широким розповсюдженням електродвигунів постійного струму, зміцнили позиції прихильників останнього. Однак збільшення попиту на електроенергію і прагнення знизити її вартість, висунули проблему створення великих електростанцій і передачі енергії на великі відстані. У 1880 році **Д. А. Лачинов** і **М. Депре** встановили, що для зменшення теплових втрат треба передавати струм високої напруги. Всі спроби передавати постійний струм високої напруги, що виробляється спеціальними генераторами, успіху не мали. У 1885 році угорськими інженерами **М. Дері, О. Блатт і К. Циперновським** був створений промисловий тип однофазного трансформатора. Почалося будівництво електропередач на змінному струмі, однак однофазний струм не годився для застосування в електроприводах. Тому для цієї мети

застосовувалися старі електростанції постійного струму і старі генератори в режимі двигунів.

Незручність від існування двох електромереж були подолані за відкриттям Феррарiс явища магнітного поля і створенням на його основі двофазної (Нікола Тесла) і трифазної (Михайло Йосипович Доливо-Добровольський) систем.

Четвертий період розвитку електротехніки почався в 1891 році і триває досі. Його початок пов'язаний зі створенням лінії електропередачі трифазного струму Лауффен – Франкфурт протяжністю 175 км. Трифазний струм трансформувався, а працюючі на ньому електродвигуни володіли добрими пусковими якостями і допускали можливість перевантаження, забезпечуючи потреби електроприводу. У тому ж 1891 році з'являються парові турбіни Парсонса, придатні для установки на електростанціях. Завдяки економічності турбін Парсонса, яка в кілька разів вище, ніж у парових машин, електроенергія стала ще доступнішою.

У цей період широко проявляється талант **Ніколи Тесли** (1856 – 1943). Він добре відомий завдяки своєму внеску в створення пристроїв, що працюють на змінному струмі, багатофазних систем, синхронного генератора і асинхронного електродвигуна, що дозволили зробити так званий другий етап промислової революції.

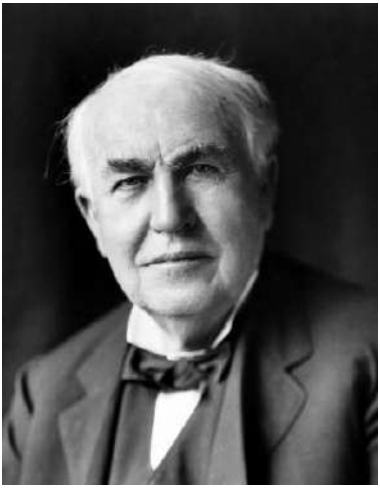

Рис. 9.12. Томас Алва Едісон

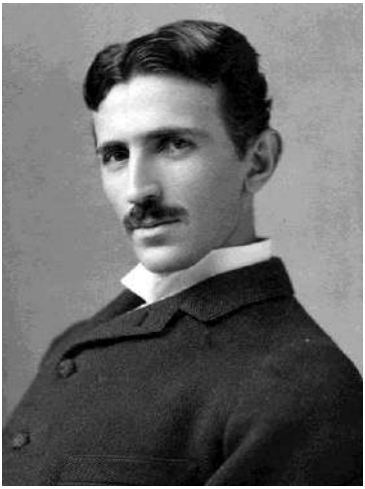

Рис. 9.13. Нікола Тесла

12 жовтня 1887 року Тесла дав науковий опис суті явища магнітного поля. 1 травня 1888 року він отримав свої основні патенти на винахід багатофазних електричних машин (в тому числі асинхронного електродвигуна) і системи передачі електроенергії за допомогою багатофазного змінного струму.

З 1889 році Тесла приступив до досліджень струмів високої частоти (ВЧ) і високих напруг. Винайшов перші зразки електромеханічних генераторів ВЧ (в тому числі індукторного типу) і високочастотний трансформатор (трансформатор Тесли, 1891 рік), створивши тим самим передумови для розвитку нової галузі електротехніки – техніки ВЧ. Він виявив, що при частоті понад 700 Гц електричний струм протікає по поверхні тіла, не завдаючи шкоди тканинам організму. Електротехнічні апарати, розроблені Теслою для медичних досліджень, отримали широке розповсюдження в світі.

Перехід до техніки дво- і трифазного змінного струму і вирішення проблеми передачі електроенергії на великі відстані стрімко збільшили можливості її використання в промисловості, на транспорті і в побуті. Умови економічності диктують створення потужних електростанцій поблизу джерел водної енергії або в місцях видобутку палива, і передачу вироблюваної енергії лініями високої напруги в міста і промислово розвинені райони. У результаті електростанції постійного струму, які були основними на початковій стадії електрифікації, поступово витісняються установками змінного струму. У другій половині 90-х років XIX століття в передових капіталістичних країнах широко розгорнулося будівництво електростанцій, які отримали назву районних. До 1900 року світове виробництво електроенергії досягло вже 15 млрд. КВт·год.

Першою районною електростанцією стала Ніагарська ГЕС (1895) в США. Вона використовувала двофазну систему, яку Тесла вважав найбільш економічною. Потужність найбільшої в ті роки станції склала 37 тис. КВт. Енергія від неї використовувалася в основному для електрохімічних і електротермічних виробництв, а її експлуатація показала високу економічність і послужила підставою для подальшого розвитку гідроелектроенергетики.

Рис. 9.14. Ніагарська ГЕС

Гідроелектростанції на початку XX століття набули великого значення не тільки в США, де їхня частка в загальному виробництві електроенергії склала в 1912 році 32%, а й у Франції, Італії, Швеції, Норвегії. Теплові електростанції часто служили лише резервом для роботи під час маловоддя. Винятком була Німеччина, де переважали теплові станції, розташовані поблизу покладів бурого вугілля.

Російська імперія на початку XX століття істотно відставала в промисловому розвитку від розвинених Західних країн. Росія по загальному виробленню електроенергії займала лише восьме місце в світі (2 млрд кВт·год в 1913 році), поступаючись лідеру, США, у 30 разів. Однак уже перед Першою світовою війною академіком **Володимиром Івановичем Вернадським** (1863 – 1945) був запропонований повноцінний проект електрифікації всієї країни.

До будівництва деяких електростанцій приступили. Так спорудження Волховської ГЕС потужністю 20 МВт почалося в 1910 році. Інші проекти залишилися тільки на папері – реалізації планів завадили війна і революція. Але ще до закінчення Громадянської війни в 1920 р, уряд РРФСР під керівництвом В. І. Леніна розробив перспективний план електрифікації країни. Для цього була створена Державна комісія з розробки плану електрифікації Росії під керівництвом Г. М. Кржижановського. До роботи комісії було залучено близько двохсот учених і інженерів. У грудні 1920 року вироблений комісією план ГОЕЛРО (скор. від Державна комісія з електрифікації Росії) був схвалений VIII Всеросійським з’їздом Рад, через рік його затвердив IX Всеросійський з’їзд Рад.

ГОЕЛРО був планом розвитку не лише самої енергетики, а й усієї економіки і передбачав зростання видобутку паливно-енергетичних ресурсів, а також будівництво великих споживачів електроенергії. У ньому передбачалося будівництво підприємств, що забезпечують ці будівництва всім необхідним, а також випереджаючий розвиток електроенергетики. План був розрахований на 10 – 15 років і передбачав будівництво 30 районних електричних станцій (20 теплових і 10 гідравлічних) загальною потужністю 1,75 млн кВт. Він охоплював вісім основних економічних районів (Північний, Центрально-промисловий, Південний, Приволзький, Уральський, Західно-Сибірський, Кавказький і Туркестанський). Паралельно вівся розвиток транспортної системи країни – відновлення старих і будівництво нових залізничних ліній, а також спорудження Волго-Донського каналу.

Уже в 1927 році кількість електростанцій зросла з 75 в 1917 році до 858. Серед них добудована до 1926 році Волховська ГЕС, і унікальна Шатурська електростанція, яка спочатку працювала на торфі. У 1927 році в Запоріжжі почалося і будівництво найбільшої в Радянському Союзі електростанції – знаменитого Дніпрогесу, завершене через п’ять років (на проектну потужність в 560 МВт він вийшов в 1939 році, після введення в експлуатацію додаткових агрегатів). Станція була найбільшою в Європі. Довжина її дамби становила 760 м, висота – 60 м, а радіус дуги – 600 м. Електроенергія Дніпрогесу була найдешевшою в світі і дозволила розгорнути в Запоріжжі масштабне металургійне виробництво.

План ГОЕЛРО став основою індустріалізації СРСР. До 1931 року він в основному був перевиконаний. А в 1932 році виробництво електроенергії в порівнянні з 1913 року збільшилося майже в 7 разів (з 2,0 до 13,5 млрд кВт·год), хоча планувалося збільшити його тільки в 4,5 рази. В результаті СРСР вийшов на третє місце в світі з виробництва електроенергії.

IV період характеризується величезним зростанням виробництва електроенергії на теплових і гідро-, а пізніше і атомних електростанціях. Електрика стає найважливішим виробничим чинником. Відбувається електрифікація промисловості, транспорту, побуту та сільського господарства, зароджуються і неймовірно розвиваються радіотехніка і електроніка. Масштаби виробництва електроенергії стають найважливішим показником розвитку держави.

Рис. 9.15. Мітинг, присвячений відкриттю 1 травня 1932 року Дніпровської гідроелектростанції імені В. І. Леніна.

Велике значення в розвитку міського господарства зіграла поява електротранспорту. Першим транспортом на електричній тязі, який отримав широке поширення, став трамвай. Цьому передувало застосування в містах рейкового громадського транспорту на кінній тязі – так званої конки.

Винахідником діючого трамвая є німецький інженер і підприємець **Вернер фон Сіменс** (1816 – 1892). У 1879 році на Німецькій промисловій виставці він продемонстрував іграшковий електровоз потужністю 3 к. с., який використовувався для катання відвідувачів по території виставки. Локомотив живився постійним струмом напругою 160 В від третьої рейки, швидкість становила 6,5 км/год.

У 1881 році електротехнічна фірма «Сіменс і Гальске», використовуючи ідею російського вченого **Ф. А. Піроцького** з передачі електричної енергії на відстань, побудувала в Берліні перший в світі електричний трамвай. У тому ж році Сіменс будує таку ж трамвайну лінію в Парижі. У 1885 році трамвай з’явився в англійському місті-курорті Блекпулі.

Рис. 9.16. Електровоз Сіменса (1879 р.)

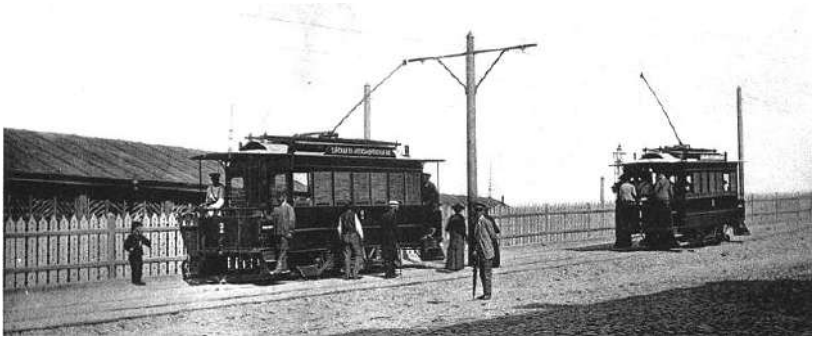

Рис. 9.17. Перший в світі берлінський трамвай наприкінці XIX століття

Перший тролейбус, як і трамвай, винайшов Вернер фон Сіменс. Компанія «Сіменс і Гальске» в 1882 році відкрила в передмісті Берліна експериментальну тролейбусну лінію довжиною 540 м. Знімання струму здійснювалося восьміколесним візком, що котився двома паралельними контактними дротами. Дроти розташовувалися досить близько один від іншого, і при сильному вітрі нерідко перехрещувалися, що призводило до коротких замикань. Більш надійний штанговий струмоприймач ще в 1888 році використовував

для трамвайної мережі Френк Спрейг. Однак на тролейбус штангові струмоприймачі Спрейга Макс Шиманов встановив лише в 1909 році. У вдосконаленому вигляді ця система застосовується до наших днів.

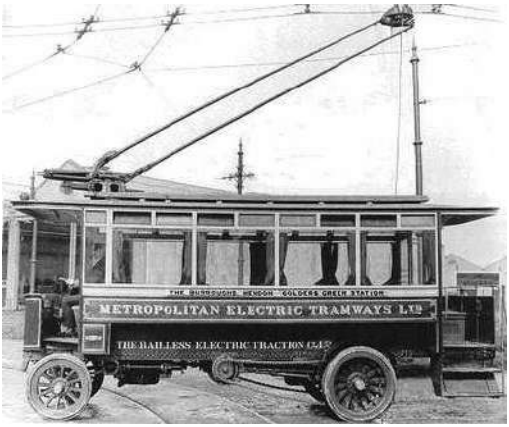

Рис. 9.18. Перший британський тролейбус

У наш час найбільша в світі кількість тролейбусних систем є в Росії – на початок квітня 2015 року їх було 85. А найдовшим тролейбусним маршрутом у світі є лінія Сімферополь – Алушта – Ялта в Україні. Його протяжність становить 86 км. На момент будівництва це була єдина в СРСР і Європі гірська міжміська тролейбусна лінія.

Значне поширення електротяга отримала на залізниці. Перший електровоз побудував в 1883 році американський винахідник **Лео Дафт** (1843 – 1922). Його локомотив «Ампер» потужністю 25 к.с. і масою дві тонни міг тягнути потяг масою десять тонн з максимальною швидкістю 17 км/год. Дафт також, незалежно від європейців, побудував і трамвайну лінію в Балтіморі.

Спочатку, крім трамвайних ліній, електрична тяга застосовувалася в основному на промислових підприємствах, рудниках і у вугільних копальнях. Але зі збільшенням потужності електровозів її стали застосовувати на гірських залізницях. Особливо ефективним виявилося застосування електричної тяги на перевальних і тунельних дільницях. У 1895 році в США були електрифіковані тунель в Балтіморі і тунельні підходи до Нью-Йорку. На ній електроенергія підводилася до електровозу по третій рейці, напруга постійного

струму в якій була 650 В. Для цих ділянок були побудовані електровози потужністю 185 кВт (251 к.с.), що розвивали швидкість 50 км/год. Незабаром електротягу стали застосовувати і в приміському русі.

Після Першої світової війни електрифікація залізниць починається в багатьох країнах. Електрична тяга вводиться на магістральних лініях з великою щільністю руху. У СРСР в 1930-і роки було електрифіковано ряд важких за профілем ділянок залізниць на Кавказі. Перший радянський електровоз був ліцензійною копією електровозів американського виробництва. Підготовка його виробництва почалася в 1929 році – електричне обладнання виготовлялося на Московському електромашинобудівний заводі «Динамо», а механічна частина на Коломенському заводі. Електровоз отримав найменування СС (рос. Сурамский Советский) і був обкатаний в листопаді 1932 року.

У 1932 році за рекордно короткий термін на заводі «Динамо» і в Центральному локомотивопроектном бюро (ЦЛПБ) був спроектований, а до 5 листопада того ж року, менш ніж за три місяці, був побудований перший електровоз, конструкція якого була розроблена в СРСР. Він отримав найменування ВЛ-19 на честь Володимира Леніна, 19 означало навантаження від рушійних колісних пар на рейки. Вже до 1935 року в СРСР було електрифіковано 1907 км шляхів, на яких працювало 84 електровоза.

Рис. 9.19. ВЛ-19-01 – перший в СРСР вантажний електровоз

У наш час загальна протяжність електричних залізниць у всьому світі сягає 200 тис. км, що становить приблизно 20% їх загальної довжини. Це, як правило, найбільш вантажонапружені лінії, гірські ділянки з крутими підйомами та численними кривими ділянками шляху, приміські вузли великих міст з інтенсивним рухом електропоїздів.

Ще одним транспортним засобом з електромотором став електромобіль, який з'явився задовго до створення двигуна внутрішнього згоряння. У 1830-і роки шотландець Роберт Андерсон винайшов перший екіпаж на електричній тязі. Також невеликий електромобіль був розроблений і побудований голландцями **Стратином Гронінгеном** і його помічником **Крістофером Беккером** в 1835 році. На початку 1840-х років. **Роберт Андерсон** і американський коваль **Томас Девенпорт** створили більш досконалі моделі.

Рис. 9.20. Електромобіль виробництва
Baker Motor Vehicle Company 1908 року випуску

Однак швидкість всіх цих машин не перевищувала 4 км/год. Це було пов'язано з відсутністю надійного, компактного зарядного акумулятора. Компактні і ємні акумуляторні батареї, що можуть підзаряджатися, з'явилися тільки в 1880-і роки. Тоді і були створені електромобілі, здатні розвивати швидкість 30 км/год з запасом ходу, достатньою для здійснення невеликих поїздок протягом усього дня. Великою перевагою електричних транспортних засобів, в порівнянні з паровими і бензиновими автомобілями були

безшумність, відсутність запахів і шкідливих вихлопів і легкість в управлінні. Швидкість електромобілів також була вище. У 1899 році бельгієць **Каміль Іенатці** поставив рекорд швидкості – 106 км/год.

Електромобілі з успіхом використовувалися як таксі, швидка допомога і навіть в якості пожежних автомобілів. У 1880-х роках **Ральф Уорд** запустив в Лондоні лінію електричних омнібусів. А найбільше поширення електромобілі отримали в США, де їх було більше, ніж автомобілів з ДВЗ.

Рис. 9.21. Електричний фургон Walker 1909 року випуску

Розробкою електромобілів займалися і в Радянському Союзі. У 1935 році на базі автомобіля ГАЗ-А був побудований перший радянський електромобіль. Тоді ж в лабораторії електричної тяги Московського енергетичного інституту під керівництвом професора **В. Є. Резенфорда** і інженера **Ю. М. Галкіна** був створений двотонний електромобіль на базі ЗІС-5. Був побудований і перший радянський електробус.

Але вже з другого десятиліття XX століття автомобілі з ДВЗ стають більш зручними, надійними і дешевими, підвищуються їх експлуатаційні характеристики. До цього слід додати розширення видобутку нафти і розвиток технології її перегонки, в результаті чого бензин стає на порядок дешевшим. Будівництво автомобільних доріг дало можливість далеких подорожей, для яких електромобілі не пристосовані. В результаті в 1920-і роки електромобілів випускали вже менш одного відсотка від загального виробництва, а до кінця 1930-х випуск практично припинився. Однак в останні роки інтерес до електромобілів знову прокинувся, і в наш час обсяг їх реалізації становить 500 тисяч на рік.

9.5. Розвиток двигунів внутрішнього згоряння

Парова машина в другій половині XVIII століття отримала широке застосування і зробила переворот в техніці. Вона швидко стала головним двигуном і в промисловості, і на транспорті. Однак громіздкі парові машини з їхніми величезними котлами не могли задовольнити потреби малих підприємств. Їх не можна було ставити біля житлових будинків. До того ж ККД парових машин був дуже низьким, а істотно підвищити його було неможливо. Основоположник термодинаміки **Саді Карно** (1796 – 1832) ще в 1824 році у своїй роботі «Роздуми про рушійну силу вогню і машинах, здатних розвивати цю силу» показав безперспективність поршневих парових машин. Замість них він пропонує двигун внутрішнього згоряння. Однак розвиток теорії теплотехніки і технології машинного виробництва дозволив створити досконаліші, ніж парові машини теплові двигуни – парові турбіни і двигуни внутрішнього згоряння тільки в другій половині XIX століття. З їх розповсюдженням відбувається переворот в енергетиці.

Перші спроби створення двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) робляться ще до виникнення теоретичних основ двигунобудування – науки термодинаміки. У 1794 році англієць **Стріт** взяв патент на поршневий двигун, на дно циліндра якого наливалася горюча рідина. Вона випаровувалася і змішувалася з повітрям, а отримана горюча суміш запалала і підкидала поршень, з'єднаний важеля передачею з насосом. На початку XIX століття видається ще кілька патентів на ДВЗ. Однак вони залишаються тільки на папері. І тільки в 1824 році основоположник термодинаміки С. Карно передрікає робочий цикл чотиритактного ДВЗ, відповідний чотирьом ходам поршня.

Особливо гостро потреба в компактних і екологічно чистіших двигунах відчувалася у Франції з її розвиненою дрібною промисловістю. Саме французький механік **Жан Етьєн Ленуар** (1822 – 1900) першим домігся успіху в справі створення ДВЗ. У 1860 році він починає будувати і продавати двотактні ДВЗ, що працюють на світильному газі, із запалюванням від електричної іскри. Застосування в якості палива світильного газу було продиктовано потребами міської промисловості і широким поширенням газового освітлення. Двигун Ленуара був першим, практично працюючим і серійним ДВЗ. Однак для сільської місцевості газові двигуни були

непридатні. І все ж по суті двигун Ленуара був просто модернізацією парового двигуна, за винятком того, що поршень в циліндрі переміщався не під тиском пари, а під впливом запаленої в циліндрі суміші повітря і світильного газу. Працювали двигуни Ленуара плавно і досить надійно, їх запуск не викликав труднощів через відсутність попереднього стиснення. Однак відсутність стиснення повітря в циліндрі обмежує ККД двигунів Ленуара, який становить 3 – 6%, як і у парових машин того часу. Але, не дивлячись на високу вартість одержуваної енергії (в два рази вище, ніж у великих парових машин), вони набули широкого поширення.

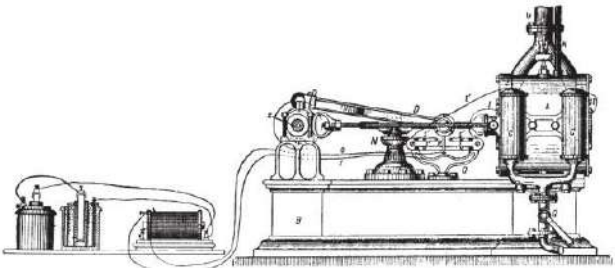

Рис. 9.22. Газовий двигун Ленуара

Ленуар не займався вдосконаленням свого двигуна, і його обійшов німецький винахідник і комерсант **Ніколаус Август Отто** (1832 – 1891). У 1877 році він створив чотиритактний ДВЗ з попереднім стисненням і іскровим запалюванням. ККД двигуна досягав 20%. Цикл, за яким він працював, назвали циклом Отто. В даний час більшість автомобільних двигунів і багато інших ДВЗ працюють за циклом Отто.

У компанії Отто в Дейтце починали свою діяльність **Готтліб Даймлер** (1834 – 1900) і **Вільгельм Майбах** (1846 – 1929), а в 1880 році вони відкрили власне діло. Винахідники вирішили, що паливом для їхнього двигуна повинен бути найбільш легко займистий продукт перегонки нафти – бензин. Він в той час в основному застосовувався для чищення одягу і продавався в аптеках. Бензиновий двигун не дуже сильно відрізняється від газового, але вимагає карбюратора для приготування горючої суміші. Перший карбюраторний двигун Даймлер і Майбах сконструювали в 1885

році. Двигун вийшов досить компактним і придатним для встановлення на невеликі транспортні засоби. Так поступово ДВЗ перевершують парові двигуни і за компактністю і за економічністю. У 1887 році Даймлер і Майбах почали випуск човнових моторів, які стали головною продукцією фірми на декілька років. 10 серпня 1888 року здійснила перший політ повітряна куля, що приводилася в рух двигуном внутрішнього згоряння Даймлера.

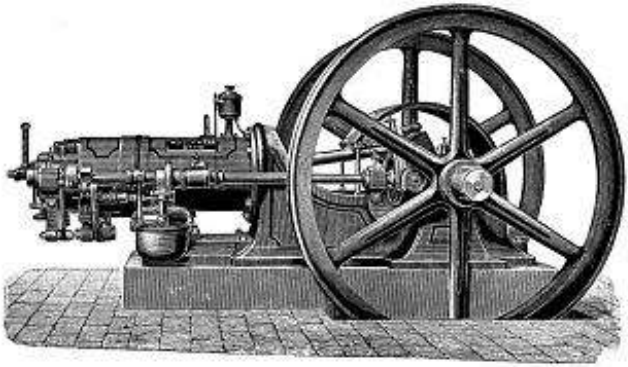

Рис. 9.23. Газовий двигун Отто

У 1886 році Даймлер і Майбах побудували свій перший автомобіль, більше схожий на бричку без коня. Іншим винахідником автомобіля став **Карл Бенц** (1844 – 1929). У 1885 році він закінчив роботу над триколісним автомобілем. Чотиритактний двигун внутрішнього згоряння, розміщений між задніх коліс, приводив їх в обертання за допомогою ланцюгової передачі.

Найекономічніший двигун, який отримав широке розповсюдження, створив німецький інженер **Рудольф Дизель** (1858 – 1913). Основна ідея дизельмотора – поступове згоряння палива – була висловлена ще С. Карно. Для реалізації цієї ідеї Дизель запропонував стискати в циліндрі чисте повітря, а після його нагрівання в результаті стиснення впорскувати туди палива. У 1892 – 1897 роки він розробив компресорний ДВЗ із запалюванням від попередньо сильно стисненого в циліндрі повітря. Спочатку в якості палива передбачалося використовувати вугільний

порошок, так як своєї нафти Німеччина не мала. Однак вирішити проблему очищення циліндра від продуктів згоряння йому не вдалося, до того ж вугільний пил був абразивом, і поверхні, які терлися, дуже швидко зношувалися. Натомість новий двигун прекрасно працював на відходах перегонки нафти, які стали називати дизельним паливом і навіть на сирій нафти.

Рис. 9.24. Автомобіль Даймлера і Майбаха, 1886 рік.

Рис. 9.25. Автомобіль Бенца, 1885 рік.

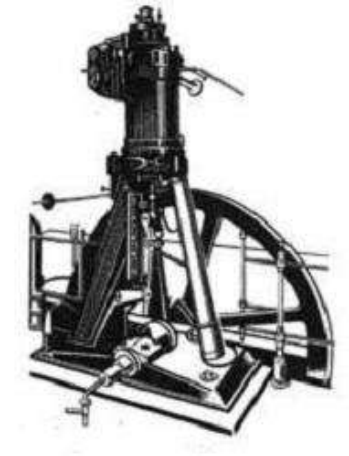

Рис. 9.26. Двигун Дизеля

Перший двигун, побудований Дизелем в 1897 році на заводі в Аугсбурзі, мав один циліндр діаметром 250 мм, хід поршня складав 400 мм. Висота двигуна була 3 м. Двигун розвивав потужність близько 20 к.с. при 172 об/хв. Він працював на сирій нафті, витрачаючи 258 г палива на 1 к.с. в годину. У 1898 році цей мотор був представлений на виставці в Мюнхені. Через рік в Мюнхені були представлені вже п'ять дизельних двигунів, вироблених на Аугсбургському машинобудівному заводі, а також заводах Отто і Круппа. Ще більший успіх мав двигун Дизеля на Паризькій виставці 1900 року. У 1904 році в Росії **Г. В. Трінклер** створює менш громіздкий і ще більш економічний безкомпресорний дизель.

Все це спонукало цілий ряд провідних машинобудівних заводів приступити до випуску дизелів. За період 1912 – 1932 років тільки три провідних дизельних заводу Європи: «Брати Зульцер» (Швейцарія), «MAN» (Німеччина) і «Бурмейстер і Вейн» (Данія) випустили безліч різних дизелів загальної потужністю 9300 тис. л. с. Дизель знаходить широке застосування не тільки як стаціонарний двигун для заміни парових машин, але і в річковому і морському флоті, а також на локомотивах.

Особливо бурхливо дизелебудування почало розвиватися з 1930-х років. Якщо до початку 1931 року автотранспортних дизелів ще не було, то через три роки в Німеччині налічувалося вже 16 000 автомобілів з дизельними двигунами, в Англії – 8 000, а у всіх інших країнах ще близько 10 000. Лідером у виробництві автомобільних дизелів на початку 1930-х років була, безумовно, Німеччина, де 75% випущених вантажівок і автобусів оснащувалися цими двигунами.

Успішне застосування дизелів в автомобілях і тракторах спонукало конструкторів до розробки авіаційних дизельмоторів. У цьому також особливо була успішною Німеччина, де ще в період Першої світової війни фірмою «Юнкерс» був спроектований авіаційний дизель. У 1933 році створили ЮМО-205 (700 к.с.), Пізніше – ЮМО-207 (1 000 к.с. з турбонаддувом). 700-сильні авіадизелі були також і у фірми «Даймлер–Бенц». Посилено вели розробку BMW і Сіменс. На другому місці були США, де до початку 1930-х років дизелі вже ставили на літаки. Найбільших успіхів добилися фірми Паккард, Авіейшн і Гіберсон. У Радянському Союзі під керівництвом **А. Д. Чаромского** був створений авіадизель АЧ-1.

У наш час ККД автомобільного дизеля досягає 40%, в той час як у карбюраторного двигуна він не перевищує 30%. Що стосується величезних тихохідних суднових дизелів, то їх ККД може перевищувати 50%.

9.6. Розвиток турбінобудування

Іншою альтернативою паровій машині стали парові турбіни, що замінили парові машини на електростанціях і морських судах. Ідея двигуна зовнішнього згоряння з отриманням безпосереднього обертального руху з'явилася набагато раніше поршневої парової машини. Першими винахідниками таких пристроїв були Герон Олександрійський і **Джованні Бранка**. Однак для отримання практично придатного двигуна одних ідей було замало, і, не дивлячись на простоту в кінематичному відношенні, в порівнянні з паровою машиною, парові турбіни, придатні для практичного використання, з'явилися тільки в кінці XIX століття. Створення економічно вигідних парових, а тим більше газових турбін вимагало знань властивостей пари або газу і законів їх закінчення. Як показали пізніші дослідження, турбіна має економічно обґрунтований ККД тільки при достатньо високих параметрах (температура і тиск) пари і високої кутової швидкості обертання ротора. Виробництво таких турбін вимагає, в свою чергу, відповідної технології, спеціальних жароміцних сталей і досить точних розрахунків на міцність.

Перші масштабні досліди над протіканням пари і газу були проведені в 1839 році Барре де Сен-Венаном і П. Вантцелем і дали числові дані про високу швидкість пари і газу при витіканні з посудини. Водночас Ж. В. Понселе розробив основи теорії водяних турбін. Його дослідження показали, що для отримання максимального ККД швидкість на колі колеса турбіни повинна бути не менше половини швидкості потоку. Зазначені обставини заважали створенню ефективних парових турбін.

Проте, спроби створити турбінний двигун робляться в багатьох промислово розвинених країнах. За перші дві третини XIX століття було запропоновано понад 200 парових турбін. В основному вони мали невеликі розміри і потужність і застосовувалися там, де була потрібна велика кутова швидкість обертання – на лісопилках для дискових пилок, в молочних сепараторах, відцентрових насосах і вентиляторах. Виробництво цих турбін носило кустарний характер і не мало особливого успіху, так як вони мали невисокий ККД і

застосовувалися там, де в якості палива для котлів використовувалися різні відходи.

Що стосується більш потужних турбін, то для підвищення їх ККД була запропонована ідея багатоступеневих турбін, в яких пар втрачає свій тиск поступово, діючи на лопатки, розміщені відповідним чином, кілька разів. Так в 1853 році Тернер запропонував конструкцію багатоступінчастої парової турбіни, що складається з декількох осей, на які насаджені облопачені диски. Зубчасті колеса передають обертання від цих осей на загальний вал. Слідом за цим цілий ряд винахідників пропонує свої ідеї багатоступеневих парових турбін. Однак ці турбіни не знайшли застосування через відсутність матеріалів і технології.

В останній третині XIX століття в зв'язку з електрифікацією виробництва і електричним освітленням міст, виникає потреба в економічному і потужному тепловому двигуні, придатному для установки на електростанціях. До 1880-х років дозріли всі умови для створення ефективної парової турбіни. Наука теплотехніка досягла певних успіхів, досить добре були вивчені властивості водяної пари і законів її протікання. Машинне виробництво і металургія були здатні задовольнити потреби турбінобудування. Великих висот досягли також опір матеріалів та теорія пружності.

Особливий інтерес викликає однодискова парова турбіна активного типу шведського інженера **Карла Густава Патріка де Лаваля** (1845 – 1913), що створена в 1889 році і була призначена для молочного сепаратора. Перша його турбіна потужністю 5 к.с. зі швидкістю обертання 30 000 об/хв була продемонстрована на виставці в Чикаго у 1893 році. Пізніше винахідник побудував більші турбіни, найпотужніша з яких в 500 к.с. з числом оборотів 9 870 мала середній діаметр колеса 750 мм. Необхідність застосування громіздких зубчастих понижуючих передач завадила широкому впровадженню турбін де Лаваля. Однак, завдяки де Лаваль, був вирішений цілий ряд проблем турбобудування. Серед них:

1. сопло, що розширюється і дозволяє знизити тиск пара нижче критичного та підвищити швидкість його закінчення до величини вище швидкості звуку (1200 – 1500 м/с);

2. гнучкий вал, що дозволяє знизити критичні оберти турбіни і вивести їх за межі робочого діапазону. Це дозволило застосувати

такі високі числа обертів (до 32 000 об/хв), які набагато перевищували числа обертів поширених в той час двигунів;

3. диск рівного опору, що допускав його роботу з великими окружними швидкостями (350 м/с);

4. система закріплення лопаток;

5. кульові підшипники;

6. «руйнівник вакууму» при занадто великих обертах турбіни;

7. застосування спеціальних матеріалів – нікелевої сталі для дисків і лопаток;

8. зубчаста передача з великим передавальним відношенням.

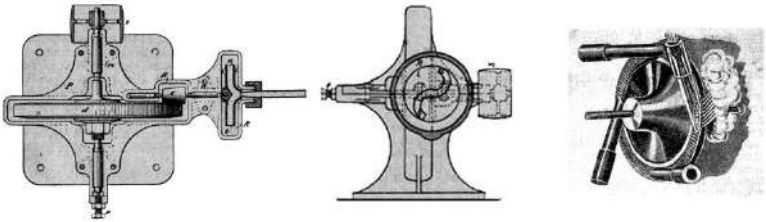

Рис. 9.27. Однодискова турбіна Лаваля

Особливістю творчості Лаваля є відсутність у нього теоретичних основ для винаходів. Саме ця обставина не дозволила йому досягти великих успіхів, до того ж він був людиною, яка захоплювалася і легко переключався з однієї теми на іншу. З появою багатоступеневих турбін сфера застосування однодискових турбін Лаваля обмежилася машинами, що вимагають великої кількості обертів. Однак вона викликала до себе величезний інтерес подробицями своєї конструкції і полегшила шлях подальшого розвитку турбінобудування.

У 1884 році англієць **Чарльз Алджернон Парсонс** (1854 – 1931) патентує парову реактивну багатоступеневу турбіну. Парсонс з самого початку правильно передбачив одну з найбільш перспективних областей застосування парових турбін – для приводу електричних генераторів. У 1885 році він сконструював турбіну, яка дістала в подальшому широке застосування на теплових електростанціях. Вона мала такий пристрій: на центральний вал був насаджений ряд обертових коліс з лопатками. Між цими колесами перебували нерухомі диски з лопатками, що мали зворотний напрямок. Пара під великим тиском підводилася до одного з кінців

турбіни. Оскільки тиск на іншому кінці був менше атмосферного, пара прагнула пройти крізь турбіну. Спочатку вона надходила в проміжки між лопатками першого вінця. Ці лопатки направляли її на лопатки першого рухомого колеса. Пара проходила між ними, змушуючи колеса обертатися. Далі вона надходила у другій вінець. Лопатки другого вінця направляли пар між лопатками другого рухомого колеса, яке теж приходило в обертання. З другого рухомого колеса пара надходила між лопатками третього вінця і так далі. Всім лопаткам була надана така форма, що перетин міжлопаткових каналів зменшувалася у напрямку витікання пари. Лопатки наче утворювали насаджені на вал сопла, з яких, розширюючись, витікала пара. Тут використовувалася як активна, так і реактивна її сила. Обертаючись, всі колеса обертали вал турбіни. Зовні пристрій було укладено в міцний кожух.

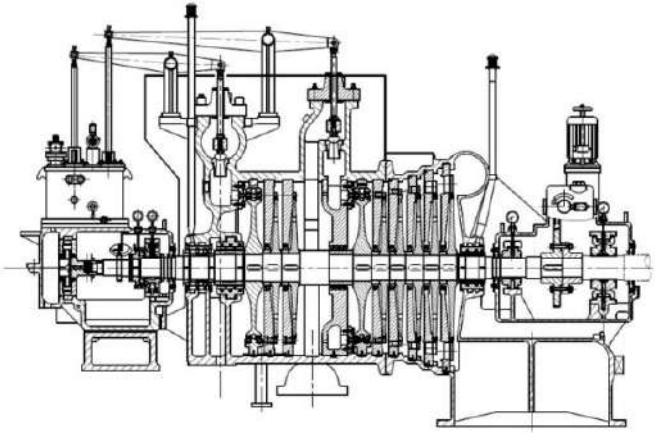

Рис. 9.28. Багатоступенева реактивна турбіна Парсонса

У 1889 році вже близько трьохсот таких турбін використовувалися для вироблення електроенергії. У 1891 році паротурбінний двигун (ПТД) забезпечується конденсатором, що робить його більш економічним, ніж поршневий, при збереженні переваги над останнім у питомій потужності. Потужність і економічність парових турбін стрімко зростали і поступово витіснили всі інші двигуни в електроенергетиці.

Прагнучи розширити сферу застосування свого винаходу, Парсонс вирішив застосувати турбіни в морському флоті. Спочатку він в 1894 році побудував невелике дослідне судно «Турбінія», оснащене паровою турбіною. На випробуваннях воно продемонструвало рекордну швидкість – 60 км/год (див. рис. 9.29).

Після цього парові турбіни стали встановлювати на багатьох швидкохідних кораблях. У 1906 році в Англії були побудовані перший турбінний броненосець «Дредноут» (див. рис. 11.1), що дав початок новому класу бойових кораблів – лінкорів, і величезні трансатлантичні лайнери «Мавританія» і «Лузітанія» (див. рис. 9.30), також оснащені турбінами Парсонса.

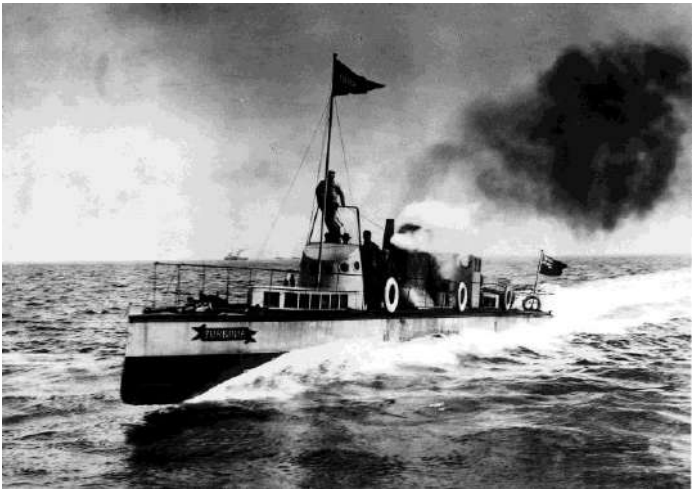

Рис. 9.29. Експериментальне судно «Турбінія».
Водотоннажність 44,5 т, довжина близько 32 м

Для активних турбін ступені тиску вперше були введені в практику французьким професором **Огюстеном Рато** (1863 – 1930), який в 1900 році побудував на французькому заводі Сотте-Гарле першу активну багатоступеневу турбіну потужністю 1000 к.с. У 1900 році на Міжнародному конгресі з прикладної механіки у Парижі Рато зробив доповідь, в якій повідомляє результати проведених дослідів по протіканню пари і навів основні формули

для знаходження його швидкості. Він досліджував й інші питання, які відіграють велику роль в турбобудуванні, зокрема питання про тертя колеса турбіни з парою, а також проблеми міцності частин парової турбіни.

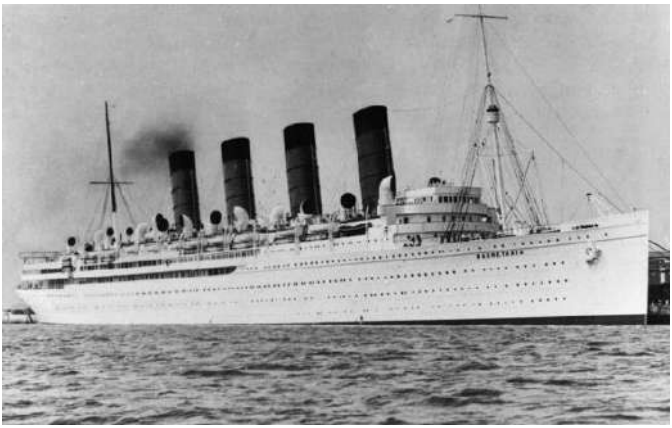

Рис. 9.30. Турбінний лайнер «Мавританія». Довжина 240 м, місткість 32 000 брутто-реєстрових тонн, потужність чотирьох парових турбін Парсонса: 68 000 к.с., швидкість ходу 26,06 вузла (48,26 км/год).

Тип турбіни, запропонований Рато, отримав велике розповсюдження в Швейцарії, Німеччині та Франції. Поряд з цим французький вчений створив перший тепловий акумулятор, що дозволив вигідно використовувати відпрацьовану пару низького тиску. Важливим його досягненням стали також турбокомпресори, які витіснили на металургійних заводах колишні поршневі повітродувки. Рато також одним з перших застосував в авіамоторів турбонаддув. Турбіна, яка працювала від вихлопних газів, з'єднувалася з турбокомпресором для подачі повітря в циліндри двигуна. Це не тільки підвищило потужність двигуна, але і дозволило літати на більших висотах, де повітря сильно розріджене.

Інженер швейцарського заводу Ешер-Вісс в Цюріху **Генріх Целлі** удосконалив турбіну Рато, застосувавши в 1903 році сопла з косим зрізом. За рахунок цього вдалося збільшити швидкість пари

на виході з сопла і скоротити кількість ступенів тиску до п'яти–восьми. Целлі також оптимізує розмір робочих дисків, діаметри яких збільшуються в міру падіння тиску пари. У турбінах Рато робочі диски мали однаковий діаметр, а число ступенів було 16 – 20.

Інший тип турбін запропонував американець **Чарльз Гордон Кертіс** (1860 – 1953). У його турбіні пара, проходячи через сопло Лаваля, яке розширюється, набувала велику швидкість і використовувалася в декількох рядах лопаток, розташованих на одному диску. Між рухливими рядами лопаток розташовані нерухомі, які служать для зміни напрямку руху пари. З 1901 році турбіни Кертіса будує американська компанія «Дженерал Електрик», яка стала однією з провідних турбобудівних фірм не тільки в США, але й у всьому світі. Поряд з нею найбільшими виробниками турбін стали німецька Загальна компанія електрики і швейцарська Броун-Бовері в Європі, а також компанія Вестінгауз в США.

Протягом XIX століття відбулися величезні зрушення в розвитку техніки. Будувалися залізниці, сталеві парові судна, великі підприємства – фабрики і заводи. У промисловості впроваджувалися нові ефективні методи виробництва сталі, бурхливо розвивалося хімічне виробництво.

Зміна технічної основи промисловості, перехід від мануфактур до великої машинної індустрії, змінили й сферу суспільних відносин. Промисловість повністю відокремилася від сільського господарства і стала провідною галуззю господарства. Зростання машинної індустрії призвело до виникнення центрів виробництва – великих промислових міст. У результаті в XIX столітті сформувалася індустріальна цивілізація. Подальший прогрес в промисловості пов'язаний з новітньою революцією в природознавстві, яка сталася на межі XX століття.

ГЛАВА 10

Розвиток науки в XIX столітті

10.1. Зближення науки і виробництва

Бурхливий розвиток промисловості в XIX столітті поставив перед наукою безліч нових проблем. Виникають нові галузі науки – прикладна механіка, теорія пружності, теорія коливань, термодинаміка і ін. Найважливіші відкриття були зроблені в багатьох галузях, завдяки чому закладені основи для розвитку науки XX століття.

У 1836 – 1848 роках **Чарльз Беббідж** (1791 – 1871) розробив проект аналітичної машини, яка стала прототипом всіх обчислювальних машин. У цьому проекті передбачалося мати п'ять основних пристроїв: арифметичний, пам'яті, управління, введення, виведення. Саме вони і складають основу сучасного комп'ютера. Для арифметичного пристрою Беббідж використовував зубчасті колеса, подібні до тих, що використовувалися раніше. На них же вчений мав намір побудувати пристрій пам'яті з 1000 50-розрядних регістрів (по 50 коліс в кожному!).

Програма виконання обчислень записувалася на перфокартах (до цього вони використовувалися в ткацьких верстатах Жаккара), на них же записувалися вихідні дані і результати обчислень. У число

операцій, крім чотирьох арифметичних, була включена операція умовного переходу та операції з кодами команд. Автоматичне виконання програми обчислень забезпечувалося пристроєм управління. Однак механічний принцип побудови пристроїв і використання десяткової системи числення, що ускладнює створення простої елементної бази, не дозволили Ч. Беббіджу повністю реалізувати свій далекоглядний задум, довелося обмежитися скромними макетами. Інакше за розмірами машина зрівнялася б з локомотивом, а для приведення в рух цієї машини знадобився б потужний паровий двигун.

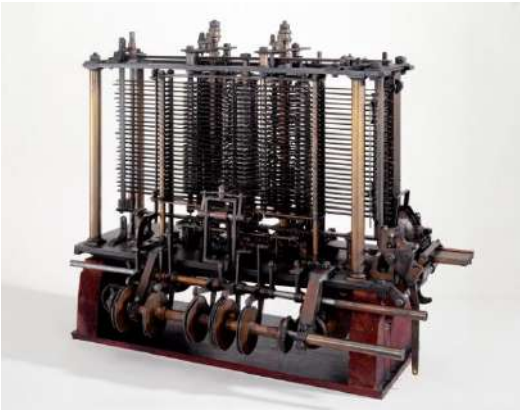

Рис. 10.1. Модель аналітичної машини Беббіджа

У XIX столітті бурхливо розвивалася хімія, ставши в цей час однією з основних наук. У ній перемогла атомістична теорія. Важливими для розвитку хімії стали газові закони, відкриті в 1802 – 1808 роках французьким ученим **Жозефом Луї Гей-Люссаком** (1778 – 1850) і в 1811 році італійцем **Амедео Авогадро** (1766 – 1856), а також закон теплоємності, відкритий в 1819 році **П'єром Делонгом** і **Алексісом Пті**.

Аналіз різних речовин рослинного і тваринного походження показав, що вони в основному складаються з декількох елементів: вуглець, кисень, водень, азот і деяких інших. Шведський хімік **Єнс Якоб Берцеліус** (1779 – 1848) в 1806 році ввів поняття «органічна хімія». Він проводив систематичні дослідження органічних сполук,

зокрема, отримав склад харчових кислот. Берцеліус відіграв велику роль у розвитку атомно-молекулярного вчення.

На початку XIX століття англійський вчений **Джон Дальтон** (1766 – 1844) висунув атомістичну теорію, що стала основою сучасних уявлень про будову речовини. Він також ввів поняття атомної ваги – першої кількісної характеристики атома.

Олександр Михайлович Бутлеров (1828 – 1886) розробив теорію хімічної будови і запропонував спосіб для її відображення у вигляді формул. Цим способом ми користуємося дотепер.

Промислова революція зробила можливим промислове виробництво деяких найбільш затребуваних на ринку хімікатів, що й започаткувало розвиток хімічної промисловості.

Один з фундаментальних законів природи – періодичний закон хімічних елементів – відкрив в 1869 році великий російський вчений **Дмитро Іванович Менделєєв** (1834 – 1908). Система Менделєєва не тільки дала розуміння закономірності, що дозволила визначити місце елементів, а й змогла передбачити наявність нових елементів, невідомих в той час і навіть визначити їхні властивості та атомну вагу. Періодична таблиця Менделєєва допомогла отримати уявлення про будову атома і природу хімічної валентності, встановлених в XX столітті.

Таким чином, в хімії остаточно перемогла атомістична теорія. Хімія змогла займатися всіма видами речовин. Дешеві синтетичні матеріали дозволили створити не тільки фарби, різні домішки, духи, якими замінено природні матеріали, але й удосканалений порох, нові вибухові й отруйні речовини тощо. У 1856 році англійський хімік-органік **Вільям Генрі Перкін** (1838 – 1907) відкрив аніліновий барвник. Винахіднику на той момент було всього 18 років. Шовкові тканини, пофарбовані аніліном, зберігали колір і після багаторазового прання, і при впливі сонячних променів. Новий барвник вироблявся з кам’яновугільного дьогтю – побічного продукту процесу виробництва коксового газу і кам’яновугільного коксу.

Основною речовиною в хімічній промисловості стає азотна кислота. Вона застосовується у виробництві мінеральних добрив, барвників (анілін) і ліків (нітрогліцерин), а також як окислювач ракетного палива, в синтезі різних речовин, у тому числі отруйних, в основному органічному синтезі. З неї роблять нітроалкани (розчинники) і нітроцелюлозу, яка застосовується у військовій промисловості при виробництві бездимного пороху, зокрема піроксиліну і кордиту, а також вибухових речовин (тротил). Нітроцелюлоза також застосовується для виготовлення целулоїду і є плівкоутворюючою основою нітроцелюлозних лаків, фарб і емалей.

Розвиток пластмас почався з використання хімічно модифікованих природних матеріалів, таких як гума, нітроцелюлоза, галаліту і ін. Першою пластмасою, отриманою англійським металургом і винахідником **Олександром Парксом** (1813 – 1890) в 1855 році став целулоїд (таку назву дано пізніше), отриманий на основі нітроцелюлози, розчиненої в етанолі. Однак прагнення Паркса до зниження витрат призвело до закриття його виробництва через низьку якість продукції. Тверда суміш нітроцелюлози з камфорою була створена **Джоном Уеслі Хайатом** (1837 – 1920) і зареєстрована під торговою маркою целулоїд в 1870 році Целулоїд став відомий як матеріал, що використовувався в першій гнучкій кіно- і фотоплівці.

Такими ж великими темпами розвивалися медицина і біологія. Російський учений **Микола Іванович Пирогов** (1810 – 1881) – основоположник військово-польової хірургії, поклав початок анатомо-експериментального напрямку в хірургії. У роки Кримської війни (1853 – 1856) він уперше застосував наркоз при операції на полі бою та нерухому гіпсову пов’язку. Створив наукову школу хірургії, його чотиритомний атлас «Топографічна анатомія» здобув світову популярність.

Найбільшим досягненням біологічної науки стало створення в 1838 – 1839 роках німецькими вченими фізіологом **Теодором Шванном** і ботаніком **Маттіасом Шлейденом** клітинної теорії. Відповідно до неї всі рослинні і тваринні організми, починаючи з

нижчих і закінчуючи найбільш високоорганізованими, складаються з найпростіших елементів – клітин. Клітинна теорія стала одним з загальнобіологічних узагальнень і основою еволюційного вчення.

Англійський натураліст **Чарльз Роберт Дарвін** (1809 – 1882) обґрунтував ідею про те, що всі види живих організмів походять від спільних предків і еволюціонують у часі. Основним механізмом еволюції Дарвін назвав природний відбір. Еволюційна теорія Ч. Дарвіна була викладена ним у книзі «Походження видів шляхом природного відбору, або збереження обраних порід в боротьбі за життя», що вийшла в 1859 році. Йому також належить одне з перших узагальнюючих досліджень про походження людини.

Теорія Дарвіна становить фундамент сучасної теорії еволюції, яка є основою біології. Теорія природного відбору – основного механізму еволюції – в середині XX століття стала загальновизнаною. Еволюційну теорію часто називають дарвінізмом. На думку багатьох істориків науки Ч. Дарвін, поряд з Архімедом і Ньютоном, входить до трійки найвеличніших вчених за всю історію науки.

Австрійський біолог і ботанік, монах **Грегор Мендель** (1822 – 1884) заклав основи вчення про спадковість, пізніше названого менделізмом. Закони Менделя стали першим кроком на шляху розвитку генетики.

Луї Пастер (1822 – 1895) є одним з основоположників імунології та мікробіології. Він виявив мікробіологічну сутність бродіння і багатьох хвороб людини. Вчений дослідним шляхом довів неможливість самозародження деяких форм життя в даний час, поставивши крапку в багатовіковій суперечці на цю тему. Роботи Пастера в області будови кристалів і явища поляризації стали основою стереохімії. Його ім’я широко відоме завдяки створеній ним і названій на його честь технології пастеризації – термічної обробки продуктів.

Німецький мікробіолог **Роберт Кох** (1843 – 1910) відкрив збудника туберкульозу (паличка Коха), бацилу сибірки і холерний

вібріон. За відкриття туберкульозної палички він був нагороджений Нобелівською премією.

У результаті цих відкриттів бактеріологи змогли розробити препарати для запобігання захворювань і лікування сибірки, холери, туберкульозу, дифтериту та інших раніше невиліковних хвороб.

Величезну роль в боротьбі з епідеміями зіграло хлорування води, ставши найбільш поширеним методом її знезараження на водопровідних станціях. Уперше обробка великих обсягів води хлорним вапном була застосована в Німеччині в 1894 році. Завдяки добрим результатам цей метод незабаром знайшов широке застосування в Західній Європі і США. У Росії хлорування водопровідної води вперше було застосовано в 1910 році під час епідемій холери в Кронштадті і черевного тифу в Нижньому Новгороді.

10.2. Досягнення прикладної механіки

У XVIII столітті дуже часто вчений був математиком, механіком і астрономом в одній особі. Астрономія грала винятково велике значення у виведенні і підтвердження законів механіки. Всі закони механіки і її основні положення виводилися методами математичного аналізу, а Лагранж взагалі вважав механіку частиною математичного аналізу. У XIX столітті для механіки з’явилося більш широке поле діяльності – техніка.

З появою у Франції навчальних закладів нового типу, що відрізнялися практичною спрямованістю, вперше з’являються й фахівці-інженери. Для їх підготовки в математиці і механіці розробляються і нові більш наочні методи. Поряд з аналітичним, в механіку повертається геометричний підхід. Ініціатором цього методу є **Гаспар Монж** (1746 – 1818). Ще в 1760 – 1770 роках він розробив нарисну геометрію, предметом якої є виклад і обґрунтування способів зображення і побудови тривимірних об’єктів на двомірній площині креслення і методів вирішення завдань геометричного (креслярського) характеру з цими зображеннями. Сам Монж надавав цій науці прикладне значення,

називаючи креслення мовою техніка. Першою книгою нової механіки став «Елементарний трактат статики», який Монж видав в 1786 році. Виклад в ньому починається з закону складання паралельних сил, за яким викладається закон паралелограма сил, а також визначення рівнодіючої плоскої системи сил. Потім вводиться поняття про момент сили. Потім викладається визначення центру ваги без допомоги математичного аналізу. Книга закінчується главою, присвяченій теорії машин; в якості простих машин вказуються три: важіль, похила площина і мотузка.

Іншим механіком нового напряму був учень Монжа Лазар Карно. У 1793 році військовий інженер Карно став «організатором перемоги» в боротьбі з феодальними інтервентами. У 1783 році вийшла його книга «Досвід про машини взагалі», яка перевидавалася в 1797 і в 1803 роках під назвою «Основні принципи рівноваги і руху». У викладі статики Карно користується методикою Лагранжа, яка відчувається і в динаміці.

Родоначальником геометричного напрямку в «Механіці» є **Луї Пуансо** (1777 – 1859). Він вважав, що механіка повинна безпосередньо обслуговувати запити практики. Тому домагаючись суворої обґрунтованості наукових висновків, вчений при цьому спирається на геометричне трактування питань механіки. В області геометричної статики найважливішими працями Пуансо стали мемуари «Про складання моментів і площ в механіці» і трактат «Начала статики», що вийшли в 1803 році. У вступі до цього трактату Пуансо чітко обґрунтовує доцільність вивчення статики окремо від динаміки, не розглядаючи ті рухи, які могли б повідомити матеріальним тілам діючі на них сили. Вчений визначає силу як деяку причину руху. При цьому він на відміну від Лагранжа, який ставив силу трьома проекціями на координатні осі, позначав буквами $\boldsymbol{P}$, $\boldsymbol{Q}$, $\boldsymbol{R}$, $\boldsymbol{S}$ та ін., розташованих на прямих, що зображують їх напрямок. При цьому вказується також точка прикладання сили і її величина. Від сучасного позначення сили позначення Пуансо відрізняється тільки відсутністю стрілки на лінії дії.

На початку трактату формулюються основні аксіоми статики. За ними слідують чотири теореми, в яких Пуансо визначає правила складання паралельних сил і сил, які сходяться.

Пуансо вперше вводить фундаментальне поняття ***реакції зв'язків*** і вперше чітко формулює ***принцип звільнення від зв'язків***. Однією з найважливіших його заслуг стало введення ним в статику ***пари сил***. У результаті розробки теорії пар сил була обґрунтована і реалізована можливість викладу статики на основі ***принципу складання і розкладання сил***, який Пуансо поклав в основу перетворень системи сил і пар, прикладених до твердого тіла. Зокрема, Пуансо показав, що дія сили на тверде тіло не зміниться, якщо цю силу перенести в іншу точку, додавши водночас пару сил з моментом, рівним моменту цієї сили відносно нової точки прикладання.

На основі теорії пар виявилося можливим за допомогою еквівалентних перетворень привести довільну систему сил, що діють на тверде тіло, до заданого центру. Пуансо знайшов ***статичні інваріанти*** (характеристики систем сил, які не змінюються при їх еквівалентних перетвореннях) і проаналізував всі можливі випадки приведення, що відрізняються значеннями статичних інваріантів. Розглядаючи випадок, коли як результуюча сила, так і момент результуючої пари дорівнюють нулю (випадок рівноваги твердого тіла), він вперше вивів шість ***рівнянь рівноваги*** твердого тіла. Потім Пуансо, спираючись на принцип звільнення від зв'язків і на принцип затвердіння, поширює теорію рівноваги на випадки невільного твердого тіла і системи тіл.

Третина всього обсягу трактату присвячена розгляду прикладів на практичне застосування загальної теорії рівноваги систем взаємопов'язаних твердих тіл. Таким чином, в працях Пуансо статика остаточно сформувалася як самостійний розділ механіки, що має велике практичне значення.

За працями, які заклали основи статики, йшов мемуар Пуансо «Загальна теорія рівноваги і руху систем», опублікований в 1806 році. Тут автор застосовує теорію пар вже до динаміки, отримуючи

істотно більш прості докази низки результатів, знайдених його попередниками.

А в трактаті «Нова теорія обертання тіл» (1834) Пуансо розглядає в основному питання кінематики і динаміки твердого тіла з нерухомою точкою, вносячи істотний внесок в ці розділи механіки. Зокрема, в кінематиці він ввів поняття ***пари обертань, миттєвої осі обертання*** твердого тіла, що здійснює сферичний рух, і ***центральної осі*** системи обертань і поступальної ходи (***миттєва гвинтова вісь***). При цьому основні стану не уточнювалися фізично, а поняття «сила» залишалося невизначеним. Зв'язки передбачалися ідеальними: опорні поверхні без тертя, стрижні і нитки невагомими, а якщо вага нитки все ж враховувався, то вона вважалася цілком однорідною й абсолютно гнучкою. Навіть в статиці Пуансо немає згадки про тертя.

Практичне застосування механіки, однак, вимагало не загальних, а часткових і зручних методів для вирішення завдань. Тому в XIX столітті, поряд з теоретичною механікою, з'явилася прикладна або технічна механіка. Її творцем є **Жан Віктор Понселе** (1788 – 1867). Першою його працею став «Трактат про проективні властивості фігур», надрукований в 1822 році. Цей трактат створив епоху в історії математики – розроблені в XVIII столітті аналітичні методи змінюються геометричними. Для вирішення практичних завдань Понселе написав «Курс механіки, застосований до машин», і більш елементарно викладений «Вступ до індустріальної фізичної або експериментальної механіки». Важливі для практики теореми теоретичної механіки: про миттєвий центр швидкостей і гвинтовий рух твердого тіла вивів **Мішель Шаль** (1793 – 1880).

Великий внесок у розвиток прикладної механіки вніс **Гаспар Коріоліс** (1792 – 1843). Основним його твором є «Курс механіки твердих тіл і розрахунку потужності машин» (1829). Його ім'я носить теорема подана в «Дослідженні про програму принципу живих сил у відносних рухах системи тіл».

На перший план в прикладній механіці висунулося поняття роботи. Ефект рушійної сили і способів її отримання з джерела

сили – двигуна можна оцінити за допомогою ***роботи*** і ***потужності***. Автори поняття «робота» (Понселе та Коріоліс) підкреслили її економічне значення: «Робота є те, що оплачують». У зв'язку із застосуванням теореми про зміну кінетичної енергії (живої сили) Коріоліс запропонував виражати її не як mv^2, як пропонував Лейбніц в XVIII столітті, а як тепер прийнято $mv^2/2$.

Практика також вимагала більш точних формулювань основних понять механіки і вибору найбільш зручних методів вирішення задач. Нарешті в механіці утвердилися запропоновані Ейлером поняття «матеріальна точка» і «абсолютно тверде тіло». Шарль Огюстен де Кулон в 1789 році вивів закони тертя ковзання. Завдання на дослідне визначення коефіцієнтів тертя різних тіл, а також дослідження його зміни в різних умовах, так само належать галузі прикладної механіки.

Статика абсолютно твердого тіла не дозволяє вирішити всі завдання на рівновагу, оскільки число невідомих може перевищити число рівнянь рівноваги. Це так звані статично невизначені системи і їх рішення вимагає знання пружних властивостей тіл. Таким чином, з'являється ще один розділ прикладної механіки – «Опір матеріалів».

У цілому створення теоретичної і прикладної механіки всіляко сприяли зближенню науки з промисловістю. Це зближення відбулося в XIX столітті.

10.3. Виникнення математичної теорії пружності

Вирішальну роль у розвитку опору матеріалів і становлення теорії пружності в XIX столітті зіграла задача про вигин балки. В опорі матеріалів робиться припущення, що поперечні перерізи балки в процесі деформування залишаються плоскими, а її матеріал дотримується закону Гука. Прагнучи підвести під механіку пружного тіла більш глибокі обґрунтування, вчені на початку XIX століття висувають молекулярну теорію пружного тіла, в якій властивість пружності пояснюється силами тяжіння і відштовхування, що діють між дрібними його частками.

Великий внесок у розвиток науки про міцність зробив **Луї Марі Анрі Нав'є** (1785 – 1836). Він підсумував вирішення задачі про вигин балки. Спочатку він припускав, що нейтральна лінія ділить поперечний переріз таким чином, що момент щодо її напружень, що розтягують, дорівнює моменту напружень, що стискають. Лише в 1824 році вчений відмовився від цього помилкового припущення і довів, що для матеріалів, які підпорядковуються закону Гука, нейтральна лінія проходить через центр ваги поперечного перерізу. Остаточно правильне рішення задачі про вигин балки Нав'є опублікував в 1826 році. Він також вніс великий внесок в теорію вигину кривого бруса. Таким чином, рішення цієї задачі зайняло 188 років, якщо рахувати від першої роботи Галілея, що переконливо демонструє, як складно розвивалася наука в XVII – XVIII століттях.

У 1826 році Нав'є видав книгу з опору матеріалів. З самого початку він вказує, наскільки важливо знати межу пружності, до якого споруди не отримують залишкової деформації. Вчений першим розробив метод вирішення статично невизначених задач в опорі матеріалів. Для цього до рівнянь статики він додає умови спільності деформацій.

Для розрахунків статично невизначених балок було отримано рівняння трьох моментів. Так як ідея основної системи з невідомими моментами над опорами вперше була висловлена Клапейроном, це рівняння пов'язують з його ім'ям. А на практиці вперше рівняння трьох моментів для розрахунку нерозрізних балок застосував мостобудівник і колійний інженер Берто в 1855 році. Опублікований він Клапейроном в працях Академії наук тільки в 1857 році. Подальший розвиток теорія нерозрізних балок отримала в роботах Отто Мора, який узагальнив теорію на випадок, коли опори розташовані на різній висоті (1860).

Рис. 10.2. Бюст А. Нав'є

Рис. 10.3. Томас Юнг

Дуже багато для наукової розробки опору матеріалів зробив англійський учений **Томас Юнг** (1773 – 1829). У 1807 році в двотомній праці «Курс лекцій з натуральної філософії і механічного мистецтва» Юнг узагальнив результати своїх теоретичних і експериментальних робіт і виклав дослідження по деформації зсуву. Він ввів числову характеристику пружності при розтягуванні і стисненні – так званий модуль Юнга (в механіці його називають модуль пружності). Він став основоположником вивчення напружень, викликаних ударом, для чого вперше розглянув механічну роботу як величину, пропорційну енергії. Під енергією (термін ввів Юнг), він розумів величину, пропорційну масі і квадрату швидкості тіла.

Великий внесок у розвиток науки про міцність вніс **Жан-Віктор Понселе** (1788 – 1867). У 1826 році він вивчав поздовжній удар по стрижню і виникаючі при цьому поздовжні коливання. Він показав, що раптово прикладене до пружної конструкції навантаження викликає вдвічі більше переміщення, ніж те саме навантаження, прикладене статично.

На початку XIX століття найбільш передовою в Європі була французька математична школа. Саме її представники А. Нав'є, О. Коші, С.-Д. Пуассон, Г. Ламе і Е. Клапейрон в 20 – 30-і роки заклали основи теорії пружності. У 1821 році Нав'є представив

Паризької академії наук «Мемуар про закони рівноваги і руху пружних твердих тіл», в якому були отримані рівняння рівноваги пружного тіла. Ввівши інерційні члени, він отримав також і рівняння коливань твердого тіла. Саме від цього мемуара веде свою історію механіка твердого тіла, що деформується.

Рис. 10.4. Огюстен Луї Коші

У наступному, 1822 році французький математик **Огюстен Луї Коші** (1789 – 1857) у роботі «Дослідження рівноваги і внутрішнього руху твердих тіл і рідин, пружних і непружних» розвинув загальний континуальний підхід в механіці суцільного середовища. Замість молекулярних сил він вводить поняття ***деформації*** і ***напруги***, спрощуючи виведення основного рівняння теорії пружності. Коші дає також для ізотропного тіла співвідношення між шістьма компонентами напруги і шістьма компонентами деформації. Він приходить до висновку, що для визначення пружних властивостей ізотропного матеріалу потрібно не одна, а дві пружні постійні.

В результаті для вирішення задач пружності ізотропних тіл отримана повна система рівнянь. Коші, за допомогою запропонованого Л. Ейлером методу виділення елементарного обсягу і розгляду діючих на нього сил, отримав загальні рівняння рівноваги суцільного середовища в напруженнях і встановив властивості взаємності напружень. У підсумку ним були отримані класичні рівняння динаміки ізотропного пружного тіла.

У 1828 році Коші і Пуассон застосували загальні рівняння для оцінки придатності елементарної теорії вигину тонких стрижнів, а в 1829 році Коші вивів наближені формули для крутіння тонких прямокутних стрижнів. Ці дослідження спонукали **Барре де Сен-Венана** (1797 – 1886) на створення загальної теорії вигину і крутіння призматичних стрижнів – найбільшого практичного досягнення теорії пружності середини XIX століття. Роботами французького

вченого відкривається епоха інженерних застосувань теорії пружності.

А першими застосували загальні рівняння рівноваги пружних тіл до реальних завдань видатні вчені та інженери **Габріель Ламе** (1795 – 1870) і **Еміль Клапейрон** (1799 – 1864). У 1827 – 1828 роках у мемуарах «Про внутрішню рівновагу однорідних твердих тіл» вони розглянули задачі про розтягування нескінченної призми, крутінні нескінченного кругового циліндра, рівновагу кулі під дією взаємного тяжіння її частинок, рівновагу порожнього кругового циліндра і кулі під дією внутрішнього і зовнішнього тиску. У 1852 році Ламе видав «Лекції з математичної теорії пружності» – першу книгу, присвячену цій науці.

Рівняння теорії пружності містять похідні від зсувів, тобто визначають деформації тіл. Умови сумісності деформацій отримані Барре де Сен-Венаном в 1860 році. Він також запропонував напівзворотній метод вирішення задач теорії пружності і ввів принцип, відповідно до якого врівноважена система сил, прикладена до деякої частини суцільного тіла, викликає в ньому напруження, які швидко спадають у міру віддалення від цієї частини (принцип Сен-Венана).

Умови спільності для напружень отримані італійським математиком **Еудженіо Бельтрамі** в 1892 році і в більш загальній формі австралійським математиком і механіком **Джоном Генрі Мічеллом** в 1899 році. Важливе питання про єдність рішення задач теорії пружності досліджено Г. Р. Кірхгофом в 1858 році, а питання про його існування пізніше, в XX столітті.

10.3. Розвиток теорії механічних коливань

В області теорії коливань в XIX столітті подальший розвиток отримала теорія малих, лінійних коливань дискретних систем. Великий внесок до неї зробив **Осип Іванович Сомов** (1815 – 1876). Він показав, що коріння вікового рівняння речовинні і позитивні. Ним також уперше розібрана аналітична теорія загального випадку вільних коливань, де координати не є нормальними. Таким чином, для визначення частот і форм вільних коливань лінійної системи без опору потрібно вирішити ступеневе вікове рівняння. Оскільки аналітичного рішення рівняння алгебри вище четвертого ступеня не мають, багато вчених шукали чисельні методи вирішення цього завдання.

Цікавий метод для відокремлення коренів рівняння запропонував в 1829 році **Ж. Штурм**. У «Лекціях з алгебри і трансцендентного аналізу» (1837) **Михайло Васильович Остроградський** (1801 – 1861) проаналізував, спростив і виклав найважливіші методи, починаючи від методу Ньютона і закінчуючи методом Штурма. Задачу визначення частот і форм вільних коливань можна також розглядати як одну з основних задач лінійної алгебри визначення власних значень і власних векторів матриці.

У 1846 році **Карл Густав Якоб Якобі** (1804 – 1851) для вирішення повної проблеми власних значень запропонував ітераційний метод обертань. При цьому для визначення власних значень матриці розмірності n потрібно $30n^3$ арифметичних операцій, а для власних векторів ще $20n^3$ операцій. У зв'язку з цим метод в XIX столітті не знайшов застосування і був забутий більш ніж на сто років.

Наступним важливим кроком у розвитку теорії коливань були роботи Релея*, особливо його фундаментальна праця «Теорія звуку», який вперше був опублікований в 1877 році. У цій книзі Релей з єдиної точки зору розглядає коливальні явища в механіці, акустиці і електричних системах. Основне і неминуще значення «Теорії звуку» полягає в тому, що вона є першим систематичним викладом загального вчення про коливання. Вона підсумувала попередні досягнення в цій галузі і окреслила низку проблем і напрямків для розвитку теорії коливань. Релею належить низка фундаментальних теорем лінійної теорії коливань (теореми про стаціонарності і властивості власних частот), які були опубліковані у великій роботі «Деякі загальні теореми, що стосуються коливань» в 1873 році і узагальнені в «Теорії звуку». Там же Релей сформулював і принцип взаємності. За аналогією з кінетичною і потенційною енергією він ввів дисипативну функцію, яка є однорідною квадратичною функцією швидкостей, позитивною для всіх значень змінних. Функція отримала ім'я Релея і являє собою половину швидкості розсіювання енергії.

У «Теорії звуку» Релей також пропонує наближений метод визначення першої власної частоти консервативної системи

---

* **Лорд Релей** до отримання в 1873 р. титулу після смерті батька **Джон Вільям Стретт** (1842 – 1919). Правильніше англійське Rayleigh писати Рейлі, деякі автори пишуть Рейлей, проте ми зупинимося на більш звичному написанні – Релей.

$$k_1^2 = \Pi_{\max} / T_{\max}^* , \qquad (10.7)$$

де $T_{\max}^* = T_{\max} / k^2$. При цьому для обчислення максимальних значень потенційної і кінетичної енергій береться деяка форма коливань. Якщо вона співпаде з першою формою коливань системи, ми отримаємо точне значення першої власної частоти, а в іншому випадку це значення завжди завищене. Метод дає цілком прийнятну для практики точність, якщо в якості першої форми коливань взяти статичну деформацію системи.

Таким чином, ще в XIX столітті в працях О. І. Сомова і Релея сформувалася методика побудови диференціальних рівнянь, що описують малі коливальні рухи дискретних механічних систем за допомогою рівнянь Лагранжа II роду

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j}\right) - \frac{\partial T}{\partial q_j} + \frac{\partial R}{\partial \dot{q}_j} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_j} = Q_j(t), \qquad (10.8)$$
$$(j = 1, 2, \ldots s),$$

де в узагальнену силу повинні бути включені всі силові фактори, за винятком пружних і дисипативних, охоплених функціями R і Π.

Рівняння Лагранжа (10.8) в матричній формі, що описують вимушені коливання механічної системи, після підстановки всіх функцій виглядають так

$$\mathbf{I}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{B}\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}\mathbf{q} = \mathbf{Q}(t) \cdot \qquad (10.9)$$

Тут $\mathbf{B}$ – матриця демпфірування, а $\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}$ і $\ddot{\mathbf{q}}$ – вектори-стовпці відповідно узагальнених координат, швидкостей і прискорень. Загальне рішення даного рівняння складається з вільних і супроводжуючих коливань, які завжди є затухаючими, і вимушених коливань, що відбуваються з частотою збурюючої сили. Обмежимося розглядом тільки часткового рішення, відповідного вимушеним коливанням. В якості збудження Релей розглядав узагальнені сили, що змінюються за гармонійним законом. Багато відносили цей вибір до простоти розглянутого випадку, однак Релей

наводить більш переконливе пояснення – розкладання в ряд Фур'є. Використовуючи це розкладання для узагальнених сил

$$Q_j(t) = Q_0 + \sum_{i=1}^{N} Q_{j_i}^{C} \cos(i\omega t) + Q_{j_i}^{S} \sin(i\omega t), \quad (j = 1,2,\ldots,s) \tag{10.10}$$

і принцип суперпозиції, запишемо рішення у вигляді

$$q_j = \sum_{i=1}^{N} A_{j_i}^{C} \cos(i\omega t) + A_{j_i}^{S} \sin(i\omega t), \quad (j = 1,2,\ldots s). \tag{10.11}$$

При почерговій підстановці (10.11) в (10.9) отримаємо для кожної гармоніки систему 2*s* лінійних алгебраїчних рівнянь

$$\begin{cases} (\mathbf{C} - \mathbf{I} i^2 \omega^2)\mathbf{A}_j^s - \mathbf{B} i\omega \mathbf{A}_j^c = \mathbf{Q}_j^c \\ \mathbf{B} i\omega \mathbf{A}_j^s + (\mathbf{C} - \mathbf{I} i^2 \omega^2)\mathbf{A}_j^c - = \mathbf{Q}_j^s \end{cases}. \tag{10.12}$$

Таким чином, для механічної системи, що має понад два ступені свободи, рішення системи рівнянь (10.12) представляє певні труднощі, які лавиноподібно зростають при зростанні порядку системи. Уже при п'яти – шести ступенях свободи задача про вимушені коливання класичним способом вручну вирішена бути не може.

В теорії коливань механічних систем малі (лінійні) коливання дискретних систем зіграли особливу роль. Розроблена для лінійних систем спектральна теорія не вимагає навіть побудови диференціальних рівнянь, а для отримання рішення можна відразу записати системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Хоча в середині XIX століття і були розроблені методи визначення власних векторів і власних значень (Якобі), а також рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь (Гаусс), про практичне їх застосування навіть для систем з невеликим числом ступенів свободи не могло бути й мови. Тому до появи досить потужних ЕОМ було розроблено безліч різних способів вирішення завдання про вільні і вимушені

коливання лінійних механічних систем. Багато видатних учених – математиків і механіків – займалися цими задачами, мова про них піде нижче. Поява потужної обчислювальної техніки дозволила не тільки в долі секунди вирішувати лінійні задачі великої розмірності, а й автоматизувати сам процес складання систем рівнянь.

Задачі про коливання континуальних систем близькі до завдань опору матеріалів і теорії пружності. З них найбільш практично важливою була задача про поперечні коливання бруса. Першим її для бруса постійного перерізу досліджував Данило Бернуллі. Він використовував для виведення рівнянь пружних кривих варіаційне числення. А повністю задачу про коливання призматичних стрижнів при різних граничних умовах вирішив Леонард Ейлер. Це рішення було опубліковано в «Журналі Петербурзької академії» за 1782 рік.

Завдання на коливання континуальних систем, тобто систем, маси яких вважаються розподіленими безперервно (твердих тіл) близькі до завдань опору матеріалів і теорії пружності. Тому теорія коливань континуальних систем розвивалася слідом за розвитком цих дисциплін. Завдання на коливання пружних тіл розглядалися як коливання континууму точок з граничним переходом до нескінченності. На відміну від дискретних систем, континуальні описуються диференціальними рівняннями в часткових похідних. При цьому розглядається однорідний ізотропний матеріал, який підпорядковується закону Гука.

Великий інтерес до коливань пластин з’явився після знаменитих дослідів **Хладні**. Рівняння коливань пластини вивела **Софі Жермен** (1776 – 1831), яка, однак, допустила серйозну помилку, правильне рішення було отримано Лагранжем.

Крім двовимірних рівнянь, Лагранжем було виведено тривимірне рівняння для поширення коливань (хвиль) в тривимірному однорідному необмежено протяжному у всіх напрямках середовищі.

Однак математичні успіхи в XVIII столітті були досягнуті тільки в одновимірних задачах. Для більш складних завдань не вистачало знань в області опору матеріалів. Проте, успіхи фізичної теорії мали глобальне значення. Зокрема в теорії коливань:

- було усвідомлено значення обмеження малості коливань для лінійної постановки задач;
- введено принцип суперпозиції рішень;

- увійшли в науковий обіг поняття частоти, періоду і амплітуди коливань;

- в задачі про коливання струни в математичній формі було встановлено зв'язок між коливаннями і хвилями.

Подальший розвиток теорії коливань континуальних систем пов'язаний з розвитком теорії пружності в основному представниками французької математичної школи. Упродовж XIX століття були розроблені аналітичні методи розрахунків коливань різних твердих тіл геометрично правильної форми. З усіх вчених можна відзначити праці Пуассона, Кірхгоффа і основоположника російської школи теорії пружності **О. М. Динника**.

Коливанням пружних тіл в XIX столітті були присвячені численні дослідження. Інтеграли рівнянь коливання пружного простору були отримані Д. Пуассоном і М. В. Остроградським в кінці 20-х років. Тоді ж Пуассон виявив існування двох хвиль, що поширюються в ізотропному пружному тілі, зі швидкостями, що відносяться як $\sqrt{3}:1$. **Дж. Г. Стокс** (1819 – 1903) показав, що більш швидка хвиля – це поздовжня хвиля об'ємного стиснення, а повільна – поперечна хвиля вихору зсувів, що не викликає зміни щільності.

Задача коливань кругової пластини була вирішена Г. Р. Кірхгоффом. Він також обчислив частоти деяких видів коливань для платівки з вільним контуром.

Поздовжні і крутильні коливання стрижнів були вперше досліджені Хладні. У «Теорії звуку» Релей пропонує свій, більш повний висновок рівняння поздовжніх коливань стрижня, аналогічного рівнянню коливань струни постійної щільності.

Аналітичне дослідження деяких окремих випадків коливань стрижнів змінного поперечного перерізу вперше проведені Кірхгоффом. Розглядаючи вібрації клинчастого стрижня, він шляхом дотепного перетворення замінює рівняння четвертого порядку двома рівняннями другого порядку та інтегрує їх з допомогою статечних рядів. **Дж. Морроу** в роботі «Про поперечні коливання брусів» (1905 р.), вирішує цю ж задачу за допомогою методу Релея. При цьому він припускає, що стрижень викривляється по параболі другого порядку. Нарешті в 1913 році **П. Ф. Вард** опублікував роботу, в якій розглянув поперечні коливання стрижня змінного перерізу.

Таким чином, протягом XVII – XIX ст. були розроблені аналітичні методи розрахунків в основному вільних коливань різних твердих тіл геометрично правильної форми. При цьому теоретичні результати були перевірені відповідними експериментами. Завдяки цьому методика складання і рішення диференціальних рівнянь отримала підтвердження. Як буде показано нижче, ці результати мали велике значення і при вирішенні задач для тіл більш складної форми.

У 1915 році Катеринославським гірничим інститутом була видана «Теорія вібрацій» О. М. Динника. У ній дані рішення багатьох завдань вібрацій струн, стрижнів, пластин і об'ємних тіл. Наприклад, досліджені задачі про поздовжні і поперечні коливання стрижнів змінного перерізу: клина, конуса, зрізаного конуса та ін. Розглянуто коливання кругового циліндра, як суцільного, так і порожнього, крутильні коливання диска.

10.4. Розвиток термодинаміки

У XIX столітті з'являється новий розділ фізики, що вивчає найбільш загальні властивості макроскопічних систем і способи передачі і перетворення енергії в таких системах – термодинаміка. Нова наука виявилася дуже важливою не тільки для вдосконалення парових машин, але і для створення нових типів теплових двигунів. Слід зазначити, що протягом більш ніж 100 років парові машини будувалися без відповідної теорії. Успіхи парових двигунів не дають спокою численним винахідникам. Число винаходів різних типів двигунів швидко зростає, пропонується чимало і «вічних двигунів». Пошук останніх настільки відволікав вчених, що в 1775 році, за 70 років до встановлення закону збереження енергії і за 90 років до відкриття другого закону термодинаміки, Паризька Академія наук першою в світі приймає рішення їх більше не розглядати.

В античні і середньовічні часи вважалося, що носіями тепла в тілі є невагома речовина, яка пізніше отримала назву теплород (флогістон). На противагу теорії теплорода в працях **Френсіса Бекона** (1561 – 1626) зароджується теорія про кінетичну природу тепла, в рамках якої теплота представляється як певний вид руху часток. Розуміння зв'язку між дією вогню і механічною роботою парової машини в деякій мірі допомагало першим винахідникам.

Однак уявлення про природу тепла ще довго залишалися предметом суперечок. Шотландський хімік **Джозеф Блек** (1728 –

1799), вивчаючи природу теплоти, встановив, що різні види речовини нагріваються різною мірою однією і тією самою кількістю теплоти. В результаті він виявив теплоємність різних видів речовини. Блек встановив, що при таненні льоду і снігу протягом певного часу вони поглинають тепло, не стаючи при цьому теплішими. Це дозволило йому виявити прихований стан теплоти.

При цьому Блек також розумів теплоту як якусь матеріальну субстанцію, яку великий хімік Антуан Лоран Лавуазьє назвав теплородом. Спроби зважити її виявилися невдалими, тому теплоту стали розглядати як особливого роду невагому незнищенну рідину, здатну перетікати від нагрітих тіл до холодних. Лавуазьє вважав, що подібна концепція була в повній відповідності з його ідеєю отримання теплоти за допомогою хімічних сполук. Захоплення цією концепцією виявилося настільки велике, що вона протрималася до середини XIX століття, і кінетична теорія теплоти відступила на другий план, незважаючи на те, що її поділяли Ньютон, Гук, Бойль, Д. Бернуллі і Ломоносов.

XIX століття є століттям тріумфальної ходи парової машини. Вона стала не просто головним, а практично єдиним двигуном в промисловості і на транспорті. Однак парові машини мали дуже низький ККД, і їх подальше вдосконалення вимагало розвитку теоретичних основ теплотехніки. При цьому конструктори парових машин, в тому числі і Дж. Уатт, користуються емпіричними даними.

Першу фундаментальну працю з теорії теплотехніки «Роздуми про рушійну силу вогню і машини, здатні розвивати цю силу» видав в 1824 році французький інженер Саді Карно. Він передбачив, що тепловим машинам «судилося здійснити великий переворот в цивілізованому світі», і поставив собі за мету визначити причини їх недосконалості. У своїй праці Карно заклав основи термодинаміки, оскільки там містилися (хоча й отримані за допомогою теорії теплорода ») і обидва начала термодинаміки, і її основні поняття, й ідеальний цикл теплових машин, й інші важливі положення. Основоположник термодинаміки пропонує робочий цикл чотиритактного двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ), відповідний чотирьом ходам поршня: 1-й – всмоктування повітря; 2-й – стиснення його, в кінці якого відбувається подача і згоряння палива; 3-й – розширення газоподібних продуктів згоряння, тобто робочий хід; 4-й – випуск відпрацьованих газів.

Робота Карно пройшла майже непоміченою. І лише через 10 років, після видання «Мемуари про рушійну силу теплоти» Б. Клапейрона, вона стала майже сенсацією. Клапейрон «переклав» її математичною мовою, розкривши великий зміст цієї праці, і першим застосував графічний метод дослідження роботи теплових машин – метод циклів. У 1845 – 1847 роках працями Р. Майера, Д. Джоуля, Г. Гельмгольця остаточно формулюється закон збереження і перетворення енергії – перший закон термодинаміки. Недовіра до нового закону швидко розсіюється завдяки працям В. Томсона (лорда Кельвіна), Р. Клаузіуса, У. Ренкіна й ін.

У 1855 – 1865 роках Клаузіус вводить поняття оборотних і необоротних процесів і ентропії – величини, зростання якої в необоротних процесах характеризує ту частину енергії тіл, яка не може бути перетворена в роботу, а розсіюється у вигляді теплоти. Оскільки всі реальні процеси внаслідок тертя, теплопровідності і кінцівки часу їх протікання незворотні, ентропія ізольованих систем завжди зростає. Це формулювання другого начала термодинаміки Клаузіус без належних підстав поширив на Всесвіт, оголосивши про неминучість її «теплової смерті». Це означало, що колись вся енергія, наявна на Землі і в інших частинах Всесвіту, перетвориться в тепло, а рівномірний розподіл останнього між тілами земної природи і Всесвіту призведе до вирівнювання температури і до повного припинення перетворень енергії. Однак ця теорія не враховує нескінченність Всесвіту, в якій процеси розсіювання і концентрації енергії повинні чергуватися і в часі, і просторі. Цим пояснюється наявність запасів енергії на Землі і в Сонячній системі. Крім того, австрійський фізик Л. Больцман, один з творців молекулярно-кінетичної теорії газів, довів, що закон зростання ентропії непридатний до Всесвіту ще й тому, що він справедливий лише для статистичних систем, що складаються з великої кількості хаотично рухомих частинок, поведінка яких підпорядковується законам теорії ймовірностей. Для них зростання ентропії є лише найбільш ймовірним, але з необхідністю має наступати і малоймовірна подія – її зменшення. У Всесвіті ж діють динамічні закони.

Так було закладено фундамент термодинамічного методу, і почалася розробка його застосувань, перш за все, до теорії теплових машин.

ГЛАВА 11

Наука і техніка в першій половині XX століття

11.1. Криза у фізиці. Новітня революція в природознавстві

В кінці XIX століття вважалося, що в області фізики вже все відомо і залишилося з'ясувати лише деякі незначні деталі фізичних процесів. З цієї причини обдарованих випускників школи відмовляли займатися вивченням фізики. У першій половині XIX століття вчення про електричні і магнітні явища ґрунтувалося на уявленні про існування сил дальнодії між зарядами і струмами. Виняток становили лише погляди М. Фарадея, які поділяв **Джеймс Клерк Максвелл** (1831 – 1879). Останній поставив собі за мету викладу теорії Фарадея строгою математичною мовою. Свої дослідження Максвелл будує на основі методу аналогій між різними фізичними явищами. Так з'являється ідея електричного поля. Вчений приходить до висновку про те, що «світло складається з поперечних коливань того ж середовища, яке є причиною електричних і магнітних явищ». У 1865 році Максвелл розробив електромагнітну теорію.

Генріх Герц (1857 – 1894) експериментально підтвердив існування електромагнітних хвиль, створивши для цього вібратор і резонатор. Він докладно дослідив такі властивості цих хвиль, як відображення, інтерференція, дифракція і поляризація. Він також довів, що швидкість поширення електромагнітних хвиль збігається

зі швидкістю світла, яке, таким чином, являє собою різновид електромагнітних хвиль.

У 1895 році **Петро Миколайович Лебедєв** (1866 – 1912) повторив досліди Герца і отримав електромагнітні хвилі по довжині близькі до інфрачервоного випромінювання. Крім того, Лебедєв поставив досліди по вимірюванню тиску світлових хвиль, отримавши результати, відповідні теорії Максвелла.

Також в 1895 році **Вільгельм Конрад Рентген** (1845 – 1923), створивши трубку спеціальної конструкції, відкрив промені, названі його ім'ям. Експерименти з рентгенівськими променями допомогли отримати нові відомості про будову речовини. Вченому першому з фізиків в 1901 році присудили Нобелівську премію. Через деякий час рентгенівські трубки знайшли широке застосування в медицині і різних областях техніки. З'явилися нові напрямки науки і техніки – рентгенологія, рентгенодіагностика, рентгенометрія та ін.

У 1896 році **Антуан Анрі Беккерель** (1852 – 1940) встановив, що кристал уранової солі є джерелом постійного випромінювання, здатного проникати через світлонепроникні екрани і засвічувати фотопластинки. Так було відкрито явище радіоактивності.

Через два роки **Марія Склодовська-Кюрі** (1867 – 1934) і **П'єр Кюрі** (1859 – 1906) виділили з уранових руд новий елемент – радій, що володіє радіоактивністю набагато більшою, ніж уран. У тому ж 1898 році ними був відкритий полоній. Марія і П'єр Кюрі провели всебічні дослідження радіоактивних елементів. У 1903 році вони спільно з Анрі Беккерелем отримали Нобелівську премію з фізики «за видатні заслуги в спільних дослідженнях явищ радіації». Ще одну Нобелівську премію Марія Склодовська-Кюрі одержала в 1911 році з хімії і на сьогоднішній день є єдиною в світі жінкою – двічі лауреатом Нобелівської премії.

Другим напрямком досліджень стало з'ясування природи електрики. Уявлення про її атомарну будову стали складатися у вчених в другій половині XIX століття. Про це, зокрема, свідчив закон електролізу Фарадея. У 1880-і роках з'ясувалося також, що гази, хоча і слабко, теж проводять електричний струм.

Ідею про корпускулярну теорію електрики розробив голландець **Хендрік Антон Лоренц** (1853 – 1928). Він створив класичну електронну теорію, об'єднавши концепцію безперервного електромагнітного поля з ідеєю про дискретні електричні заряди, що входять до складу речовини.

Лоренц застосував свою теорію для вирішення безлічі окремих завдань: отримав вираз для сили, що діє на рухомий заряд з боку електромагнітного поля (сила Лоренца), вивів формулу, яка б пов'язала показник заломлення речовини з його щільністю (формула Лоренца), розробив теорію дисперсії світла і ін. на основі електронної теорії вчений розвинув електродинаміку рухомих середовищ, висунувши гіпотезу про скорочення тіл в напрямку їх руху. Він ввів поняття про «місцевий час» і отримав релятивістський вираз для залежності маси від швидкості, вивів співвідношення між координатами і часом в рухомих відносно один одного інерційних системах відліку (перетворення Лоренца). Роботи Лоренца лежать в основі спеціальної теорії відносності і квантової фізики. Крім того, йому належать важливі результати в термодинаміці, загальній теорії відносності і теорії теплового випромінювання.

Джозеф Джон Томсон (1856 – 1840) проводив експерименти з вивчення катодних променів, розглядаючи їх відхилення в електричних і магнітних полях. Своїми дослідами він довів, що катодні промені мають корпускулярну природу і складаються з негативно заряджених частинок субатомного розміру. При цьому всі частинки тотожні один одному і входять до складу атомів речовини. В результаті в 1897 році Томсон відкрив електрон і виміряв відношення його заряду до маси. За це відкриття він в 1906 році отримав Нобелівську премію з фізики. Перші знімки треків окремих електронів були отримані **Чарльзом Вільсоном** за допомогою створеної ним камери.

У 1898 році **Ернест Резерфорд** (1871 – 1937) відкрив альфа- і бета-промені. Через рік **Поль Війяр** (1860 – 1934) відкрив гамма-випромінювання. Вивчаючи природу альфа-променів, Резерфорд встановив, що це потік ядер гелію.

У 1909 – 1911 роках Резерфорд і його співробітники **Ернст Марсден** і **Ганс Гейгер** провели перші прямі експерименти з дослідження внутрішньої структури атомів. Результатом стало відкриття атомного ядра – найбільша подія в атомній фізиці. Отримані в результаті експерименту дані привели Резерфорда до розробки планетарної моделі атома.

У 1920 році Резерфорд висловив припущення, що повинна існувати частка масою, рівній масі протона, але не має електричного заряду – нейтрон. Експериментально її існування було доведено

Джеймсом Чедвіком в 1932 році. Однак планетарна модель атома Е. Резерфорда виявилася несумісна з електродинамікою Максвелла.

На самому початку XX століття **Макс Планк** (1858 – 1947) вивів формулу розподілу енергії в спектрі абсолютно чорного тіла, з якої випливало, що енергія випромінюється не рівномірно, як припускали раніше, а частинами – квантами. На цій основі **Альберт Ейнштейн** (1879 – 1955) в 1905 році розвинув квантову теорію фотоефекту.

Датський фізик **Нільс Бор** (1885 – 1962) запропонував модель атома, засновану на квантовій теорії. Він відомий як творець першої квантової теорії і як учасник розробки основ квантової механіки і процесів взаємодії елементарних частинок. Бор сформулював принцип відповідності, що зв'язує квантову теорію з класичною фізикою. Він зіграв величезну роль при побудові послідовної квантової механіки. У 1921 – 1923 роках Бор на основі своєї моделі атома і спектроскопічних даних представив схему заповнення електронних орбіт, пояснивши тим самим властивості елементів періодичної системи Менделєєва.

Відкриття залежності маси електрона від його швидкості, гіпотеза про чисто електромагнітну природу маси ніби позбавляли тіла матеріальності. Деякі фізики і філософи висловлювали думку про те, що «матерія зникла», що розвиток науки змушує відмовитися від визнання існування матерії і справедливості загальних найважливіших фізичних законів збереження маси, кількості руху, енергії та ін. Відкриття радіоактивності посилювало ситуацію, оскільки не було відповіді на питання про джерело енергії, яку несе з собою радіоактивне випромінювання.

Ситуацію, що склалася у фізиці на рубежі XX ст., **Анрі Пуанкаре** (1854 – 1912) назвав кризою фізики. Причини цієї кризи він в першу чергу пов'язував з можливістю відмови від фундаментальних принципів фізичного пізнання. Таким чином, до кінця XIX століття механістична метафізична методологія себе вичерпала.

Початок нової наукової революції поклав Альберт Ейнштейн, який розробив в 1905 році на основі робіт Пуанкаре, Лоренца та ін. ***спеціальну теорію відносності***. Ця теорія, описує рух, і просторово-часові відносини при довільних швидкостях, в тому числі близьких до швидкості світла. При цьому класична механіка

Ньютона є наближенням теорії відносності, справедливим при малих швидкостях руху.

У 1916 році Ейнштейн створює загальну теорію відносності, яка є узагальненням спеціальної теорії відносності для гравітаційних полів. Нова теорія перевернула уявлення всіх вчених того часу. Відповідно до цієї теорії, гравітація це не процес взаємодії полів і тіл у просторі, а результат викривлення простору-часу. Ця теорія пояснила появу у Всесвіті так званих чорних дір, а також викривлення світлових променів від зірок при їхньому проходженні поруч із Сонцем.

Таким чином, на початку XX століття почалася наукова революція в природознавстві, в основі якої були нові досягнення у фізиці, зруйнували ньютоновську космологію. Вона супроводжувалася крахом колишніх уявлень про будову матерії, її властивості, формах руху і типах закономірностей, про простір і час. Це означало кризу фізики і всього природознавства, заснованого на метафізичних філософських підставах класичної науки.

Значних успіхів було досягнуто до початку XX століття і в інших галузях науки. У біології отримала подальший розвиток дарвінівська теорія еволюції. На її основі виросли науки про будову і розвиток клітин (цитологія) і тканин (гістологія). Вивчення проблем спадковості, початок якому поклав Мендель, виділилося в окрему науку – генетику. Найбільш важливими в ній були роботи німецького зоолога **Августа Вейсмана** і американського біолога **Томаса Ханта Моргана**.

Всесвітнє визнання отримали дослідження **Івана Петровича Павлова** (1849 – 1936) в області фізіології людини. Він не тільки створив теорію умовних рефлексів, а й розробив новий загальний методологічний підхід до вирішення проблем фізіології.

11.2. Розвиток промисловості

В кінці XIX століття були зроблені винаходи, які докорінно змінили життя людства в XX столітті. До них відносяться більш досконалі, ніж парова машина, теплові двигуни – ДВЗ і парова турбіна, нові засоби зв’язку – телефон і радіо, нові транспортні засоби – автомобіль і трактор та ін. Відмінність нового етапу

наукового прогресу полягала в тому, що його досягнення швидко знаходили практичне застосування, втілюючись в технічні пристрої.

XX століття часто називають століттям електрики. Основним джерелом енергії на електростанціях стають парові і гідротурбіни. Електроенергія стала широко використовуватися не тільки в промисловості і в побуті, але і на транспорті. Електрична тяга виявилася дуже ефективною, вже до початку століття з'являються електричні локомотиви, пасажирські вагони, оснащені тяговими електродвигунами та електричні трамваї. На електричну енергію переводяться також лінії метро.

Початок XX століття характеризується процесом концентрації виробництва електроенергії на основі створення великих районних електростанцій. Особливо стрімко цей процес протікав в США і Німеччині. Потужність окремих електростанцій за перше десятиліття століття зросла з 200 до десятків тисяч кіловат. Наприклад, в 1914 році дві найбільші станції США Ніагарська ГЕС і компанії Едісона виробили 2020,6 млн. КВт·год, майже стільки ж, скільки всі станції Росії разом узяті. Станція Гольденберг в Німеччині перед Першою світовою війною мала чотири генератора по 15 тис. КВт.

Наукові досягнення в галузі електротехніки дозволили створити нові види зв'язку. 14 лютого американець шотландського походження **Олександр Грехам Белл** (1947 – 1922) подав заявку на винайдений ним телефон. У 1878 році Т. Едісон створив новий тип апарату. Телефон став швидко поширюватися, в кінці XIX століття з'явилися вже міжміські лінії. У XX столітті телефон став основним засобом зв'язку. У 1921 році створено радіотелефон, а в 1930-му – автоматичні телефонні станції. У другій половині XX століття створений стільниковий телефон. У наш час стільниковий зв'язок є найпоширенішим видом зв'язку.

Відкриті в кінці 80-х років XIX століття радіохвилі послужили основою для створення радіо. У 1895 році російський вчений **Олександр Степанович Попов** (1859 – 1906) продемонстрував свій перший радіоприймач. Через кілька років на маневрах Чорноморського флоту в 1899 році він встановив радіозв'язок на відстані понад 20 км. Почалося його впровадження в російській армії і на флоті. На початку 1900 року радіозв'язок був успішно використаний під час рятувальних робіт у Фінській затоці, а в 1901 році дальність передачі була вже 150 км. Однак патенту на свій

винахід Попов не взяв. У той же час, незалежно від російського вченого, італієць **Гульєльмо Марконі** (1874 – 1937) запатентував в Англії «спосіб передачі електричних імпульсів без проводів». Наступного року було створено акціонерне товариство по впровадженню і експлуатації цього винаходу. Марконі отримав значні кошти для подальшої роботи і на початку XX століття зміг здійснити радіопередачу через Атлантичний океан.

Радіо стало не тільки засобом зв'язку і найважливішим засобом масової інформації в першій половині XX століття, а й дало початок таким науково-технічним напрямкам, як радіолокація, радіоастрономія, радіонавігація, радіометрологія й ін.

У другій половині XX століття найбільш масовим засобом поширення інформації стає телебачення. У першій чверті століття було створено механічне телебачення, основою якого послужив скануючий диск, винайдений **Паулем Ніпковим** в 1884 році. У 1907 році російський вчений **Борис Розінг** отримав патент на електричний спосіб передачі зображення на відстань. У 1926 році **Б. П. Грабовський** та **І. Ф. Бєлінський** в Ташкенті здійснили першу передачу рухомого зображення на основі електронно-променевої трубки. Правда, зображення було нечітке.

У 1930-і роки почалася регулярна трансляція телевізійних передач. Перше чинне телебачення організував в США російський емігрант **Володимир Кузьмич Зворикін** в 1931 році. У СРСР трансляція передач по одній годині 12 раз на місяць була організована в Москві в 1931 році. У 1953 році в США з'явилося кольорове телебачення в стандарті NTSC, використовуваному до сих пір. У Радянському Союзі кольорове телебачення впроваджувалося з 1967 роціпри цьому використовувався французький стандарт SECAM, сумісний з чорно-білим телебаченням.

Прогрес у галузі хімії дозволив почати виробництво штучних матеріалів: пластмас, каучуку, шовку й ін. Розвиток пластмас почався з використання природних пластичних матеріалів. Пізніше для виготовлення пластмас стали застосовувати повністю синтетичні молекули: бакеліт, епоксидну смолу, полівінілхлорид, поліетилен та ін.

У 1872 році німецький хімік **Євген Бауман** створив ***полівінілхлорид*** (ПВХ), що не знайшов тоді застосування. Застосовуватися ПВХ став тільки після того, як в 1926 році американець **Вальтер Симон** удосконалив матеріал. На

сьогоднішній день вініл займає друге місце в світі за обсягом виробництва. Він використовується для виготовлення різних приладів, плитки, фарби і поверхневих покриттів, ізоляції проводів і плащів, каблуків, м'ячів для гольфу та інших.

Прекрасним пакувальним матеріалом став ***целофан*** – прозора плівка, що виготовляється з регенерованої целюлози. У 1908 році швейцарський інженер ***Жак Е. Бранденбергер*** розробив першу машину з її виробництва.

У 1909 році американським хіміком **Лео Бекеландом**, бельгійцем за походженням, був відкритий ***бакеліт*** – один з перших видів пластику, виготовлених із синтетичних компонентів. Завдяки низькій електричній провідності і термостійкості він застосовується в електричних ізоляторах, корпусах для радіо і телефонів, а також для виготовлення посуду, ювелірних виробів, труб та дитячих іграшок.

Першим синтетичним каучуком, що мав промислове значення, був ***полібутадієновий каучук***, що вироблявся синтезом за методом **С. В. Лебедєва**. У 1932 році в СРСР, в Ярославлі, запущений перший у світі завод з виробництва синтетичного каучуку в промислових масштабах.

У 1935 році співробітники британської компанії «Імперія хімічної промисловості» **Реджинальд Гібсон** і **Ерік Фосетт** відкрили ***поліетилен*** – дешевий, гнучкий, міцний і хімічно стійкий матеріал. Він проводиться з етилену – продукту, синтезованого з газу або нафти і є найпоширенішим в світі полімером. Поліетилен низької щільності використовується для виготовлення плівок і пакувальних матеріалів, в тому числі пакетів. Поліетилен високої щільності або поліпропілен був відкритий в 1951 році. Він набагато міцніший і використовується для виготовлення пластикових пляшок, контейнерів, сантехніки, пластикових меблів і навіть автомобільних запчастин.

У наступні роки були відкриті такі полімери:

- ***акрил*** (1936), що застосовується в рідкому вигляді в фарбах і синтетичних волокнах, а в твердому вигляді як замінник скла;

- ***поліуретан*** (1937), який використовується у вигляді еластичного пінопласту в оббивці, матрацах, хімічно стійких покриттях, в спеціальних клеях, в герметиках і упаковці. У твердій

формі поліуретан використовується в матеріалах для термоізоляції будівель, в водонагрівачах, при рефрижераторних перевезеннях;

- ***полістирол*** (1938) – міцний пластик, який можна виготовляти литтям під тиском, пресуванням або формуванням з роздуванням. Матеріал широко застосовується в пластикових стаканах, картонних упаковках, а також в будівельних матеріалах і електроприладах;

- ***тефлон*** (1938), який наносили на металеві поверхні в якості захисного покриття з низьким коефіцієнтом тертя для запобігання подряпин і корозії. З 1960-х років величезною популярністю користуються тефлонові антипригарні сковороди;

- ***нейлон*** (1938), відомий також як «чудо-волокно» – синтетичний матеріал, що імітує натуральну тканину. З цього моменту в текстильній промисловості почалося активне використання штучних волокон, виготовлених виключно на основі нафтохімічних речовин.

- ***неопрен*** (1938) – синтетичний каучук;

- ***ненасичений поліестернеопрен*** (1942), інші назви ***поліефір***, ***лавсан*** і ***дакрон***. Застосовується для виготовлення синтетичних волокон, пляшок, механічних запчастин та ін.;

- ***пінополістирол*** або ***пінопласт*** (1954) – теплоізоляційний матеріал, який в 30 разів легше звичайного полістиролу;

Наукові та технічні досягнення XX століття помітно відбилися на зростанні добробуту суспільства та освіті. У міру впровадження більш досконалих машин праця ставала менш важкою. Обсяг ручної праці почав скорочуватися і в сільському господарстві. На межі XX століття робочий день на підприємствах західноєвропейських країн становив уже 10 годин з більш короткою робочою суботою. Однією з основних цілей трудящих в перші десятиліття XX століття стала боротьба за 8-годинний робочий день. Індустріалізація спричинила за собою значне зростання міського населення.

Були підвищені вимоги і до системи освіти. Потреби у фахівцях, здатних керувати новою технікою привели до встановлення в більшості європейських країн загального неповної середньої освіти (шість–вісім років). Отримали розвиток середні професійні навчальні заклади – технічні та комерційні училища, сільськогосподарські школи, в яких учні на основі неповної середньої школи, могли набути ту чи іншу професію.

11.3. Гонка озброєнь і світові війни

Перша половина XX століття характеризується боротьбою за переділ колоній. Першій світовій війні передувала небувала до того гонка озброєнь. Це в першу чергу створення нового «дредноутного» флоту. Уже перед Російсько-японською війною (1904 – 1905) кораблебудівники всерйоз замислилися над модернізацією флоту. Як проміжний тип корабля будуються броненосці зі збільшеним калібром середньої артилерії. Російсько-японська війна показала, що головною зброєю броненосних кораблів є знаряддя великого калібру. Найважливішою якістю корабля є його швидкість. Наявність тарана, марного в бою, але дуже небезпечного при випадкових зіткненнях зі своїм кораблями, знижує швидкість приблизно на два вузла. Досвід війни також показав, що, крім головного броньового пояса необхідно також бронювати весь надводний борт, хоча б не дуже товстою бронею (приблизно 100 мм), оскільки в неброньованому борту фугасні снаряди роблять пробоїни площею до 50 м^2.

Першим кораблем, в якому було враховано досвід Російсько-японської війни, став англійський «Дредноут». За своєї військовою потужністю цей корабель коштував цілої ескадри броненосців. Його ім’я дало назву новому класу лінійних кораблів – дредноутів. Уперше на такому великому бойовому кораблі в якості двигунів застосовувалися парові турбіни.

Поява нового класу броненосних кораблів звела нанівець всі флоти світу. Всім морським державам довелося терміново приступити до будівництва аналогічних кораблів. Оскільки будівництво флоту доводилося починати з нуля, Німеччина спробувала створити флот більш потужний, ніж британський. Почалася небувала гонка озброєнь, спрямована на створення якомога більшої кількості дредноутів, що отримала назву «дредноутна лихоманка». В Англії традиційно при створенні флоту дотримувалися правила «два кіля проти одного», тобто англійці закладали стільки кораблів, щоб їх флот перевершував наступний за чисельністю в два рази. Саме це забезпечувало безпеку острівної держави. В результаті дредноутної лихоманки, до початку Першої світової війни співвідношення англійських і німецьких дредноутів,

включаючи лінійні крейсера (крейсера дредноутного типу), склало 42 проти 26. Від цих країн прагнули не відставати США і Японія, які побудували велику кількість лінійних кораблів. Крім них дредноути також будувалися у Франції, Італії, Австро-Угорщини та Росії, правда, в менших кількостях. В ході цієї гонитви озброєнь водотоннажність лінкорів зросла до 40 000 т, а калібр гармат до 381 мм в Англії і Німеччині, і навіть до 406 мм в США і Японії.

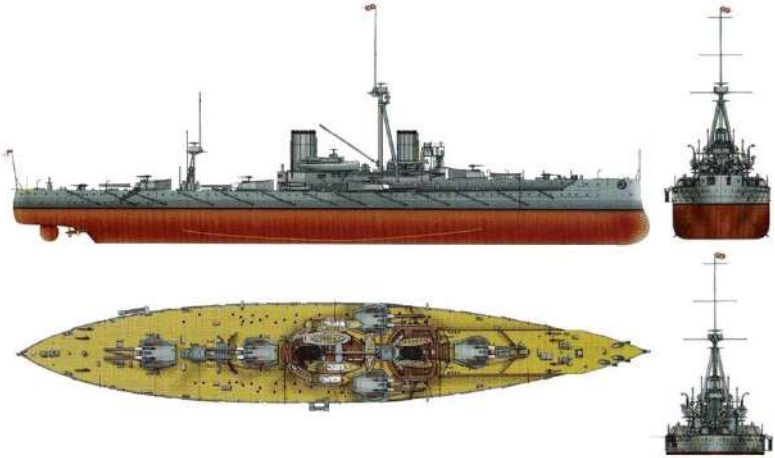

Рис. 11.2. Лінійний корабель «Дредноут», Великобританія, 1906 рік. Довжина 160,74 м, ширина 25 м, осадка 9 м, водотоннажність 21 067 т, потужність машин (4 турбіни Парсонса) 26 350 к.с., швидкість 21,6 вузла, бронювання (головний пояс): 179 - 279 мм, озброєння: 10 × 305-мм гармат, 27 × 76-мм, 20 × 75-мм, 24 × 47-мм, 8 × 37-мм, 2 × 63,5-мм десантних гармати, 4 кулемети, 5 торпедних апаратів калібру 456 мм.

Нововведення торкнулися й інших класів бойових кораблів. Будуються нові швидкісні крейсери, оснащені турбінними силовими установками. Водотоннажність ескадрених міноносців зростає в кілька разів і досягає 1500 т. Ці великі есмінці озброюються 100-мм знаряддями і великою кількістю торпедних апаратів і мають при цьому найвищу швидкість. Так російський есмінець «Новік», оснащений турбінною силовою установкою поставив в 1911 році світовий рекорд швидкості – 37,3 вузла.

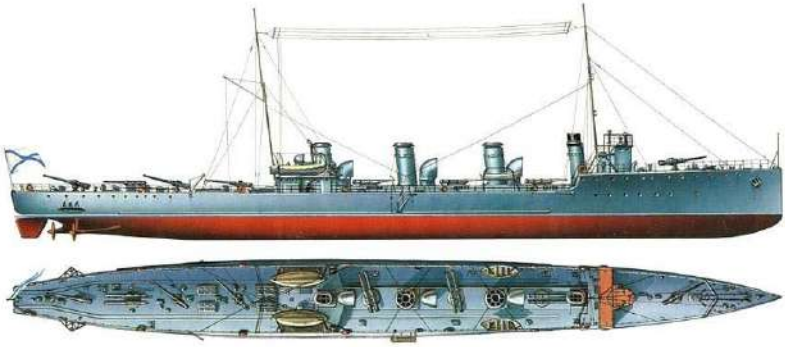

Рис. 11.1. Ескадрений міноносець «Новік», Росія, 1911 г. Довжина 102,4 м, ширина 9,5 м, осадка 3,5 м, водотоннажність 1360 т, потужність машин (3 парові турбіни «А. Е. Г. Кертіс-Вулкан») 42 000 к.с., швидкість 37,3 вузла, озброєння: 4 102-мм гармати і 4 двотрубних торпедних апарати калібру 457 мм.

У 1915 Німеччина оголосила необмежену підводну війну, при якій підводні човни топили торгові судна без дотримання правил морської війни, встановлених Гаазькою і Женевською конвенціями.

На тлі будівництва флоту сухопутні озброєння здаються скромнішими. Але й тут відбулися серйозні зміни. У військах широко впроваджуються кулемети – не тільки станкові, а й ручні, на озброєння починають надходити самозарядні гвинтівки. Удосконалюються боєприпаси для артилерії, поряд з важкими польовими гарматами калібру 6 дюймів, з’являються надважкі, калібр яких перевищує навіть 16 дюймів. На початку XX століття розробляються перші бронеавтомобілі. Для військових цілей застосовуються аероплани, поки тільки для розвідки.

В ході війни не тільки удосконалювалися існуючі, але з’явилися і нові види озброєнь: танки, пістолети-кулемети (автомати), отруйні гази. Авіацію стали застосовувати в бойових цілях – з’явилися винищувачі і бомбардувальники, а в кінці війни і літак-торпедоносець.

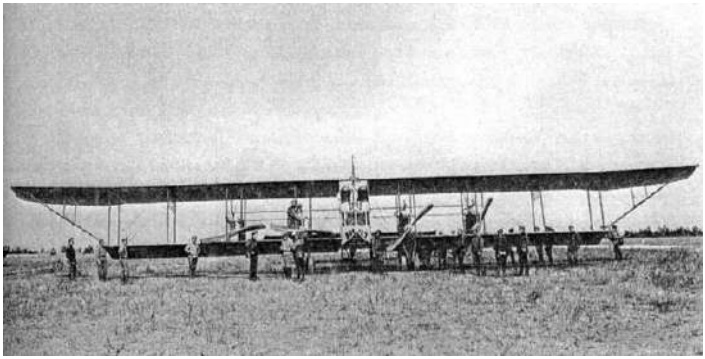

Рис. 11.3. Перший в світі важкий чотиримоторний бомбардувальник «Ілля Муромець», Росія, 1913 рік. Головний конструктор Ігор Іванович Сікорський. Злітна маса до 5 т, стелю 3000 м, швидкість 130 км/год, озброєння 4 - 6 кулеметів і 500 кг бомб. Літак останньої модифікації озброювався 8 кулеметами і ніс до 1500 кг бомб. Міг використовуватися як пасажирський літак.

Перший танк Mark I був створений в Англії в 1916 році. А найвдалішим танком Першої світової війни став французький легкий танк Рено FT-17, який був розроблений в 1916 – 1917 роках як танк безпосередньої підтримки піхоти. Він мав компоновку, що стала класичною, і визначив подальший розвиток танкобудування.

У період між світовими війнами основним видом сухопутних військ стали танкові війська. Без масштабного застосування танків не обійшлась жодна наступальна операція Другої світової війни.

Першим в світі танкові війська, здатні вирішувати стратегічні завдання, створив Радянський Союз. Одним з провідних танкобудівних підприємств став Харківський паровозобудівний завод (ХПЗ) імені Комінтерну. На ньому випускалися швидкохідні колісно-гусеничні танки БТ-2, БТ-5 і БТ-7, які в передвоєнні роки не мали собі рівних в швидкості, маневреності і, володіючи достатньою вогневою міццю, стали найбільш улюбленими машинами радянських танкістів, гордістю і заслуженим символом автобронетанкових військ Червоної Армії. Вони найбільшою мірою відповідали уявленню про танки як про головну ударну силу сухопутних військ.

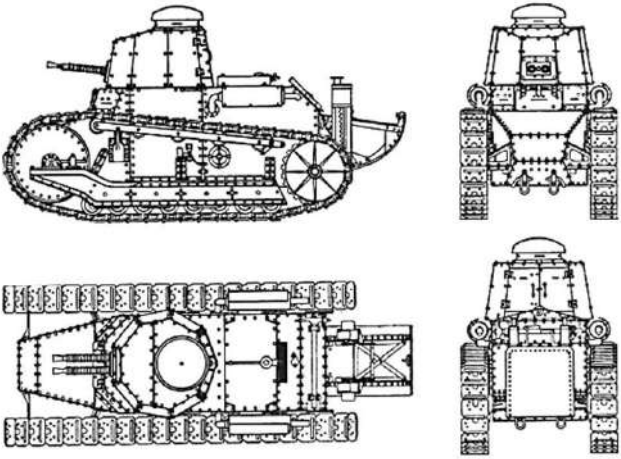

Рис. 11.4. Танк Рено FT-17. Озброєння або 37-мм гармата «Гочкісс», або 8-мм кулемет. Маса танка відповідно 6,5 або 6,2 т, екіпаж дві людини.

Рис. 11.5. Танк БТ-7, встановлений на Харківському заводі транспортного машинобудування імені В. А. Малишева (колишній ХПЗ)

У Другій світовій війні танки зіграли дуже важливу роль. Саме танкові з’єднання дозволили гітлерівцям застосовувати стратегію

«бліцкригу» (блискавичної війни). Основними перевагами німецьких танків були висока мобільність і надійність, прекрасна оптика, і відмінні радіостанції.

У 1940 році на ХПЗ був створений танк Т-34, який став першою в світі машиною, що вдало реалізувала концепцію універсального танка з надійною бронею, високою маневреністю і вогневою міццю. Крім того в Харкові був також випущений перший в світі спеціальний танковий дизель В-2. Його застосування в усіх середніх і важких танках зумовило перевагу радянських танків в роки Другої світової війни.

У післявоєнні роки в Харкові сформувалася самобутня науково-технічна школа танкобудування. Її відрізняє ретельне опрацювання компонування танка, компактність і простота його конструкції, що досягаються за рахунок відсутності усіляких надмірностей. Це дозволяє не тільки знизити габарити, а, отже, і масу танка, але і підвищити його надійність. Найважливішою складовою успіху харківських машин є застосування спеціальних танкових дизелів, також розробляються і виробляються на Харківському заводі. На рахунку Харківської школи танкобудування створення кращого танка всіх часів Т-34, а також танків Т-44, Т-54 і Т-64А, що визначили розвиток світового танкобудування.

Міжвоєнний період відзначений істотним прогресом та в літакобудуванні. Бойова авіація стає найважливішим видом збройних сил, поряд з фронтовою з’являється стратегічна і морська авіація. За ці роки потужність авіамоторів зростає в 10 разів. Найпоширенішими авіамоторами стали V-подібні 12-циліндрові двигуни рідинного охолодження і 9-циліндрові радіальні (зіркоподібні) двигуни повітряного охолодження. До початку Другої світової війни, коли швидкості літаків зросли, перевага була віддана V-образним моторам, так як у радіальних був великий лобовий опір. У зв’язку з цим були створені дворядні «зірки» з 14 і навіть з 18 циліндрами.

У бойових діях Другої світової війни на Тихому океані основним класом бойових кораблів стали авіаносці. У вирішальних морських битвах флоти Японії і США не обмінюються жодним пострілом, а всі завдання вирішує авіація.

Рис. 11.6. Авіаносець «Лексінгтон», США, 1927 рік. Довжина 270,6 м, ширина 32 м, осадка 7,5 м, водотоннажність 33 000 т, бронювання: борт 178 мм, палуба – 76 мм; озброєння: 8 203-мм гармат і 12 127-мм, 78 літаків. Силова установка турбоелектрична, чотирьохвальна, потужністю 180 000 к.с.; швидкість 33 вузла, дальність плавання 12 000 миль, при швидкості 14 вузлів.

Рис. 11.7. Найбільший в світі лінійний корабель «Ямато», Японія, 1941 рік. Довжина 256 м, ширина 36,9 м, осадка – 9 м, водотоннажність 72 810 т, бронювання: борт - 410 мм, палуба – 200 мм, рубка – 500, башти – 650 мм; озброєння: 9 460-мм гармат, 12 – 152-мм, 12 – 127-мм, 24 – 25-мм, 8 – 13-мм кулеметів, потужність чотирьох турбін 150 000 к.с., швидкість 27 вузлів, дальність плавання 12 800 миль при швидкості 16 вузлів.

11.4. Розвиток залізничного транспорту в XX столітті

У XIX будівництво залізниць зробило революцію на транспорті. Найпотужніші паровози до початку XX століття були створені в Сполучених штатах Америки. Вантажні паровози з чотирма і навіть п'ятьма провідними осями типу 1-4-0 і 1-5-0* далеко випередили європейські. Це пояснюється більш досконалою системою зчіпки, що витримує більші навантаження, а також тим, що допускається тиск на рейковий шлях на дорогах США понад 30 тс на вісь, в той час як в Європі воно становить трохи більше 20 тс.

Рис. 11.8. Паровоз з колісною формулою 1-4-0 «Consolidation», побудований в 1866 році компанією Baldwin Locomotive Works

Для пасажирських поїздів сформувалися різні типи паровозів, а саме для швидкісних, тобто кур'єрських з двома провідними осями і колісними формулами 2-2-0 (він отримав назву Американський), 1-2-1 (Колумбія) і 2-2-1 (Атлантик), а для звичайних застосовувалися паровози з трьома провідними осями типів 2 3-0 (Десятіколесний), 1-3-1 (Прерія) і 2-3-1 (Пасифік).

---

* Тип паровоза представляється колісною формулою, в якій перша цифра позначає кількість бегункових (напрямних) осей, розташованих перед провідними, друга – кількість провідних осей і третя – кількість підтримуючих осей, розташованих ззаду.

У XX столітті паровози стали по-справжньому швидкісними машинами. Вже до початку століття деякі локомотиви могли без навантаження розганятися майже до 200 км/год, хоча експлуатаційні швидкості були набагато скромніші, оскільки стан залізниць не дозволяв розвивати такі швидкості. Світовий рекорд швидкості встановив британський паровоз «Mallard» 3 липня 1938 року. Він зі складом з семи вагонів розвинув швидкість 203 км/год.

Рис. 11.9. Паровоз «Mallard» з колісною формулою 2-3-1 в Національному залізничному музеї в Йорку

Подальший розвиток європейського паровозобудування проходило під сильним впливом американського, а кращими європейськими паровозами в кінці XX століття стали радянські локомотиви. Паровозобудування стало однією з провідних галузей російської промисловості. Перші паровози були побудовані в 1846 році за зразком стефенсонівського «Атласу» і призначалися для Миколаївської залізниці. На початку 1860-х років зі скасуванням кріпосного права в Росії бурхливо розвивається промисловість і будівництво залізниць. У зв’язку з тим, що своїх локомотивів випускалося дуже мало, за кордоном було закуплено близько 3700 паровозів різних типів. Проте 6 жовтня 1866 року «з метою скорочення переказу грошей за кордон» вийшло розпорядження

уряду про припинення імпорту паровозів. Було розпочато виробництво локомотивів на багатьох вітчизняних заводах загального машинобудування і сформувалася вітчизняна школа паровозобудування, засновником якої був учень І. А. Вишнеградського **А. П. Бородін**.

В кінці XIX століття в Росії спостерігається новий промисловий підйом. Центр промисловості переходить з Уралу на південь країни. Це в першу чергу пов'язано з розробкою Донецького кам'яновугільного і Криворізького залізорудного басейнів. До кінця століття тут виплавлялось 51,8% чавуну і 44% сталі від загальноросійського виробництва. Розвиток виробництва супроводжувався масштабним будівництвом залізниць. За десятиліття з 1890 по 1900 рік було побудовано 22,5 тис. км шляхів. Харків став центром будівництва Південно-Східної, Північно-Донецької та Харківсько-Миколаївської залізниць. Сталеві магістралі з'єднали між собою всі великі міста і промислові центри України, а також зв'язали їх з промисловими центрами Європейської частини Росії. В результаті до 1900 року залізнична мережа України склала 10 750 км із загальної протяжності доріг Російської імперії в 54 790 км.

Розвиток залізниць потребував виробництва 1,76 млн. т рейок, 1000 паровозів, 1300 пасажирських і 25 000 товарних вагонів на рік. Тому в Харкові в 1895 році було розпочато будівництво паровозобудівного заводу (ХПЗ). Це був перший в Російській імперії спеціалізований завод з виробництва паровозів, так як Путиловський, Сормовський, Коломенський і інші заводи, які також випускали паровози, будувалися як заводи загального машинобудування. Перший паровоз вийшов із заводу 5 грудня 1897 року. У 1900 році ХПЗ випустив 185 паровозів – більше всіх в Росії, а до кінця 1903 року через ворота заводу вийшов тисячний паровоз.

Другим найбільшим виробником паровозів на території України став Луганський паровозобудівний завод (ЛПЗ). Його будівництво почалося в 1896 році, а перший паровоз вийшов із заводу в 1900 році. ЛПЗ був розрахований на виробництво 20 паровозів на місяць і незабаром став лідером російського паровозобудування, в 1905 році він вийшов на проектну потужність і випустив 21,1% паровозів Російської імперії – 245 з 1157 локомотивів.

Спочатку Луганський завод випускав паровози за проектами інших підприємств, а згодом перейшов і до їх конструювання. Важливим кроком у розвитку локомотивобудування став паровоз серії «Э» типу 0-5-0. З 1915 року, за робочими кресленнями Луганського заводу, паровози серії «Э» почали будувати Сормовський і Харківський, а в наступному році Коломенський і Брянський заводи. Всього з 1912 по 1916 рік було побудовано 1528 паровозів цього типу. Досвід експлуатації паровозів серії «Э» показав, що вони виявилися найкращими вантажними паровозами дореволюційної Росії. У 1930-і роки, незважаючи на випуск більш потужних і швидкісних локомотивів, випуск паровозів серії «Э» тривав. Випускалися локомотиви з більш високим тиском пари, більшою швидкістю руху. Їх виробництво тривало до 1957 року, тобто до самого кінця паровозобудування. За кількістю локомотивів однієї серії (близько 11 тисяч) і за загальною тривалістю випуску (45 років) паровоз серії «Э» є абсолютним рекордсменом в історії світового локомотивобудування.

Рис. 11.10. Паровоз $Э^{Л}$-2500, побудований на ХПЗ в 1917 рік.
У роки Великої Вітчизняної війни водив бронепоїзд «Желєзняков».
Встановлено в Севастополі як пам’ятник захисникам міста

Незважаючи на те, що до початку XX століття з’явилися нові типи локомотива – тепловоз і електровоз, паровоз залишався

основним тяговим засобом до середини століття. Удосконалення паровоза полягало в застосуванні пари більш високих параметрів – температури понад 400º і тиску понад 100 атм. Оскільки парові котли при цьому вимагають більш точного регулювання, були створені котли, що працюють на вугіллі в порошкоподібному вигляді. Це заодно дозволило використовувати вугілля більш низького сорту.

В СРСР в роки перших п'ятирічок були створені найкращі в Європі паровози. На Луганському паровозобудівному заводі* був розроблений паровоз серії «ФД» (Фелікс Дзержинський), який став основним типом вантажного локомотива в СРСР і справив великий вплив на подальше проектування паровозів. Він мав конструкційну швидкість 85 км/год, службову масу – 137 т, зчіпну масу – 104 т, потужність до 3200 к.с. Діаметр ведучих коліс становив 1500 мм, тиск пара в котлі – 15 атм. Паровоз «ФД» міг працювати на вугіллі, нафті, пиловугільному опаленні, багато з них обладнувалися конденсацією пари. Паровоз також мав стокер – механічний пристрій подачі вугілля в топку.

Рис. 11.11. Вантажний паровоз серії «ФД».

* з 1935 року завод мав назву Ворошиловградський завод імені Жовтневої революції

У 1932 році Коломенський машинобудівний завод випустив пасажирський паровоз типу 1-4-2, якому було присвоєно ім'я Йосипа Сталіна (серія «ИС»). Багато його частин були уніфіковані з «ФД». У 1936 році виробництво цих паровозів було передано на Ворошиловградський завод. Потужність паровоза становить 2500 к.с. з перегрівом пари і тиском 14 атм. Загальна маса паровоза в робочому стані 133 т, зчіпна – 80,7 т, діаметр ведучих коліс 1850 мм, максимальна швидкість 100 км/год. Пізніше загальна маса збільшилася до 103 т, а швидкість до 115 км/год. У 1937 році Ворошиловградський завод побудував перший паровоз серії «ИС» з обтічником, який на випробуваннях розвинув швидкість 155 км/год. Всього з 1932 по 1942 рік було побудовано 649 паровозів серії «ИС», з них 600 у Ворошиловграді.

Паровози «ФД» і «ИС» Ворошиловградської споруди були найпотужнішими паровозами в Європі. Паровоз серії «ИС» № ИС20-241) в 1938 році був представлений на Всесвітній виставці в Парижі й удостоєний премії Гран прі.

Рис. 11.12. Пасажирський паровоз серії «ИС» з обтічним кожухом

Після Другої світової війни в усьому світі на зміну паровозів приходять тепловози і електровози.

Перший локомотив з ДВЗ був побудований Готтлібом Даймлером ще в 1887 році, але це була вузькоколійна мотриса, оснащена двоциліндровим газовим двигуном потужністю 10 к.с. Незважаючи на всі очевидні переваги тепловозів перед паровозами, перший експериментальний тепловоз для роботи на магістральних лініях був розроблений тільки в 1909 році. Проект був виконаний Адольфом Клозе під керівництвом Рудольфа Дизеля. До вересня 1912 року 100-тонний локомотив «Термо» був побудований на заводі Борзиг концерну Зульцер. На цьому тепловозі були встановлені два дизеля – основний потужністю 750 к.с. і допоміжний – потужністю 250 к.с. Останній використовувався для подачі стисненого повітря в циліндри в момент зрушення з місця, при маневрах і для турбонаддува в режимі підвищеної потужності. Однак через виникнення проблем з механічною передачею, смерть Р. Дизеля, а також початок в 1914 році. Першої світової війни роботи над тепловозом були припинені.

Перші серійні тепловози були створені в США. Їхній появі дуже сприяв закон штату Нью-Йорк, що забороняв з 1908 року використання паровозів на території острова Манхеттен, а потім з 1931 року і на території всього міста і його передмість.

Тому фірма General Electric в 1907 – 1909 роках організувала виробництво бензинових мотовозів невеликої потужності. У 1917 році вона згортає їх виробництво і переходить на більш дешеве дизельне паливо. Спеціально для тепловозів у компанії був розроблений і побудований свій дизель.

Перші вантажні магістральні тепловози були побудовані в Радянському Союзі в 1924 році, за зразком одного з них випускалися дослідні локомотиви малими серіями, а переведення радянських залізниць на тягу тепловоза відбулося тільки на початку 1960-х років. Перший пасажирський магістральний тепловоз з’явився лише в 1928 р. в результаті співпраці декількох американських і канадських локомотивобудівних компаній.

Після Другої світової війни більш ефективна економічно дизельна тяга починає витісняти паровозну. Лідером тепловозобудування в Америці стає компанія General Motors. Вона і компанія

General Electric залишаються флагманами американського тепловозобудування в новому XXI столітті.

Рис. 11.13. Сучасний тепловоз фірми General Electric, США

Лідером виробництва тепловозів в Радянському Союзі став Харківський завод транспортного машинобудування (ХЗТМ № 75, колишній ХПЗ). На початку 1950-х років на ньому був створений магістральний тепловоз ТЕ3 з конструктивною швидкістю 100 км/год. Він був оснащений двотактним двохвальним дизелем 2Д100 зі зустрічно рухливими поршнями, потужністю 4 000 к.с. ТЕ3 перевершував за силою тяги найпотужніші паровози того часу і розвивав з поїздами істотно більші швидкості. Саме ТЕ3 забезпечив переведення радянського залізничного транспорту на тягу тепловоза і залишався основним тепловозом на магістралях до середини 70-х років XX століття, а на малодіяльних лініях широко використовувався до кінця 80-х років. За кресленнями ХЗТМ виробництво тепловозів серії ТЕ3 було організовано на Коломенському і Ворошиловградському (Луганському) заводах. Всього було випущено 13 594 секцій цього локомотива. У 1956 році на ХЗТМ на базі ТЕ3 був розроблений пасажирський тепловоз ТЕ7, призначений для водіння кур’єрських поїздів зі швидкістю 140 км/год на лінії Москва – Ленінград.

У 1957 році ХЗТМ виступив з ініціативою створення сімейства магістральних тепловозів різного призначення з потужністю 2000 – 6000 к.с. Передбачалося, що це сімейство матиме уніфіковані основні елементи – кузов, екіпажну частини, силові й електричні агрегати і т. п. Для реалізації цього проекту потужність двигуна підвищили до 3 000 к.с. У 1959 році були створені перші дослідні десятициліндровий дизель 10Д100 і секція тепловоза ТЕ10. Всього випущено 17 000 секцій тепловозів серії ТЕ10 всіх модифікацій і випуск триває досі.

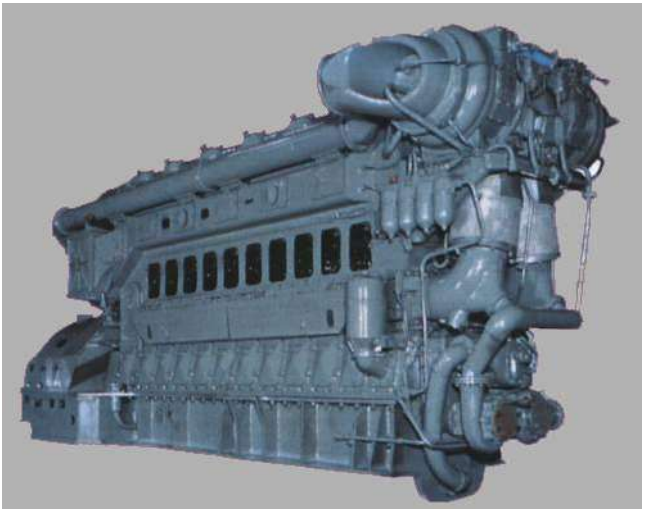

Рис. 11.14. Тепловозний дизель 10Д100

У 1956 році виробництво тепловозів почав Луганський завод. Він став найбільшим світовим виробником тепловозів. Всього підприємством вироблено понад 44 000 тепловозів, в тому числі понад 4000 локомотивів поставлено в 11 країн Європи, Азії, Африки і Латинської Америки. У 1977 році на ЛТЗ був розроблений і виготовлений дослідний зразок тепловоза 2ТЕ121, що поклав початок створенню нового потужного ряду локомотивів з секційною потужністю від 4000 до 6000 к.с. з принципово новими конструктивними рішеннями щодо екіпажної частини і тягової передачі.

Рис. 11.15. Вантажний тепловоз 2ТЕ10М. Службова маса однієї секції – 138 т, потужність дизеля 3000 к.с. Конструкційна швидкість – 100 км/год. Випускався з 1965 по 2001 роки

Рис. 11.16. Газотурбовоз ГТ101-001 на території Луганського заводу

На Луганському тепловозобудівному заводі також займалися розробкою локомотивів з газотурбінним двигуном. Дослідна секція газотурбовоза ГТ101 була в 1960 році. Але через низку технічних недоліків, а також з-за згортання в країні робіт з газотурбовозам, ГТ101 в експлуатацію не надійшов.

Однак в останні роки інтерес до використання газотурбінних двигунів на залізничному транспорті знову зріс, оскільки їх теплова економічність значно підвищилася і вже наближається до поршневих двигунів.

У жовтні 2009 року ВАТ «РЖД» отримало диплом Книги рекордів Гіннесса за створення найпотужнішого в світі магістрального газотурбовоза, що працює на зрідженому природному газі. А 7 вересня 2011 року в рамках III Міжнародного салону «ЕКСПО 1520» локомотив ГТ1-001 поставив новий світовий рекорд, провівши вантажний потяг зі 170 вагонів загальною масою 16 тис. тонн.

Рис. 11.17. Російський газотурбовоз ГТ1h-002. Потужність локомотива 8300 кВт (11 285 к.с.), сила тяги в тривалому режимі 80 т, а в момент зрушення – 90 т, загальна маса 368 т, максимальне навантаження на вісь 23 тс., Конструкційна швидкість 100 км/год. Маса тягової і бустерної секцій з ємністю для зберігання зрідженого природного газу по 184 тонни, однієї заправки зрідженого природного газу вистачає на 750 км.

В СРСР вантажні електровози вироблялись на Новочеркаському і Тбіліському електровозобудівних заводах. Там були створені найпотужніші в світі вантажні електровози. У наш час для транспортування надважких вантажних складів або для роботи на ділянках шляху зі значним ухилом випускаються складові електровози з трьома або чотирма секціями. Електровози 3ЕС5К і 4ЕС5К мають в складі дві головних і одну або дві проміжні бустерних секції.

Пасажирські електровози в повоєнний час в СРСР не будувалися, їх отримували з Чехословаччини.

Рис. 11.18. Вантажний електровоз постійного струму 4ЕС5К. За рахунок збільшення числа секцій до чотирьох електровоз отримав потужність годинного режиму 13 120 кВт (при тривалій потужності 12 240 кВт), отримавши статус найбільшого і найпотужнішого електровоза в світі.

11.5. Автомобілебудування – одна з основних галузей промисловості в XX столітті

Найважливішою галуззю промисловості в XX столітті стає автомобілебудування. Прообразом сучасного автомобіля стала двомісна спортивна машина, виготовлена в 1900 році за проектом інженера Вільгельма Майбаха. На честь одинадцятирічної доньки одного зі співвласників компанії, австрійського підприємця Еміля

Еллінека автомобіль був названий «Мерседес». Він мав класичне розташування агрегатів і послужив основою для цілої серії моделей, що випускалися під маркою «Мерседес».

Однак автомобілі з ДВЗ не відразу завоювали першість. Більш широке розповсюдження в кінці XIX століття отримали парові й електричні автомобілі. Так у США в 1900 році приблизно половина автомобілів була на паровому ходу. Справа в тому, що парові і електромобілі перевершували своїх бензинових побратимів за основними характеристиками. І тільки в 1910-х роках бензинові автомобілі стали витісняти паровики й електромобілі, які, незважаючи на ряд переваг, зійшли зі сцени до 1930-х років.

Рис. 11.19. Перший «Мерседес»

Справжню революцію в автомобілебудуванні зробив американський конструктор і промисловець **Генрі Форд** (1863 – 1947). Він уперше почав виробляти автомобілі на конвеєрі. Заради масового виробництва була створена максимально спрощена конструкція – **Форд «Т»**. При цьому машина за технічними характеристиками, комфорту й обладнання не поступалася більшості автомобілів свого часу, а за габаритними розмірами і об’ємом двигуна (2,9 л) відповідала моделям середнього класу. Завдяки конвеєрній збірці і спрощення конструкції, зробленому, однак не на шкоду якості, собівартість автомобіля була набагато нижчою за інших виробників. При середній вартості автомобіля близько 1500 доларів, початкова ціна на моделі «Т» була не більше 850 доларів, тобто на третину менше, ніж у найдешевшого автомобіля інших фірм. При цьому Форд постійно знижував ціну, і в 1917 році вона впала до 350 доларів.

Рис. 11.20. Форд «Т» і пікап на його базі, 1908 рік.

В результаті виробництво автомобілів на заводі Форда зросла з 18 тис. у 1909 – 1910 роках до 1 250 тис. у 1920 – 1921 роках. Згодом удосконалювався кузов автомобіля, на шасі Форд «Т» випускалися пікапи, автобуси, вантажівки і різні спеціальні автомобілі. При цьму незмінною залишалася його основа – двигун, трансмісія і ходова частина. Всього з 1908 до 1927 року було випущено більше 15 мільйонів автомобілів моделі Т. Ця модель випускалася в багатьох країнах світу. Зокрема, філії «Ford Motor company» були в Німеччині, Великобританії, Франції, Австралії. У 1920-ті роки автомобілів марки Форд «Т» в світі було більше, ніж всіх інших разом узятих. Генрі Форд не просто зробив автомобіль доступним для американця середнього класу, він перетворив США в автомобільну країну. Переважна більшість американців вже в 1930-і роки не уявляли собі життя без автомобіля. Розвиток автомобільної індустрії перетворив Америку і вплинув на загальний розвиток промисловості. До середини 1920-х років модель «Т» застаріла, і Генрі Форд в 1926 році почав створення нових моделей А і АА.

До революції в Росії автомобілі не вироблялися. Винятком є «Руссо-Балт» Російсько-Балтійського заводу, що розташовувався в Ризі. Перший радянський автомобіль АМО-Ф-15 був вироблений заводом АМО (Автомобільне московське товариство) в 1924 році. З цього моменту починається розвиток радянського автомобілебудування. У 1931 – 1933 роки завод був реконструйований і отримав ім’я Сталіна (ЗІС, після розвінчання культу особи Сталіна – завод імені Ліхачова, ЗІЛ). ЗІС став великим виробником автомобілів, основною його продукцією були тритонні вантажівки ЗІС-5.

Рис. 11.21. Тритонна вантажівка ЗІС-5, що випускалася з 1933 до 1948 року в Москві і в 1944 – 1955 роки на Уралі. З 1956 до 1958 року Уральський автозавод випускав трохи доопрацьовану версію УралЗІС-355, а з 1958 до 1965 року – глибоко модернізовану вантажівку УралЗІС-355М.

Тоді ж, в 1930 – 1932 роки за ліцензією фірми Ford Motor в Нижньому Новгороді (пізніше місто Горький) був побудований ще більший автозавод (ГАЗ), що випускав легкові і вантажні автомобілі типу Форд А і Форд АА. Після внесення в конструкцію деяких змін ці машини отримали найменування ГАЗ-А і ГАЗ-АА. Був налагоджений також випуск тривісних машин підвищеної прохідності з колісною формулою 6 × 4 – ГАЗ-ААА. На їх базі випускалися бронеавтомобілі. У 1938 році вантажівка ГАЗ-АА була модернізована і отримала 50-сильний мотор і марку ГАЗ-ММ, але зовні автомобілі не відрізнялися. Той же двигун встановлювався на легковий автомобіль ГАЗ-М1. ГАЗ-АА і ГАЗ-ММ стали наймасовішими радянськими автомобілями. На їх базі випускалися різні спеціальні автомобілі, в тому числі автобуси і самоскиди.

Поряд з московським і горьківським гігантами були побудовані менші підприємства. Серед них автобусний завод в Павлово-на-Оці Горьківської області (марка ПАЗ). Автоскладальний завод в Москві, який в 1945 році був перейменований на Московський завод малолітражних автомобілів (МЗМА), а в 1968 році на Автозавод імені Ленінського комсомолу (АЗЛК) і випускав автомобілі «Москвич». Випуском важких вантажівок займався Ярославський

автозавод. Ці підприємства забезпечили до 1938 року вихід СРСР на п'яте місце в світі з випуску автомобілів і друге місце в світі (після США) з випуску вантажівок. До початку Великої Вітчизняної війни промисловість СРСР виробила понад 1 млн. автомобілів.

У післявоєнний період радянський автопром займає лідируючі позиції в Європі. В СРСР розробляються новаторські автомобілі, в тому числі на Горьківському автозаводі «Перемога» М-20, що був нововведенням у дизайні – першим у світі серійним автомобілем без виступаючих крил, седан представницького класу ЗІМ ГАЗ-12 – перший в світі автомобіль з трьома рядами сидінь в несучому кузові. На Всесвітній виставці в Брюсселі в 1958 році автомобілям ГАЗ-21 «Волга», ГАЗ-13 «Чайка» і вантажівці ГАЗ-52 була присуджена вища нагорода – Гран-прі.

Рис. 11.22. ГАЗ-51

Рис. 11.23. «Побєда» М-20

У роки війни на базі евакуйованого обладнання автозаводу ЗІС були створені нові автомобілебудівні підприємства в Ульянівську (УАЗ) та на Уралі в Міассі (автомобілі «Урал»). У підмосковне місто Лікіно з заводу імені Ліхачова було передано виробництво автобусів (марка ЛіАЗ). У столиці Абхазії Кутаїсі був освоєний випуск сідельних тягачів ЗІЛ, а потім випущена своя модель «Колхіда», краще пристосована для далеких рейсів. З'явилася автомобільна промисловість в Білорусії, де на Мінському заводі випускалися великовантажні автомобілі МАЗ і в місті Жодіно величезні кар'єрні самоскиди БелАЗ.

Рис. 11.24. Найбільший в світі кар'єрний самоскид БелАЗ-75710 вантажопідйомністю 450 т. Обсяг кузова 269,5 м3. Оснащений двома двигунами MTU 16V 4000 потужність 2300 к.с. кожен і електромеханічною трансмісією змінного струму. Маса самоскида без вантажу 360 т, максимальна швидкість – 64 км/год.

Слід також зазначити, що на базі всіх основних моделей вантажівок створювалися армійські дво- і тривісні повнопривідні автомобілі. На Мінському автозаводі було створено повнопривідний чотиривісний тягач, виробництво якого було потім розгорнуто на Курганському заводі колісних тягачів.

До початку 1970-х років пріоритет віддавався вантажним автомобілям. Легкові випускалися в Горькому – це автомобілі високого класу ЗІМ і «Чайка» і середнього – «Побєда» і «Волга». Крім того на Горьківському заводі був освоєний випуск джипів ГАЗ-64, ГАЗ-67 і ГАЗ-69. Пізніше їх виробництво було передано до Ульянівська, де був створений новий джип УАЗ-469.

Становище з легковими автомобілями почало змінюватися в 1970-і роки. У Тольятті (Куйбишевська, а нині Самарська область РФ) був побудований Волзький автомобільний завод (ВАЗ). Завод почав випуск модернізованого Фіат-124 – кращого автомобіля 1966 року (ВАЗ-2101). А модель ВАЗ-2121 «Нива» стала першим масовим комфортабельним безрамним повнопривідним позашляховиком в Європі. Обсяг випуску на ВАЗі перевищив 900 тис. автомобілів на рік. А за весь час ВАЗ випустив 28 млн. автомобілів марки «Жигулі»,

«Нива», «Лада», «Супутник» та ін. Близько 57% російських автомобілів – це автомобілі марки ВАЗ. Понад 7 млн. машин продано на експорт.

Рис. 11.25. «Жигулі» ВАЗ-2101

Рис. 11.26. ВАЗ-2121 «Нива»

Іншим новим, але меншим виробником легкових автомобілів став Іжевський завод, що випускав в основному модель Іж-2125 «комбі», створеним на базі «Москвича-412» з новим типом кузова хетчбек.

У 1959 році в Ризі було розпочато виробництво перших вітчизняних мікроавтобусів РАФ (Ризька автобусна фабрика), створених на основі агрегатів «Волги». У 1976 році в місті Єлгава під Ригою був введений в дію новий завод, на якому було розпочато виробництво 11-місцевих мікроавтобусів РАФ 2203 «Латвія». Повнопривідний мікроавтобус УАЗ-452В випускався на Ульянівському автозаводі.

У 1976 році в місті Набережні Челни став до ладу найбільший в Європі завод вантажних автомобілів КамАЗ. Річна потужність підприємства була розрахована на випуск 150 тисяч вантажівок і 250 тисяч дизельних моторів. З його введенням частка дизельних автомобілів в вантажному парку СРСР зросла з 7 – 8% до 25%.

Автомобільна промисловість України зародилася в 1958 році, коли в Кременчук було передано виробництво важких вантажівок ЯАЗ-214 і ЯАЗ-219 з Ярославського автомобільного заводу, який став випускати тільки автомобільні мотори. До початку 1978 року завод випускав шість моделей вантажівок в 28 модифікаціях. КрАЗи використовувалися не тільки на всій території СРСР, а й експортувалися в 57 країн світу. У 1986 році завод досяг максимуму

– 30 655 автомобілів. Всього Кременчуцький автозавод випустив близько 820 тис. автомашин.

В кінці 1950-х років почав діяльність Запорізький автомобільний завод (ЗАЗ). Модель ЗАЗ-965 стала не тільки першою в СРСР мікролітражкою, а й першим в Україні легковим автомобілем. Його відрізняла не тільки дешевизна, але і добра прохідність, а також непоганий дизайн.

Найбільшим виробником автобусів в Радянському Союзі і у світі був Львівський автобусний завод. У 2008 році він занесений до Книги рекордів Гіннеса як підприємство, що випустило найбільше автобусів у світі. Зі здобуттям Україною незалежності і кризою в промисловості виробництво автобусів стрімко знизилося. Незважаючи на те, що завод підготував до випуску цілий ряд сучасних автобусів і тролейбусів, вироблялися вони в дуже невеликій кількості, а в жовтні 2014 року ЛАЗ зупинив виробництво.

Рис. 11.27. ЗАЗ-965

Рис. 11.28. ЛАЗ-965Е

До середини 1980-х років Радянський Союз вийшов на п’яте місце у світі з виробництва автомобілів, займаючи при цьому третє місце за виробництвом вантажівок і перше місце з виробництва автобусів. Однак автомобільна промисловість втратила свій пріоритет, і якість радянських автомобілів почала поступатися закордонним аналогам. Негативну роль у цьому грали й ізоляція радянського ринку автомобілів, їх дефіцит, особливо легкових моделей. Проте радянські автомобілі поставлялися на експорт, особливою популярністю користувалися армійські вантажівки і легкові машини Волзького автозаводу.

ГЛАВА 12

Науково-технічна революція та її наслідки для людства

12.1. Створення ЕОМ і науково-технічна революція

Відкриття в галузі фізики надзвичайно розширили можливості людини, змінили її погляди на навколишній світ. Відкриття структури атома, квантової фізики дозволили перейти до глибшого пізнання в області елементарних частинок. Удосконалення ДВЗ і парових турбін, автомобілів і літаків і т.д. потребувало залучення наукових знань. У 1940-і роки, в першу чергу для військових цілей, з'являються зовсім нові галузі промисловості: атомна, ракетобудування, реактивна авіація. Все це вже вимагає проведення якісно нових видів розрахунків. Удосконалені технологічні процеси також вже не можуть управлятися людиною. Одним словом, людство знову зайшло в своєму розвитку в глухий кут – цього разу інформаційний.

Однак з розвитком електротехніки з'явилася можливість реалізувати ідеї Ч. Беббіджа і створити механічну лічильну машину. Такі програмовані машини були створені в Німеччині **Конрадом Цузе** і в США **Говардом Ейкеном**. Однак механічний процесор вимагав на виконання однієї операції близько двох – трьох секунд часу, що не могло забезпечити необхідної швидкості обчислень.

Виходом із цієї ситуації стало створення цифрових електронних обчислювальних машин (ЕОМ). В їх основі був процесор на електронно-вакуумних лампах.

Застосування ЕОМ дозволило проводити більш точні розрахунки при проектуванні і доведенні багатьох видів техніки. Потім вони стали застосовуватися для реалізації нових високоефективних технологічних процесів, створення поточно-автоматизованих ліній виробництва, а також промислових роботів. Крім автоматизації виробництва, обчислювальна техніка дозволяє здійснювати контроль і управління ним, а також створювати нові конструкційні матеріали. Без ЕОМ розвиток реактивної авіації, міжконтинентальних балістичних ракет і космічних літальних апаратів був неможливим. Людство почало освоєння навколоземного космічного простору. Таким чином, в 1960-і років з впровадженням ЕОМ почалася науково-технічна революція (НТР). Вона пов'язана з багатьма досягненнями науки, але в першу чергу саме з інформаційною (кібернетичною) революцією, що відбулася на основі широкого впровадження електронної обчислювальної техніки. Ця революція характеризується:

1. збільшенням обсягу інформації та ускладнення різних систем аналізу цієї інформації;
2. безперервним розвитком систем управління;
3. використанням різних штучних матеріалів;
4. використанням вдосконалених технологій, які близькі за своїм функціоналом до штучного інтелекту;
5. оптимізацією ресурсів праці в будь-якій області.

Все це призвело до корінної перебудови технічних основ матеріального виробництва. Наука перетворюється в провідний чинник виробництва, стає безпосередньою продуктивною силою суспільства. Відбувається докорінне перетворення продуктивних сил, якісний стрибок у структурі і динаміці їх розвитку, в результаті чого індустріальне суспільство трансформується в постіндустріальне. У наш час створення нової техніки неможливо без найпередовіших досягнень науки.

На першому етапі головними напрямками розвитку науково-технічної думки стали комплексна автоматизація виробництва, контролю та управління, створення мікропроцесорної техніки, відкриття і використання нових джерел енергії, освоєння космосу,

розвиток засобів зв'язку, в тому числі і телебачення, розвиток хімії, біотехнології, генетики.

Рис. 12.1. Універсальний промисловий робот FANUC M-10Ia

Завдяки ЕОМ автоматичний контроль і автоматичне регулювання стали переважаючою тенденцією промислового розвитку. З'явилася можливість автоматизувати виконання довгих ланцюгів складних операцій. Роль людини при цьому зводиться до створення машин і підтримання їх в працездатному стані. Так народилася робототехніка – прикладна наука про машини, які замінюють людину і автоматично виконують завдання. Промислові роботи є високотехнічними пристроями, здатними взаємодіяти з іншим обладнанням, що розширює їх технічні можливості і робить універсальними. Найпоширенішими роботами є механічні руки – маніпулятори, що виконують різні операції, в тому числі транспортні, зварювальні, фарбувальні пакувальні і т.д. Роботи-маніпулятори мають масу переваг – вони характеризуються підвищеною точністю виконання технологічних операцій, придатні до безперервної експлуатації, оскільки не втомлюються. Завдяки цьому виключається вплив людського фактору на виробництві. Промислові роботи широко використовуються для виконання операцій, шкідливих для здоров'я людини. Головною відмінністю промислових роботів від автоматизованих ліній є легкий спосіб переналагодження їх для проведення різних операцій.

В середині 70-х років XX століття людство вступає в нову фазу НТР – фазу так званої технотронної революції. Її основними ознаками стали масова комп'ютеризація виробництва, розвиток наукомістких і згортання традиційних галузей виробництва, впровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій, зростання сфери послуг, підвищення якості життя, а також функціональні зміни в самій науці.

У першу чергу це пов’язано з небувалим розвитком електронного машинобудування. Перехід до напівпровідникових елементів, а пізніше до інтегральних схем, справив справжню революцію електронних систем. Це призвело до створення потужних персональних комп’ютерів, мікропроцесорного управління, сучасних телевізорів і ін.

Рис. 12.2. Роботизована лінія для складання кузовів автомобілів

Взаємодія науки, техніки і виробництва проявляється в стрімкому скороченні терміну реалізації наукових відкриттів. Якщо середній період освоєння нововведень в 1885 – 1919 роки склав 37 років, в 1920 – 1944 роки – 24 роки, то в період з 1945 по 1964 рік – 14 років. При цьому для найбільш перспективних відкриттів в області електроніки, атомної енергетики та лазерної техніки час впровадження винаходів в практику склав всього 3 – 4 роки.

Високі темпи науково-технічного прогресу (НТП) існують саме в наукоємних галузях. Наприклад, в ключовій області сучасного НТП – мікроелектроніці – швидкість є настільки значною, що щорічно відбувається подвоєння складності та обсягу випуску інтегральних схем при 30-відсотковому зниженні собівартості і ціни. У цих умовах відставання в галузях, в яких використовуються новітні технології, загрожує повним провалом цієї галузі.

Для прогресу сучасної науки і техніки характерно комплексне поєднання революційних і еволюційних змін. Багато спочатку радикальних напрямків у науці перетворилися на звичайні еволюційні способи вдосконалення виробництва.

Зі свого боку, нові великі наукові відкриття і, винаходи 70 – 80-х років XX століття породили другий, сучасний, етап НТР. Лідируючими напрямками стали електроніка, комплексна автоматизація, нові види енергетики, технологія виготовлення нових матеріалів, біотехнологія. Їх розвиток зумовлює вигляд виробництва в кінці XX – на початку XXI століть.

Прогрес в науці і техніці виявився не тільки стрімким, але найчастіше, просто непередбачуваним. Перехід від традиційної електронної вакуумної техніки до напівпровідникових елементів, а пізніше до інтегральних мікросхем зробив справжню революцію електронних приладів. Це, зі свого боку, зробило революцію в обчислювальній техніці, засобах інформатики, зв'язку, системах управління та ін. Семимильними кроками розвиваються технології вищого рівня – телекомунікація, радіолокація, оптоелектроніка, лазерна техніка, ракетно-космічна техніка та ін.

12.2. Розвиток атомної енергетики

Освоєння атомної енергії починається з відкриття в 1898 році подружжям Кюрі в настурані, мінералі урану, речовини, що виділяє велику кількість радіації. На підставі цього відкриття вони припустили наявність величезного потенціалу небаченої раніше енергії в атомах радіоактивних елементів.

У 1911 році Ернест Резерфорд дослідним шляхом довів існування в атомах позитивно зарядженого ядра і негативно заряджених електронів навколо нього, тобто створив планетарну модель атома.

У 1932 році німецький фізик **В. Гейзенберг** і радянський фізик **Д. Д. Іваненко** запропонували протонно-нейтронну модель атомного ядра. Відповідно до цієї моделі, атомні ядра складаються з елементарних частинок – протонів і нейтронів. В початку 1932 року **Ернест Уолтон** і **Джон Кокрофт** вперше розщепили ядро атома, а в 1934 році **Лео Сілард** запатентував атомну бомбу.

У Радянському Союзі вперше розщепили ядро атома літію в Харкові в Українському фізико-технічному інституті (УФТІ). Це зробили Антон **Карлович Вальтер, Георгій Дмитрович Латишев, Олександр Ілліч Лейпунський** і **Кирило Дмитрович Синельников**. УФТІ був заснований в Харкові в 1928 році

з ініціативи академіка **Абрама Федоровича Йоффе** (1880 – 1960). Основними завданнями, поставленими перед інститутом було проведення досліджень в ядерній фізиці і фізиці твердого тіла.

У 1937 – 1938 роки під час сталінських репресій радянській фізиці було завдано непоправної шкоди. У Харкові була сфабрикована «справа УФТІ», за якою було заарештовано 11 співробітників інституту, з них п'ятеро були розстріляні: Л. В. Шубніков, Л. В. Розенкевіч, В. С. Горський, В. П. Фомін та К. Б. Вайсельберг. Двоє іноземних підданих – членів німецької компартії Ф. Хоутерманс і А. Вайсберг були видані гестапо. Пізніше Ф. Хоутерманс був залучений до розробки атомної зброї у фашистській Німеччині. Найбільший вітчизняний фізик-теоретик, майбутній нобелівський лауреат Лев Давидович Ландау у цій справі був заарештований у Москві. Після річного перебування в катівнях НКВС, він був звільнений за клопотанням П. Л. Капіци. Серед загиблих був **Лев Васильович Шубніков** – вчений, фізик-експериментатор світового рівня.

Репресії в УФТІ дуже сильно загальмували реалізацію радянської ядерної програми, але, тим не менш, в 1940 році співробітники інституту **Ф. Ф. Ланге, В. А. Шпінель** і **В. С. Маслов** подали заявки на винахід атомної бомби, а також методів напрацювання урану-235: «Про використання урану як вибухової й отруйної речовини», «Спосіб приготування уранової суміші, збагаченої ураном з масовим числом 235. Багатомірна центрифуга» і «Термоциркуляційна центрифуга». Вперше була запропонована стала згодом загальноприйнятої схема вибуху з використанням звичайної вибухівки для створення критичної маси з подальшим ініціюванням ланцюгової реакції. Також в промисловості почав застосовуватися відцентровий спосіб поділу ізотопів урану. Для забезпечення УФТІ фахівцями з ініціативи Іоффе в Харківському механіко-машинобудівному інституті був відкритий перший в Україні фізико-механічний факультет (нині Навчально-науковий інженерно-фізичний інститут НТУ «ХПІ»). Пізніше на його основі в Харківському державному університеті був створений фізико-технічний факультет.

У серпні 1939 року фізики **Лео Сілард** і **Юджин Вігнер** склали лист президенту США Ф. Д. Рузвельту, який також підписав Альберт Ейнштейн. Лист містив попередження про можливу

розробку Німеччиною надзвичайно потужної бомби нового типу. Тому автори листа пропонували почати роботи в США зі створення атомної бомби. Після ретельного вивчення проблеми 17 вересня 1943 року були розпочаті роботи зі створення атомної бомби – кодова назва програми «***Проєкт Мангеттен***».

Завдяки об'єднанню зусиль вчених з Великобританії, Європи, Канади, США, в єдиний міжнародний колектив, завдання було вирішено в найкоротші терміни. Для її реалізації були задіяні величезні кошти, вже в червні 1944 року до участі в Мангеттенський проект було залучено близько 129 000 службовців, з яких 84 500 займалися будівельними роботами.

До літа 1945 року американці побудували три атомні бомби – дві плутонієві і одну уранову, більш простої конструкції, але менш ефективну. Більш складні плутонієві бомби потребували перевірки, тому 16 липня 1945 року в Аламогордо (штат Нью-Мексико) було проведено перше в світі випробування атомної бомби. Хоча військової необхідності піддавати атомному бомбардуванню міста практично поваленої Японії не було, американські військові наполягли на її застосуванні. Основною метою цієї акції було залякати Радянський Союз. При цьому вони відмовилися від бомбардування чисто військових об'єктів через їх малі розміри. Для оцінки зони ураження в якості потенційних цілей були обрані сім міст з населенням в сотні тисяч чоловік. З цією ж метою бомбардування цих міст звичайними бомбами були припинені.

Вранці 6 серпня 1945 році американський бомбардувальник B-29 (командир екіпажу – полковник Пол Тіббетс) скинув на японське місто Хіросіма уранову бомбу, названу «Малюк», потужністю від 13 до 18 кілотонн у тротиловому еквіваленті. За найскромнішими оцінками під час вибуху і найближчим часом від його наслідків загинуло 140 000 чоловік.

Три дні по тому, 9 серпня 1945 року літак пілота Чарльза Суїні скинув плутонієву бомбу "Товстун" на Нагасакі. Незважаючи на те, що потужність її була більше (15 – 22 кт), жертв в цей раз було менше – 74 000 чоловік. Дані про втрати були опубліковані в лютому 1946 року штабом американської окупаційної армії в Японії і не враховують тисяч померлих після цього терміну від променевої хвороби та інших наслідків ядерних вибухів.

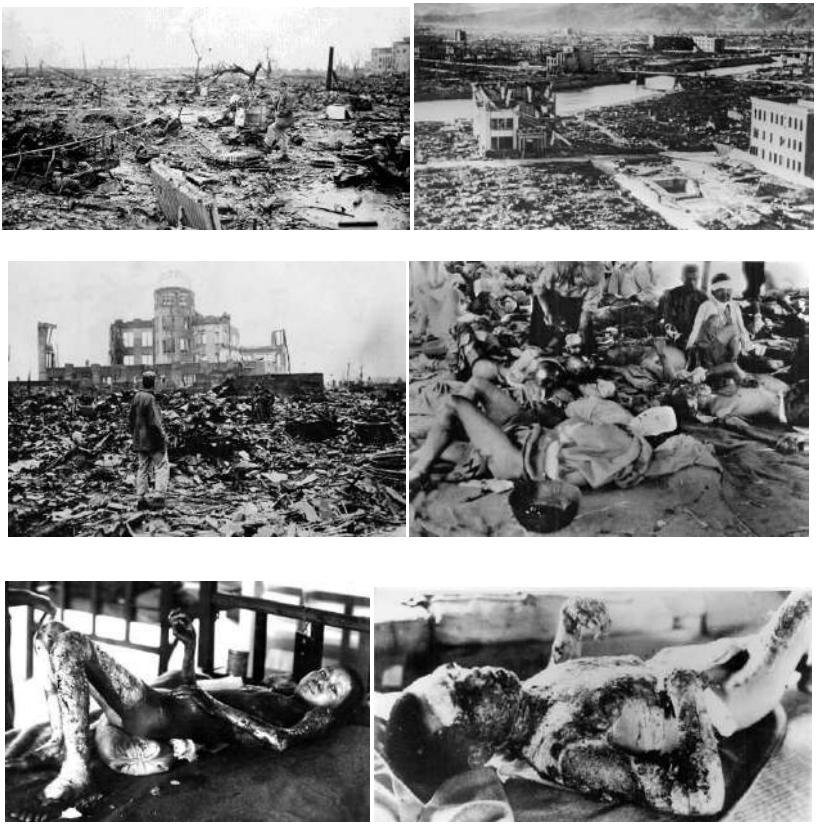

Рис. 12.3. Наслідки американського атомного бомбардування Хіросіми

Виняткова руйнівна здатність ядерної зброї, продемонстрована бомбардуваннями, стала причиною розпочатої гонки ядерних озброєнь, основними учасниками якої стали США і СРСР. Пізніше до неї приєдналися й інші країни.

Хоча лідер СРСР Й. В. Сталін був повідомлений про створення в США зброї величезної руйнівної сили, його вразили результати її застосування. Дослідження з ядерної фізики велися в СРСР ще з 1918 року, проте з початком війни практично всі роботи в цьому напрямку були припинені. У зв’язку з цим Радянський Союз сильно відстав від західних країн в створенні ядерної зброї. Це дозволило військовим фахівцям США виношувати і розробляти плани

розв'язання проти СРСР ядерної війни. В якості першого удару планувалося застосувати 20 ядерних зарядів, а після при необхідності ще 30. Оскільки американська промисловість могла дати тільки одну бомбу в місяць, напад було намічено на початок 1950-х років. Ці плани Пентагону були опубліковані в 1990-і роки.

Таким чином, створення Радянським Союзом ядерної зброї стало необхідною умовою існування держави і збереження миру. Незважаючи на післявоєнну розруху, на рішення цієї проблеми були кинуті всі сили. Вже 20 серпня 1945 року розпочав свою роботу комітет з атомної енергії, який очолив Л. П. Берія. Головним конструктором атомної бомби був призначений **Юлій Борисович Харитон** (1904 – 1996). Наукову частину проекту очолив **Ігор Васильович Курчатов** (1903 – 1960). До роботи над реалізацією ядерно-збройової програми були залучені кращі фізики СРСР. Прискоренню процесу створення атомної бомби сприяло те, що радянська розвідка змогла за допомогою зарубіжних фізиків роздобути найважливішу інформацію. Якщо спочатку час розробки атомної бомби оцінювали в 10 років, створена вона була всього за чотири роки. 29 серпня 1949 року в районі Семипалатинська були проведені її випробування. Цей вибух мав потужність 22 кт, конструкція бомби була аналогічна американському «Товстунові», а електронна начинка була створена радянськими вченими.

Слідом за ядерною зброєю фізики розробляли термоядерну, засновану на реакції атомів дейтерію і тритію (ізотопи водню). Перше повномасштабне випробування відбулося на атолі Еніветок (Маршаллові острова). Однак застосований пристрій мав масу 62 тонни і не годився для бойового застосування.

А перша воднева (термоядерна) бомба була створена і випробувана в 1953 році. Потужність вибуху склала 400 кт при ККД не більше 20%. Керівниками проекту стали академік Харитон і **Андрій Дмитрович Сахаров** (1921 – 1989), згодом тричі Герой Соціалістичної праці, академік АН СРСР і відомий дисидент – лауреат Нобелівської премії миру. Під керівництвом Сахарова були створені термоядерні заряди практично необмеженої потужності. У жовтні 1961 року Радянський Союз провів на Новій Землі випробування термоядерної бомби потужністю 58 мегатонн, доставленої бомбардувальником Ту-95. Ці випробування повністю зруйнували мілітаристські плани США і НАТО і попередили

розв’язання третьої світової війни. Світ опинився під загрозою тотального знищення, що, врешті-решт, призвело до політики обмеження ядерних озброєнь і розрядки.

Однак енергію атомного ядра можна використовувати не тільки у військових цілях. Перша в світі атомна електростанція (АЕС) дослідно-промислового призначення потужністю 5 МВт була пущена в СРСР 27 червня 1954 року в м. Обнінську. Ця подія ознаменувала відкриття нового напряму в енергетиці, що отримав визнання на 1-й Міжнародній науково-технічній конференції з мирного використання атомної енергії (серпень 1955 року, Женева). За кордоном перша АЕС про-промислово призначення потужністю 46 МВт була введена в експлуатацію в 1956 році в Колдер-Холі (Англія). Через рік стала до ладу АЕС потужністю 60 МВт в Шиппінгпорт (США). Потім АЕС почали пускати у Франції (1959 рік), Німеччини (1961), Канаді (1962), Швеції (1964) і Японії (1966).

У 1958 році була введена в експлуатацію 1-а черга Сибірської АЕС потужністю 100 МВт (повна проектна потужність 600 МВт). У тому ж році розгорнулося будівництво Бєлоярської промислової АЕС, а 26 квітня 1964 року генератор першої черги (блок потужністю 100 МВт) видав струм в Свердловську енергосистему, другий блок потужністю 200 МВт зданий в експлуатацію в жовтні 1967 року. Визначна особливість Бєлоярской АЕС – перегрів пари (до отримання потрібних параметрів) безпосередньо в ядерному реакторі, що дозволило застосувати на ній звичайні сучасні турбіни майже без всяких переробок.

У вересні 1964 року вже був пущений перший блок Нововоронезької АЕС потужністю 210 МВт. Собівартість 1 кВт·год електроенергії (найважливіший економічний показник роботи всякої електростанції) на цій АЕС систематично знижувалася: вона складала 1,24 коп. в 1965, 1,22 коп. в 1966, 1,18 коп. в 1967, 0,94 коп. в 1968 роках. Перший блок Нововоронезької АЕС був побудований не тільки для промислового користування, а й як демонстраційний об’єкт для показу можливостей і переваг атомної енергетики, надійності і безпеки роботи АЕС. У листопаді 1965 року в місті Мелекессе Ульянівської області стала до ладу АЕС з водо-водяним реактором «киплячого» типу потужністю 50 МВт, реактор зібраний за одноконтурною схемою, що полегшує компоновку станції. У грудні 1969 року був пущений другий блок Нововоронезької АЕС (350 МВт).

Широке освоєння ядерної енергії стало ключовою проблемою для більшості країн. У 1975 році Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ) прогнозувало, що до 2000 року сумарна потужність АЕС у всьому світі досягне понад 4000 ГВт. Через рік в світі вже будувалося 44 нових реактора – рекордна за всю історію атомної енергетики число. Атомна енергетика розвивалася в більшості промислово розвинених – СРСР, США, Англії, Франції, Канаді, ФРН, Японії, ГДР, а також великі АЕС споруджувалися і в ряді країн, що розвиваються (Індія, Пакистан і ін.). За даними МАГАТЕ потужність всіх АЕС в світі до 1980 року досягла 300 ГВт. АЕС стають одним з основних виробників електроенергії.

Однак в 1979 роцісталася серйозна аварія на АЕС Тримайл-Айленд в США, після чого в Америці поступово припинили будівництво атомних реакторів. До будівництва нових ядерних потужностей США повернулися тільки на початку 2000-х років. Проте, в 1984 і 1985 роках було введено в експлуатацію рекордну кількість реакторів – по 33 одиниці в кожному році. На подальший розвиток ядерної енергетики сильно позначилася масштабна катастрофа на Чорнобильській АЕС. Вона продемонструвала, які небезпеки таїть в собі «мирний атом» і змусила фахівців усього світу переглянути проблему безпеки АЕС. До кінця 80-х років темпи будівництва атомних станцій істотно сповільнилися. Під впливом чорнобильської катастрофи Італія провела референдум, на якому більшість висловилася за закриття АЕС країни. У 1990-х роки в країні повністю припинили експлуатацію АЕС. Проте, в 1996 році частка атомної енергетики у всесвітній генерації електрики досягла свого піку – 17,6%. Великий вплив на розвиток атомної енергетики зробила і катастрофа на японській АЕС «Фукусіма-1» в березні 2011 року. Вона сталася в результаті сильного землетрусу і наступного за ним цунамі.

Ядерна силова установка використовується і в суднобудуванні. Першими атомними стали підводні човни (АПЧ). У 1955 році стала до ладу перша в світі АПЧ «Наутілус», побудована в США. Слідом за ними АПЧ почали будувати в СРСР – першим став К-3 «Ленінський комсомол», прийнята на озброєння в 1958 році. Великобританія і Франція відстали від цих країн. Перший англійський АПЧ стала до ладу в 1963 році, а перша французька почала нести бойову службу в 1969 році. У 1974 році свій перший АПЧ ввів в дію Китай.

Рис. 12.4. К-407 «Новомосковськ» – останній АПЧ, побудований в СРСР

Якщо доцільність установки ядерних енергетичних установок на ПЧ була цілком очевидною, то вигоди подібної енергетики для надводних кораблів представляли не такими однозначними. Проте, в США в 1961 році було введено в дію перший ударний атомний авіаносець «Ентерпрайз» з ядерною силовою установкою (ЯСУ). Він мав найбільшу (342,3 метра) довжину серед бойових кораблів світу. Одного завантаження ядерним пальним вистачало на 13 років служби, за цей час корабель міг пройти до 1 млн миль. Загальний боєзапас озброєнь 2520 т. Через високу вартість споруда будівництво ще п’яти кораблів даного типу було скасовано. «Ентерпрайз» виключений зі складу флоту в 2009 році.

Наступний атомний авіаносець «Честер У. Німіц» був введений в експлуатацію тільки в 1975 році. Цей корабель з максимальною водотоннажністю до 106 тисяч тонн є найбільшим військовим кораблем в світі. Всього було побудовано 10 авіаносців цього типу, останній, «Джордж Буш» увійшов лад в 2009 році. Ударні атомні авіаносці широко застосовувалися в різних військових конфліктах, в тому числі у В’єтнамі, Югославії та Іраку.

Рис. 12.5. Американський ударний атомний авіаносець «Ентерпрайз» в супроводі атомних ракетних крейсерів «Бейнбрідж» і «Лонг Біч»

Крім США, атомний авіаносець «Шарль де Голль» був побудований тільки у Франції. Це перший французький надводний бойовий корабель з ЯСУ і єдиний діючий французький авіаносець. Поряд з авіаносцями в США було побудовано кілька атомних ракетних крейсерів, але до теперішнього часу вони все виведені з ладу. Єдиним знаходяться в строю надводним кораблем з ЯСУ є важкий атомний ракетний крейсер «Петро Великий» – один з найпотужніших ударних кораблів в світі. Він оснащений крилатими ракетами, здатними вражати цілі на відстані до 2500 кілометрів, і має необмежену дальність плавання.

Ядерна силова установка використовується на суднах криголамного типу. Атомні криголами набагато могутніші за дизельні дизельних. Але головною перевагою атомного криголама – відсутність необхідності в регулярній дозаправці паливом, що особливо важливо при плаванні в Арктиці, де дозаправка сильно ускладнена. Перший в світі атомний криголам «Ленін» був побудований в СРСР в 1959 році. У 1989 році він був виведений з експлуатації і поставлений в порту Мурманська як музей. Згодом

в СРСР і Росії було побудовано ще 10 атомних криголамів. Росія є єдиною країною, що володіє флотом атомних криголамів.

Рис. 12.6. Важкий атомний ракетний крейсер «Петро Великий»

Рис. 12.7. Найбільший в світі атомний криголам «50 років Перемоги», Росія, 2007 рік. Водотоннажність 25 840 т, оснащений двома ядерними реакторами, потужність двох головних турбін 75 000 к.с. (55 МВт).

Рис. 12.8. Атомне судно «Саванна», США, 1962 г.

Рис. 12.9. Атомний ліхтеровоз-контейнеровоз «Севморпуть». Побудований на Керченському суднобудівному заводі «Залив» ім. Б. Є. Бутоми в період з 01.06.82 по 31.12.88.

12.3. Створення в СРСР ракетних військ стратегічного призначення. Початок освоєння космічного простору

Друга світова війна, як жодна інша, викликала не тільки зростання виробництва військової техніки, а й її вдосконалення. У ході війни створювалися нові види зброї. До моменту її закінчення в різних країнах – учасницях були створені зразки озброєння, що визначили подальший розвиток військової техніки в напрямку підготовки до ракетно-ядерної війни. Це не тільки атомна бомба, яку застосували проти японських міст Хіросіма і Нагасакі. Так в ході війни в Німеччині та Англії були створені і серійно випускалися реактивні винищувачі. В Японії застосовувалися реактивні літаки-снаряди Ока-1, керовані пілотами-смертниками «камікадзе». У Німеччині випускалися крилаті ракети V-1 («Фау-1») і балістичні ракети V-2. В ході війни 8654 ракети V-1 і 1359 V-2 були використані для обстрілу Лондона та інших англійських міст. Крім того, тисячі ракетних снарядів були випущені по території Франції, Бельгії та Голландії.

У роки війни в Радянському Союзі були створені багато зразків військової техніки, рівних яким не було ні у противників, ні у союзників. Це, в першу чергу, танки і самохідні артилерійські установки, реактивна артилерія, деякі зразки ствольної артилерії і бойових літаків. Однак Радянський Союз, який виніс на собі основний тягар боротьби з фашистською Німеччиною, не міг займатися створенням озброєння на далеку перспективу. Відразу після закінчення війни різко загострилися протиріччя між СРСР і зароджуваним «соціалістичним табором», з одного боку, і розвиненими країнами Заходу, що утворили блок НАТО з іншого. У Пентагоні протягом кінця сорокових і в п’ятдесятих роках XX століття велася розробка планів ядерної війни проти СРСР. У зв’язку з цим після закінчення II Світової війни, в умовах протистояння, світ опинився на порозі нової війни. Для її запобігання і встановлення деякого паритету у військовій області Радянському Союзу було необхідно в найкоротші терміни створити свій ракетно-ядерний щит – ядерну зброю та засоби її доставки – балістичні ракети.

Незважаючи на післявоєнну розруху в СРСР, на створення нових видів озброєння були виділені значні кошти. У 1949 році перша радянська атомна бомба була випробувана на полігоні в районі Семипалатинська. Що стосується засобів доставки, то спочатку це був стратегічний бомбардувальник Ту-4, скопійований з американського В-29. Цей літак зіграв в зміцненні обороноздатності країни значну роль. Перші Ту-4 були створені в 1947 р, а до кінця 1949-го в складі Далекої авіації значилося вже більше 300 машин. Всього ж за час виробництва було випущено близько 1200 далеких бомбардувальників цього типу. Таким чином, США втратили монополію не тільки на володіння зброєю масового знищення, а й на засоби її доставки. Однак літаки з поршневими двигунами мали дальність польоту 5000 км і не могли виконувати всіх стратегічних завдань. У той час, коли з півдня і заходу в безпосередній близькості від кордонів СРСР розташовувалися аеродроми, на яких базувалися стратегічні бомбардувальники США з атомною зброєю на борту, територія самих США перебувала в недосяжності для радянської стратегічної авіації. Для справжнього рівноваги сил керівництво СРСР вважало за необхідне створення і прийняття на озброєння балістичних ракет великої дальності. Роботи по їх створенню в кінці 1940-х років розгорнулися і в СРСР, і в США.

Першим дітищем радянської ракетної промисловості була одноступенева тактична балістична ракета середньої дальності Р-1, створена в ОКБ-1 під керівництвом **Сергія Павловича Корольова** (1906 – 1966). Як і для першої американської балістичної ракети, основою для її створення стала ракета V-2, розроблена німецькими вченими і інженерами під керівництвом **Вернера фон Брауна** (1912 – 1977). Автономно-інерціальна система управління Р-1 була розроблена колективом НДІ-885 під керівництвом **М. С. Рязанського** і **Н. А. Пилюгіна**. В подальшому практично щорічно йшло освоєння виробництва апаратури СУ нових ракет, що створювалися для оборони СРСР.

Р-1 була прийнята на озброєння в листопаді 1950 року а 9 травня 1951 року міністерству озброєння були передані тільки що побудований в Дніпропетровську автомобільний і споруджуваний шинний заводи. На їх базі було створено гігантський ракетний завод, який отримав найменування «Південний машинобудівний завод» (Південмаш або завод № 586). При ньому для експериментального виробництва було створено ОКБ-586 (КБ «Південне» – КБП),

а в Дніпропетровському державному університеті (ДНУ) відкритий фізико-технічний факультет, який став основним постачальником фахівців для Південмашу і ОКБ-586.

Рис. 12.10. Балістичні ракети Р-1 (ліворуч) и V-2

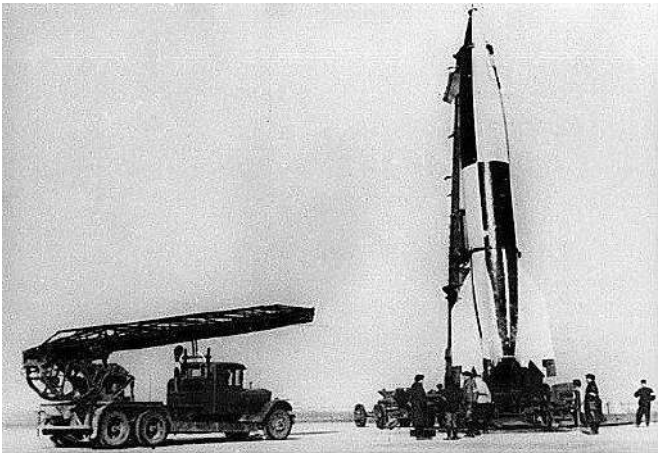

Рис. 12.11. Ракета Р-1 на стартовій позиції, 1948 рік.

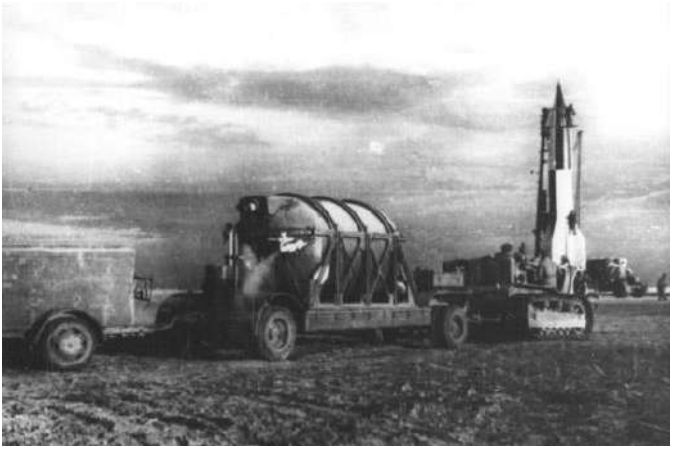

Рис. 12.12. Доставка рідкого кисню на стартову позицію, 1948 рік.

У 1956 році в США з'явилася перша ракета, здатна нести ядерний заряд – «Редстоун». У Радянському Союзі в тому ж році була прийнята на озброєння ракета Р-5М, що також несла атомний заряд, потужність якого в чотири рази перевищувала потужність бомби, скинутої на Хіросіму. Однак США швидше нарощували ракетно-ядерний арсенал. У 1958 році у американців з'явилися дві нові ракетні системи – «Юпітер» і «Тор», які розмістили в Великобританії, Італії та Туреччині. Незабаром в США були прийняті на озброєння і міжконтинентальні балістичні ракети (МБР) – в 1959 році – «Атлас» і в 1960-му «Титан-1» з дальністю стрільби понад 11 000 км.

До кінця 1956 року в ОКБ-1 була завершена розробка та розпочато випробування двоступеневої МБР, якій був привласнений індекс Р-7 (Головне ракетно-артилерійське управління МО СРСР використовувало індекс 8К71) *. Двигуни цієї ракети розроблені колективом конструкторського бюро В. П. Глушко; автономна система управління під керівництвом Н. А. Пилюгіна; розробкою

*У Радянському Союзі була прийнята подвійна нумерація бойових балістичних ракет - в секретної документації використовувалася буква Р і номер ракети, а в більш відкритих, хоча теж секретних, джерелах згадувалося виріб з буквено-цифровим індексом. У США для радянських ракет застосовували позначення, що не мають нічого спільного з нашими – букви SS і номер ракети, а також давали ім'я власне.

системи радіоуправління керував М. С. Рязанський; гіроскопічних приладів СУ **В. І. Кузнєцов**; системи телеметричних вимірювань **А. Ф. Богомолов**. Стартовий комплекс був розроблений під керівництвом Головного конструктора **В. П. Барміна** і побудований на полігоні поблизу станції Тюра-Там (нині космодром «Байконур»). Ракета мала довжину 31,4 м, а її діаметр був 11,2 м. Стартова маса становила 283 т, з яких 250 т це маса компонентів ракетного палива (рідкий кисень, гас, перекис водню, газ), які заправляються, а маса бойової частини доходила до 5400 кг. Максимальна дальність стрільби становила 8 000 км. 20 січня 1960 року Р-7 була прийнята на озброєння.

Задумана як бойова, ракета Р-7 мала надійну і вдалу конструкцію, володіла енергетичними можливостями, що дозволяють вивести в космос (на навколоземну орбіту) корисне навантаження значної маси. Тому після успішних пусків 8К71 як балістичної ракети, вона була використана в 1957 для запуску перших в світі штучних супутників Землі (ШСЗ). Таким чином, Р-7 або, як її називали, «Королівська сімка», стала основою для створення ракет-носіїв (РН), що виводять на орбіту космічні літальні апарати (КЛА). У 1959 – 1963 роках випускалася модифікація Р-7 – ракета 8К72, за допомогою якої здійснено перші польоти до Місяця і перші старти космонавтів в одномісних кораблях «Восток».

Історія освоєння космосу – яскрава сторінка радянської історії. 12 квітня 1961 року відбувся перший в світі пілотований космічний політ. Корабель «Восток-1», пілотований радянським космонавтом **Юрієм Олексійовичем Гагаріним** зробив один виток навколо Землі. У червні 1963 здійснила політ перша в світі жінка-космонавт **В. В. Терешкова**, яка пробула в польоті 71 годину, облетівши земну кулю 48 разів.

12 жовтня 1964 року відбувся перший в світі політ багатомісного корабля «Восход-1» з трьома космонавтами на борту (**В. М. Комаров, К. П. Феоктістов** і **Б. Б. Єгоров**), а 18 березня 1965 року **А. А. Леонов** здійснив перший вихід у відкритий космос. СРСР справив безліч запусків пілотованих космічних кораблів. Для вивчення Місяця і космічного простору в 1959 – 1976 роках здійснено 24 польоти автоматичних міжпланетних станцій. У 1970 році на Місяць був доставлений перший в світі місячний всюдихід –

«Луноход-1». Видатним космічним експериментом стало стикування 17 липня 1975 року радянського і американського космічних кораблів. На орбіті почав працювати перший міжнародний космічний комплекс «Союз–Аполлон» – прообраз майбутніх міжнародних станцій. Вперше в історії пілотованих польотів жінка-космонавт С. Є. Савицька 25 липня 1984 року вийшла у відкритий космос.

Рис. 12.13. Старт ракети Р-7. Фото з музею НВО «Комунар»

Але чудова ракета Р-7 не змогла стати основою створюваного ракетно-ядерного щита, так як ракетний комплекс мав низьку боєготовність. Стартовий комплекс ракети Р-7 був важко маскований, система заправки була надзвичайно складною, громіздкою була і система радіоуправління. Для підготовки ракети до пуску була потрібна майже доба. Таким чином, вона годилася лише для нанесення превентивного удару, в той час як радянська військова доктрина допускала застосування ядерної зброї радянською стороною тільки у відповідь на такий напад.

Вихід був – перехід на висококиплячі компоненти палива, зокрема застосування в якості окислювача не рідкого кисню, а азотної кислоти. Такий окислювач, незважаючи на високу хімічну активність, дозволяє тримати ракету на стартовому майданчику заправленою.

Першою ракетою, що працює на висококиплячих компонентах палива, стала тактична ракета Р-11 (8А61), створена під керівництвом **Михайла Кузьмича Янгеля** (1911 – 1971)*. Р-11 і її модифікація Р-11М встановлювалися на самохідних установках, а також вони стали першими в СРСР корабельними ракетами. За Р-11 пішла ракета середньої дальності Р-12 (8К63, по класифікації НАТО: SS-4 «Sandal»). Ця ракета створювалася вже в ОКБ-586, де пост головного конструктора зайняв М. К. Янгель. Р-12 стала першою в країні стратегічною ракетою середньої дальності, в якій використовувалася повністю автономна інерціальна система управління. Крім того, Р-12 стала наймасовішою стратегічною ракетою, з прийняттям її на озброєння в СРСР були створені ракетні війська стратегічного призначення (РВСП). Саме ці ракети в 1962 році були доставлені на Кубу, чим викликали надзвичайно напружене політичне, дипломатичне і військове протистояння СРСР і США, яке увійшло в історію як «Карибська криза». Ступінь надійності дніпропетровських ракет був таким великим, що військове керівництво вирішилося на безпрецедентну демонстрацію сили – чотири ракети Р-12 були запущені над територією Радянського Союзу і вразили цілі на полігоні на Новій Землі. Дві з них несли звичайний заряд, а дві інших – ядерний.

Р-12 несла службу рекордно тривалий час – 30 років. Останні ракети цього типу були зняті з озброєння в 1989 році, відповідно до

---

* У багатьох джерелах конструктором ракети Р-11 називається С. П. Корольов. Насправді він керував її модернізацією і є автором ракети Р-11М (8К11)

договору між СРСР і США про ліквідацію ракет середньої і малої дальності.

Таким чином, в кінці 1950-х років в СРСР, крім Р-7, яка була не цілком придатною для бойових цілей, на озброєнні перебували ракети Р-5М (8К51) з дальністю стрільби 1 200 км і Р-12 з дальністю 2 000 км, здатні нести ядерний заряд. Незважаючи на лідерство в справі освоєння Космосу, Радянський Союз поступався США в створенні бойових балістичних ракет. У американців було більше і ядерних зарядів, і носіїв. Ситуація погіршувалася ще й тим, що американські ракети мали більшу дальність стрільби, та й точність у них була вищою.

У зв'язку з цим вийшла постанова Ради Міністрів СРСР «Про створення МБР» ракети, яка повинна була скласти основу РВСН. Нову ракету передбачалося оснастити інерційною СУ. За це завдання взялися ОКБ-1 на чолі з С. П. Корольовим і ОКБ-586, яким керував М. К. Янгель.

В ОКБ-586 нові ракети створювали на висококиплячих компонентах палива. У результаті до 1960 року були підготовлені ракета середньої дальності Р-14 (8К65) і Р-16 (8К64) – перша в світі МБР, що використовувала такий вид окислювача як азотна кислота. Р-16 повинна була мати високий ступінь готовності до застосування і, що ще більш важливо, поміхозахищеність і невразливість в процесі бойового чергування. Паралельно ОКБ-1 на чолі з С. П. Корольовим початок створення проекту МБР Р-9, в якій в якості окислювача і раніше передбачалося використовувати рідкий кисень. Ракета у Королева не вийшла, і з тих пір його ОКБ-1 стало займатися тільки космічною тематикою, а головним розробником бойових балістичних ракет стало ОКБ-586 Янгеля.

У 1957 роців дію вступив космодром Байконур, що став незабаром головним. У той час навіть у США не було подібного сучасного і оснащеного полігону. У цій гонці лідирував СРСР: перший супутник, перша собака в космосі, вимпел на Місяці, фотографія зворотної сторони супутника Землі - все це говорило про значну перевагу військової могутності Радянського Союзу. Однак, насправді, всупереч пропаганді ситуація була критична. Ракетно-ядерні сили СРСР не могли дати відсіч потенційному супротивникові, оточила його військовими морськими, сухопутними і авіаційними базами. Всі надії на зміну ситуації були покладені на МБР, розроблені в КБ Янгеля.

Перша МБР Р-16 (8К64) була готова в 1960 році. Однак через поспіх у проведенні випробувань 24 жовтня цього року під час проведення підготовчих робіт був допущений цілий ряд відступів від затвердженої технології, в результаті чого стався передчасний запуск маршового двигуна другого ступеня , який своїм факелом пропалив днище бака окислювача першого ступеня. Після цього зруйнувався бак пального другого ступеня, що і призвело до потужної пожежі і повного руйнування ракети на старті. У вогні катастрофи загинули 74 людини, з яких більшість (57 чоловік) були військовослужбовцями. Серед загиблих голова комісії з випробування Головний Маршал артилерії М. І. Недєлін, заступник начальника полігону полковник А. І. Носов, начальники управлінь полігону підполковники Є. І. Осташев і Р. М. Грігорянц. Також в цій катастрофі загинули головний конструктор системи управління **Б. М. Конопльов**, заступники головного конструктора ракети **В. А. Кінцевий** і **Л. А. Берлін**, заступник головного конструктора двигуна **Г. Ф. Фірсов**. 49 осіб отримали поранення і опіки, з них 18 померли в лікарні. Всього загинули 92 людини.

Проте, роботи були продовжені, і 2 лютого 1961 року відбувся запуск і успішний політ першої в світі МБР з двигунами на висококиплячому доглянутому паливі. Вперше в СРСР ця ракета була оснащена автономною системою управління.

Слідом за прийняттям на озброєння Р-16 Постановою Уряду СРСР від 12 травня 1962 року КБП було доручено створити стратегічну ракету Р-36 (8К67) важкого класу, здатну доставити до мети надпотужний термоядерний заряд на дальність 10 200 км. Ця ракета повинна була долати потужну систему протиракетної оборони (ПРО). 21 липня 1967 року ракетний комплекс Р-36 був прийнятий на озброєння РВСН. Створення Р-36 дозволило в 1972 році зняти з озброєння застарілі комплекси Р-16.

На основі Р-36 була створена ракета 8К67П з головною частиною, що розділяється, а також орбітальна ракета 8К69 з необмеженою дальністю польоту. Надалі Р-36 стала основою для створення найпотужнішої в світі МБР, занесеної в книгу рекордів Гіннеса. Йдеться про ракету, відому нам під американською назвою SS-18 «Satan» (Сатана). Насправді вона мала найменування Р-36 2М УТТХ (Р-36 двічі модернізована з поліпшеними тактико-технічними характеристиками) або виріб 15А18М.

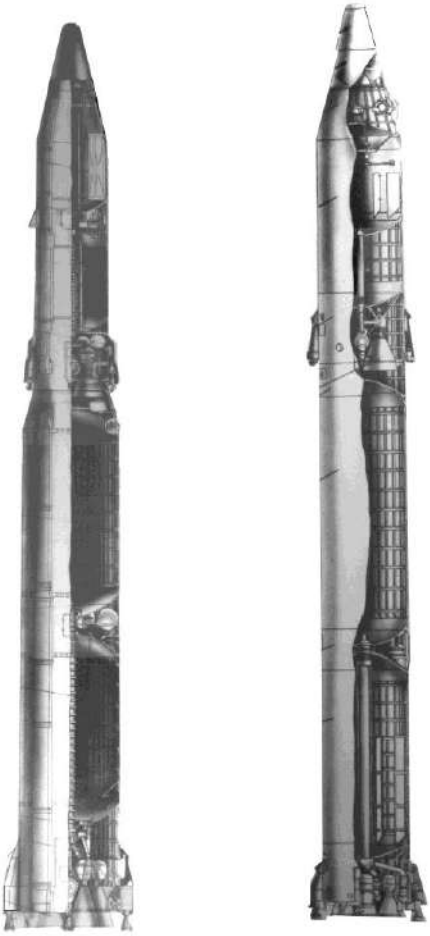

Рис. 12.14. Схеми бойових балістичних ракет Р-16 (ліворуч) і Р-36. Фото з музею НВО «Хартрон»

Таким чином, 50-60-і роки XX століття стали періодом найбільш бурхливого розвитку як космічної, так і бойової ракетної техніки. Радянському Союзу не тільки вдалося домогтися паритету в галузі ракетно-ядерної зброї, але й обійти Сполучені Штати Америки в освоєнні космічного простору. Важливу роль в цій справі

зіграли ракети, що розроблялися і будувалися в Дніпропетровську (нині – місто Дніпро). Однак така найважливіша складова ракетної зброї і космічних літальних апаратів, як системи управління, з 1950-х років почали розроблятися і виготовлятися в Харкові – одному з провідних наукових і промислових центрів СРСР.

12.4. Революція в області біології

До високих технологій належать і біотехнології, які зокрема забезпечують можливість різкого збільшення зеленої біологічної маси і сільськогосподарської продукції. Засновані біотехнології на досягненнях генетики – науки про закономірності спадковості і мінливості. Методи генетики грають важливу роль в медицині, сільському господарстві, мікробіологічної промисловості, а також в генній інженерії.

Революція в області біології пов'язана з відкриттям носія генетичної інформації – макромолекули, подвійної спіралі ДНК (дезоксирибонуклеїнова кислота). Коли швейцарський біолог **Фрідріх Мішер** відкрив в 1869 році ДНК, він не припускав, що це і є носій генетичної інформації, який об'єднує всі живі істоти. Довгий час ДНК вважалася хранителем фосфору в організмі. Навіть на початку XX століття багато біологів вважали, що молекули ДНК занадто одноманітні і не можуть містити закодовану інформацію.

Поступово було доведено, що саме ДНК, а не білки, як вважалося раніше, є носієм генетичної інформації. У 1944 році експерименти **О. Евері, К. Маклауда** і **М. Маккарті** показали, що в результаті додавання до нешкідливої культури мертвих хвороботворних бактерій вона набуває хвороботворних властивостей. За це відповідає виділена з пневмококів ДНК.

Однак аж до 1950-х років точна будова ДНК і спосіб передачі спадкової інформації залишалися невідомими. Структура подвійної спіралі ДНК була запропонована **Френсісом Криком** і **Джеймсом Уотсоном** в 1953 році на підставі рентгеноструктурних даних.

Після успішної розшифровки людського геному, для генетики і багатьох супутніх наук почався золотий вік. Розшифровка геному людини позначила тенденцію до зміщення пріоритетів у розвитку науки і техніки в бік біотехнологій і конструювання організмів із

заданими властивостями – генної інженерії, клонування тварин, органів людини, і, врешті-решт, спробі клонування самої людини.

Практичним застосуванням отриманих даних стали чіткі рекомендації для більшості людей, що стосуються занять професійною діяльністю, вибору місця проживання і способу життя. Отримана в результаті укрупненого аналізу власного геному інформація дозволить конкретній людині жити довше, більш насичено і безпечніше, накладаючи на одні життєві уподобання жорсткі обмеження, і заохочуючи інші, сприятливі і корисні. Словом з'явився новий консультант по здоровому способу життя - власний геном індивідуума.

У Голландії вже побудовані фітотрони – своєрідні оранжереї, в яких підтримується особливий клімат, завдяки якому рослини вирощуються не з насіння, а з клітин, що у багато разів збільшує їх продуктивність. Однак фітотрони вимагають значних енерговитрат, і перед ученими стоїть завдання пошуку нових джерел енергії та мінеральної сировини.

Методи генної інженерії стимулюють розвиток фармакології: створення сучасних лікарських засобів з яскраво вираженим механізмом молекулярного впливу, як на окремі різновиди клітин, так і на весь організм і дають основу для розробки нових медичних препаратів. У 1980-х роках зародилася ***комбінаторна хімія*** – метод пошуку біологічно активних речовин шляхом масового синтезу серій аналогічних з'єднань з різними замінниками та виявлення їх властивостей шляхом масової диспансеризації. Розквіт комбінаторної хімії, яка спричинила за собою фармацевтичний вибух, в сукупності з досягненнями генетики, привів до створення більше сотні нових ліків, що дозволяють нормалізувати роботу дефектних генів і ефективно лікувати багато спадкових захворювань. Паралельно були розроблені нові засоби доставки ліків безпосередньо у клітину до певної ділянки геному, і навіть до конкретного гену. Практичний досвід застосування перших подібних ліків дозволив закласти фундамент нового класу ліків, спрямованих на нормалізацію генів. Ці препарати планується застосовувати в найближчому майбутньому не тільки для виправлення генетичних вроджених дефектів, але і для виправлення

дефектів набутих, для відновлення функцій тканин і органів людського організму. Технології комбінаторної хімії протягом першого десятиліття нового століття привели до оновлення асортименту лікарських препаратів в світі більш ніж на дві третини. Нові лікарські препарати ефективніші, безпечніші і при цьому дешевші за своїх попередників, найчастіше в декілька разів.

12.5. Розвиток комп'ютерних технологій

Подальша еволюція комп'ютера йшла по традиційному за останні півстоліття шляху. Процесори ставали дедалі потужнішими, а мікросхеми – все більш мініатюрними. Споживана потужність комп'ютерів зменшувалася, а їх швидкодія збільшувалася. Тенденції стосувалися як персональних комп'ютерів, так і суперкомп'ютерів. Метою, до якої прагнули розробники комп'ютерів, було досягнення потужності, порівнянної з потужністю людського мозку, і ця мета здавалося, була вже близька. За допомогою фотолітографічних технологій виробництва інтегральних мікросхем, доведених до досконалості, стало можливим виробляти поодинокі суперкомп'ютери, що виконують десять в тринадцятій ступеня операцій в секунду (10 Терафлоп). З огляду на, що людський мозок виконує в секунду десять в шістнадцятій ступеня – десять в сімнадцятій ступеня операцій, здавалося, що бажана мета ось-ось буде досягнута. Однак, з огляду на те, що суперкомп'ютери представляли собою не одиничний процесор, з яким можна порівняти людський мозок, а сотні і тисячі окремих процесорів, що виконують паралельну роботу, то реальне відставання одиничного процесора від потужності людського мозку становило до десяти мільйонів разів.

Розвиток комп'ютерних технологій, а також досягнення в галузі електронної промисловості дозволили відомому більше п'ятдесяти років явищу голографії зробити крок на якісно новий рівень і стати в один ряд з новітніми технологіями, такими як нанотехнології і генна інженерія.

Робототехніка та виробництво роботів протягом першого десятиліття нового століття також зробили суттєвий крок уперед.

Використання роботів, ставши в технологічних процесах, охоплює все більше число виробничих галузей. Це відбувається настільки природно і безконфліктно, що залишається непоміченим широкою громадськістю. З кожним роком сфера застосування роботів розширюється, захоплюючи крім виробництва так само й інші сфери людської діяльності. Особливо добре роботи зарекомендували себе в процесах складання в найрізноманітніших галузях машинобудування. Невтомні працівники та контролери, які практично не здійснюють помилок, працюють ефективніше, ніж люди, й обходяться для роботодавця дешевше, ніж наймані працівники. Більшість застосовуваних виробничих роботів мають жорстке програмне забезпечення, яке регламентує їх діяльність у вузьких межах. Однак в деяких технологічних процесах починають застосовуватися роботи з елементами штучного інтелекту. Відповідне програмне забезпечення дозволяє їм виконувати складні функції в багатофакторному просторі обмежень. Роботи із зародками інтелекту використовуються для контролю над виробництвом, особливо в разі застосування «безлюдних технологій», тобто в тих місцях, де не можна однозначно передбачити всі можливі негативні ситуації. Наприклад, в хімічному виробництві такі роботи, ґрунтуючись на показаннях приладів і загальних знаннях про технологічний процес, можуть передбачити можливість аварії в тому чи іншому місці, вчасно переключитися на резервні потужності і викликати фахівців-ремонтників для усунення несправності.

Поява потужних мікропроцесорів, а також створення якісних виконавчих механізмів дозволили компаніям, що виробляють роботів, зробити прорив до повсякдення людини.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бернал Дж. Наука в истории общества. – М.: Издательство Иностранной литературы, 1956. - 735 с.
2. Бернштейн С. А. Очерки по истории строительной механики / С. А. Бернштейн. – М.: Госстройиздат, 1957. – 236 с.
3. Боголюбов А. Н. Математики. Механики. Биогр. Справочник / А. Н. Боголюбов. – К.: Наукова думка, 1983. – 640 с.
4. Бородин А. И. Выдающиеся математики. / А. И. Бородин, А. С. Бугай. – К.: Рад. шк., 1987. – 656 с.
5. Бугаенко Б. А., Галь А. Ф. История судостроения: Учеб. пособие. Ч. 1. От древнейших времен до конца парусной эпохи. – Николаев: НУК, 2005. – 188 с.
6. Григорьян А. Т. Механика от античности до наших дней / А. Т. Григорьян. – М.: Наука, 1974. – 480 с.
7. Динамика полета и управление: 50 лет в ХПИ / Д. В. Бреславский, В. Б. Успенский, А. А. Ларин и др. – Х.: НТУ «ХПИ», 2014. – 488 с.
8. История механики в России. – К.: Наукова думка, 1987. –392 с.
9. История механики с древнейших времен до конца XVIII века / [под общ. ред. А. Т. Григорьяна и И. Б. Погребысского]. – М.: Наука, 1971. – 398 с.
10. История механики с конца XVIII века до середины XX века / [под общ. ред. А. Т. Григорьяна и И. Б. Погребысского]. – М.: Наука, 1972. – 414 с.
11. Ларин А. А. Очерки истории развития теории механических колебаний – Севастополь: Вебер, 2013. – 403 с.
12. Ларин А. А. Танкостроение в Харькове. / А. А. Ларин // Universitates. Наука и просвещение, 2013, № 1 – 4
13. Механика в СССР за пятьдесят лет. Т. 1. Общая и прикладная механика. – М.: Наука, 1968. – 416 с.
14. Моисеев Н. Д. Очерки развития механики / Н. Д. Моисеев. – М.: Изд-во МГУ, 1961. – 478 с.
15. Моисеев Н. Д. Очерки развития теории устойчивости. / Н. Д. Моисеев. – М.–Л.: Гостехиздат, 1949. – 663 с.
16. Пановко Я. Г. Введение в теорию механических колебаний / Я. Г. Пановко. – М.: Наука, 1980. – 272 с.
17. Радциг А. А. История теплотехники / А. А. Радциг. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1936. – 430 с.

18. Развитие общей механики в России и Украине в 20–80-е годы XX века. – М.: Наука. – К.: Феникс, 1998. – 404 с.

19. Рыбников К. А. Возникновение и развитие математической науки / К. А. Рыбников. – М.: Просвещение, 1987. – 159 с.

20. Слащев В. А. Локомотив: Рождение и эволюция / В. А. Слащев. - Луганск: Ноулидж, 2011. – 236 с.

21. Соловьев Ю. И. История химии: Развитие химии с древнейших времен до конца XIX в. / Ю. И. Соловьев. - М.: Просвещение, 1983. – 368 с.

22. Спасский Б. И. История физики. Ч. I . / Б. И. Спасский. - М.: Высшая школа, 1977. - 320 с.

23. Спасский Б. И. История физики. Ч. II . / Б. И. Спасский. - М.: Высшая школа, 1977. - 309 с.

24. Стретт Дж. В. Теория звука, т. I. / Дж. В. Стретт (Лорд Рэлей). – М.: Гостехиздат, 1955. – 504 с.

25. Тимошенко С. П. История науки о сопротивлении материалов с краткими сведениями из истории теории упругости и теории сооружений / С. П. Тимошенко. – М.: Гостехтеориздат, 1957. – 536 с.

26. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. / С. П. Тимошенко. – М.: Гос. изд-во физ-мат. литературы, 1959. – 439 с.

27. Тимошенко С. П. Прочность и колебания элементов конструкций / С. П. Тимошенко. – М.: Наука, 1975. – 704 с.

28. ХПЗ – Завод имени Малышева. 1895-1995. Краткая история развития / [А. В. Быстриченко, Е. И. Добровольский, А. П. Дроботенко и др.]. – Х. : Прапор, 1995. – 792 с.

29. Шершов А. П. История военного кораблестроения. / А. П. Шершов. - СПб. : Полигон, 1994. – 360 с.

Навчальне видання

Ларін Андрій Олексійович

ІСТОРІЯ НАУКИ І ТЕХНІКИ

Підручник

Роботу до видання рекомендував *Д. В. Бреславський*

За авторською редакцією

Видання українською мовою