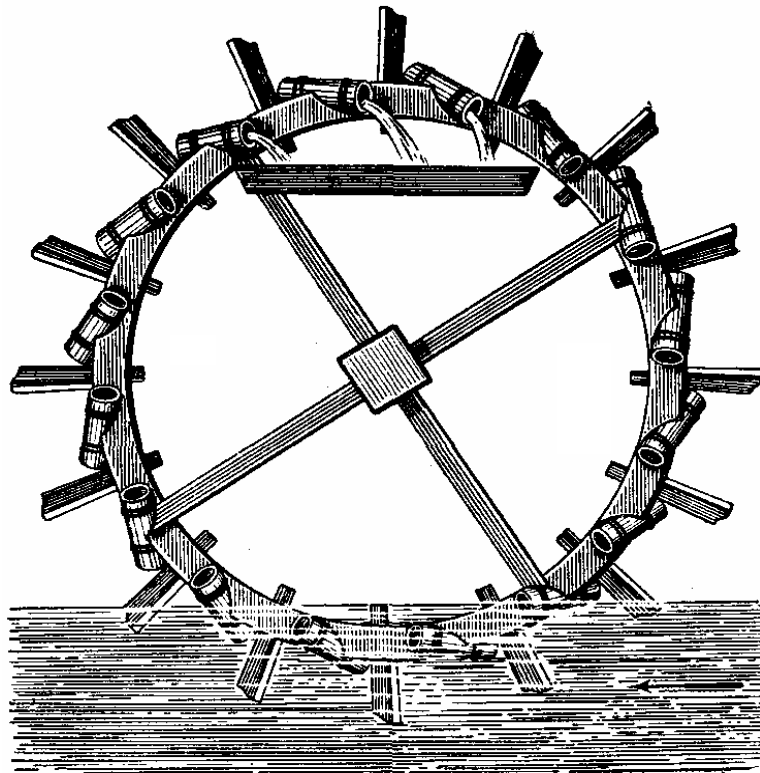


Р.Д. Іскович-Лотоцький, І.В. Севост'янов

ІСТОРІЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Ч. I



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Р.Д.Іскович-Лотоцький, І. В. Севостьянов

ІСТОРІЯ ІЖЕНЕРНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Навчальний посібник Ч І.

Затверджено Вченою радою Вінницького національного технічного університету як навчальний посібник для студентів напряму підготовки 0902 – “Інженерна механіка” та спеціальності інженерії 7.090203 – “Металорізальні верстати та системи”. Протокол №6 від 30 січня 2003 р.

Вінниця ВНТУ 2003

УДК 62 (075)
І 86

Рецензенти:

В.Ф.Анісімов, доктор технічних наук професор
П. С. Берник, доктор технічних наук професор
І. О. Сивак, доктор технічних наук професор

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Іскович-Лотоцький Р.Д., Севостьянов І. В.
І 86 **Історія інженерної діяльності.** Навчальний посібник. Ч.І. - Вінниця: ВДТУ, 2003. – 123 с.

У посібнику розглядаються мета і основні поняття дисципліни «Історія інженерної діяльності», згідно з робочою програмою якої він написаний. Наводяться основні відомості щодо етапів розвитку виробництва, фундаментальної науки, енергетики, створення та удосконалення теплових двигунів (парових машин і турбін, парових генераторів, двигунів внутрішнього згорання, газотурбінних двигунів), електричних машин, електростанцій (теплових, гідравлічних, атомних), електричних мереж та енергосистем.

УДК 62(075)
© Р.Д.Іскович-Лотоцький, І.В.Севостьянов, 2003

Зміст

Вступ.....	4
1. Інженерна діяльність та еволюція людського суспільства.....	9
1.1. Основні поняття та історичні етапи інженерної діяльності	9
1.2. Етапи розвитку фундаментальної науки.....	15
1.2.1. Початкова історія людства.....	15
1.2.2. Антична наука і техніка.....	15
1.2.3. Наука епохи середньовіччя.....	17
1.2.4. Наукова революція XVII в.	18
1.2.5. Фундаментальна наука XIX - XX вв.	20
1.3. Технічні науки і НТР XX в.	26
1.4. Технічна освіта як результат розвитку науки і техніки.....	29
1.5. Основні закономірності розвитку техніки.....	31
2. Розвиток енергетики та енергетичних машин.....	33
2.1. Первинні природні джерела енергії та еволюція їх використання.....	33
2.2. Гідроенергетика.....	38
2.3. Вітроенергетика.....	43
2.4. Геотермальні енергетичні джерела.....	45
2.5. Геліоенергетичні джерела.....	46
2.6. Енергія біомаси.....	49
2.7. Теплові двигуни.....	49
2.7.1. Поршневі парові машини.....	49
2.7.2. Парові турбіни.....	56
2.7.3. Парогенератори.....	59
2.7.4. Двигуни внутрішнього згорання.....	62
2.7.5. Газотурбінні двигуни.....	71
2.7.6. Двигуни зовнішнього згорання.....	76
2.8. Атомна енергетика.....	78
2.9. Електроенергетика.....	85
2.9.1. Виникнення і розвиток електроенергетики.....	85
2.9.1.1. Електродинаміка.....	86
2.9.1.2. Електричні машини.....	88
2.9.1.3. Електростанції та передача електроенергії.....	94
2.9.2. Теплові електричні станції.....	98
2.9.3. Гідравлічні електричні станції.....	100
2.9.4. Атомні електричні станції.....	102
2.9.5. Електричні мережі та енергосистеми.....	103
Література.....	107
Додаток. Основні фізичні ефекти, що використовуються у інженерній діяльності.....	111

Вступ

Навчальний посібник написаний згідно із робочою навчальною програмою дисципліни “Історія інженерної діяльності”, що вивчається студентами спеціальностей 7.090202 – “Технологія машинобудування”, 7.090203 – “Металорізальні верстати та системи”, 7.090258 – “Автомобілі та автомобільне господарство”.

Дисципліна вивчає основні відомості щодо історичного розвитку навичок, вмінь, заходів та знань про використання сировини та енергії природи, створення та удосконалення технічних засобів праці в сфері суспільного виробництва і забезпечення його матеріальних умов, в тісному зв'язку як з прийомами та формами праці, так і з предметами праці, оволодіння основними природничонауковими законами, які послужили основою для вирішення тої чи іншої технічної проблеми, теоретичного та практичного внеску деяких видатних вчених, винахідників та інженерів в історію створення техніки.

Для задоволення духовних, матеріальних і біологічних потреб людське суспільство здійснює сукупність цілеспрямованих дій, в тому числі і інженерну діяльність. Дані дії ґрунтуються на майстерності, умінні та мистецтві і забезпечують отримання та обробку (або переробку) матеріалів, перетворення їх у придатні для використання вироби. З цією метою, окрім матеріалів, застосовуються енергія й інформація, а також сукупність гуманітарних і філософських знань, а також естетичних понять. При взаємодії із середовищем і технікою за допомогою сукупності методів (технологій), в результаті діяльності визначеного виду, формуються технологічні системи, що у поєднанні із технічними науками утворюють техносферу [1-5], яка для людства за значенням рівноцінна біосфері.

Зв'язки між компонентами матеріально-духовної культури (наукою, мистецтвом і т.д.) виникають у результаті реалізації суспільних потреб людства. З іншого боку, продукція, що створена для задоволення потреб безпосередньо впливає на культурні цінності та формування нових потреб.

Основою для здійснення технологічних процесів є техніка, яка створюється і удосконалюється науковцями та інженерами. Розвиток матеріального виробництва і техніки в цілому є головним аспектом буття людства, що охоплює всі його сторони. Це однозначно відображено і у свідомості людей хоча б з тої причини, що в мовах розвинених країн понад 90% словника припадає на науково-технічні терміни. Абсолютна більшість людей на Землі зайнята в сфері матеріального виробництва, історія якого, є безумовно, одною з основних частин історії людства.

Сучасна людина з раннього віку потрапляє у світ, невід'ємною частиною якого є техніка. Її не дивують такі досягнення людського розуму, як електрика, телебачення, запис звуку і зображення, літальні апарати в повітряному просторі з їх величезною масою і швидкістю переміщення, космічні населені станції і багато чого іншого. Усе це сприймається як звичайне,

що завжди існувало, хоча за мірками історії назване з'явилося порівняно недавно.

Розвиток науки і техніки відбувається нерівномірно. Кінець XIX в. і XX в. характеризувалися надзвичайно швидкими темпами розвитку. За останні 50 років з'явилися мікроелектроніка, робототехніка, автоматизоване виробництво і методи його автоматизованого проектування, біотехнології, лазери, атомна енергетика, реактивна авіація і космічна техніка, спеціальне матеріалознавство, комп'ютери, комунікаційні і обчислювальні мережі і т.д. З розвитком техносфери різко зросла роль фундаментальних наук, на основі яких здійснюється подальше удосконалення технічних систем.

У XXI в. результати науково-технічного прогресу будуть ще більш значними. Розвиток техніки приведе до зміни обличчя техносфери, виросте інтелектуальна потужність людства і якість життя.

Інженерна діяльність базується на повсякденному досвіді і на наукових розробках. Саме в результаті даної діяльності забезпечується створення нової техніки і технологій, а отже, і виготовлення продукції. Розвиток технологій, що змінюють спосіб виробництва, веде до економічних і соціальних перетворень, а останні, в свою чергу, створюють передумови подальшого розвитку техніки. Слід зазначити, що людське суспільство часто не в змозі адекватно використовувати досягнення технічного прогресу, оскільки психологічні і культурні процеси йдуть повільніше науково-технічних. Це створює певні соціальні проблеми з їх негативними наслідками.

Ще у XIX - на початку XX вв. філософи Ніцше, Шпенглер, Бердяєв, Ясперс і інші критикували негативні наслідки розвитку техносфери - бездуховність, втрату гуманізму, раціоналізм, стандартизацію особистості, руйнування моральності.

Основоположник кібернетики Н. Вінер у 1949 р. писав, що сучасна техніка має необмежені можливості як для добра, так і для зла. В умовах ринкового виробництва і властивого йому прагнення до максимальних прибутків, що є неминучою і об'єктивною ознакою, зневага наслідками прийнятих технічних рішень інколи приводить до негативних соціальних наслідків. Прискорення розвитку техніки і технологій не тільки служить на користь людині, але таїть у собі небезпеку виснаження невідновлених природних ресурсів, порушення природної рівноваги, породжує соціальні і політичні протиріччя, техногенні катастрофи і хвороби, робить більш руйнівними війни, що може привести людство до глобального неблагополуччя і загибелі.

Критика негативних наслідків розвитку техносфери не означає, що технічний прогрес необхідно зупинити. Такі спроби утопічні. Але знання природних і соціальних наслідків розвитку техніки робить необхідним контроль людства за ходом науково-технічного прогресу - державний, міждержавний, загальнолюдський, гуманітарний, правовий і екологічний кон-

троль. Про його необхідність першим писав у свій час Ж.-Ж. Руссо. Неодмінною умовою для здійснення такого контролю є перебудова соціальної системи людства і міжнародних відносин - досягнення реальної загальної економічної, політичної, інформаційної, культурної демократизації і гуманізації життя людей, подолання убогості і нещастя, забезпечення дійсної рівноправності окремих людей і всіх народів.

У цьому зв'язку, збільшується роль знання закономірностей і тенденцій розвитку продуктивних сил, техніки і технологій. Це знання необхідне широким колам громадськості й, у першу чергу, професіоналам-інженерам для розуміння змісту, перспектив і наслідків розвитку техніки, їх впливу на економіку, екологію і суспільство. Незнання законів розвитку суспільства і природи, науково-технічного розвитку, його причин і джерел є загрозою для людства.

Бурхливий розвиток техніки ставить задачу прогнозування науково-технічного прогресу, його позитивних і негативних наслідків. Якщо мають місце негативні наслідки необхідно шукати заходи для їх усунення або нейтралізації. Основою для прогнозів є результати аналізу наукових теорій і ідей, технічних рішень, патентних розробок, ступеня їх близькості до практичного завершення, взаємозв'язку різних науково-технічних напрямків і їх соціально-економічних наслідків.

Історія показує ненадійність довгострокових прямолінійних прогнозів, що базуються на сьогодишніх даних. Необхідно враховувати, що завжди з'являються нові розробки, які направляють прогрес у несподіване русло. Історія схильна до "нелінійної" еволюції. Проте, прогнозувати розвиток техніки з більшим чи меншим ступенем вірогідності можна.

У 1971 р. академік А.А. Благонравов запропонував проаналізувати історію інженерної діяльності, відомості про відкриття і винаходи і побудувати модель імовірності розвитку науки і техніки, з використанням філософії, соціології, психології та математики. Такий аналіз дозволив би прогнозувати майбутнє, визначати напрямки розвитку науки і техніки. Однак дана робота ще не виконана й узагальнена модель науково-технічного прогресу не побудована.

Стан вивчення історії інженерної діяльності і розвитку техносфери відстає від потреб часу. Цьому є об'єктивні причини: соціальний егоїзм і обмеженість власників і правлячих олігархій, не зацікавлених в інформуванні людей про технічні аспекти існування суспільства; прагматизм та утилітаризм підприємців, менеджерів і політиків, що культивують інтереси сьогодення як пануючу рису суспільної свідомості стосовно техносфери і матеріального виробництва в цілому; технократичний снобізм науково-технічної інтелігенції, яка інколи не достатньо широко оцінює перспективи та наслідки науково-технічного прогресу; антитехнократичний снобізм гуманітарно-художньої інтелігенції, більша частина якої не хоче займатись аналізом історії техніки і пов'язаними з нею проблемами гуманізації тех-

носфери, що також негативно відбивається на гармонізації освіти й інформованості суспільства.

Наслідком цього є недостатня розробка філософських проблем техніки і вивченість властивостей техносфери, недосконалий контроль за її розвитком у державі. Ігнорування особливостями техносфери може мати прогресивно-негативні економічні і соціальні наслідки.

При вивченні властивостей техносфери доцільно розглядати історію інженерної діяльності не тільки як історію створення машин, а і як частину загальної історії суспільства з технічними, культурними, соціальними, філософськими, економічними і політичними аспектами.

Вся історія людства, як не сумно, пов'язана з війнами, прагненням силою одержати матеріальні й економічні переваги за рахунок інших народів і країн. Для реалізації цих намірів агресор повинен був озброюватися, жертва агресії також озброювалася для захисту. Виникло змагання озброєнь нападу і захисту. В результаті цього була створена військова техніка, яка пройшла шлях розвитку від кам'яної сокири, лука і стріла до балістичної ракети і бойового лазера. Людство вклало у військову техніку багато більше коштів, часу і інтелектуальних зусиль, ніж у будь-яку іншу. Потреби війни служили визначеним стимулом розвитку науки. Сучасна військова техніка - результат використання досягнень науки і технічного прогресу проти самого людства. Міць людського розуму привела до створення настільки потужних озброєнь, що відмовлення від війн і роззброювання стають для людства питанням життя і смерті. Результатом глобальної сучасної війни буде не перемога однієї з конфліктуючих сторін, а взаємне знищення обох. Військова техніка є плодом людської думки, її вміння вирішувати найскладніші наукові і технічні проблеми, створювати унікальні машини. Це робить виправданим і необхідним вивчення історії військової техніки і не як знаряддя знищення, а як досягнення розуму, знайомство з яким може багато чому навчити.

Історія інженерної діяльності висвітлює не тільки розвиток техніки, це ще і пам'ять про людей, що створили її. Час не завжди справедливий до творців нового. Життя окремої людини швидкоплинне і пам'ять про зроблене нею згодом притупляється, незважаючи на те, що суспільство продовжує користуватися результатами праці того чи іншого вченого або інженера. В історії науки і техніки були універсали, що зробили свій внесок у розвиток багатьох напрямків знання. Їх час передував часу виникнення інженерних наук. Починаючи з XVIII - XIX вв. науку і техніку створювали фахівці конкретних галузей знання, але значення в історії людства універсалів і "вузьких" фахівців однаково велике.

В посібнику зроблена також спроба розглянути найближчі перспективи розвитку окремих галузей і напрямків техніки.

Зростаючий інтерес до історії інженерної діяльності викликав видання великого числа монографій з історії науки і техніки як загальної, так і по галузях. Пропонований посібник має на меті ознайомлення з феноме-

ном техніки, її розвитком і взаємозв'язком з історичними і соціально-економічними факторами; з прогресом окремих напрямків машинобудування і транспорту, інших галузей, їх сучасним станом і особливостями. Через малий обсяг, посібник не може бути повним і висвітлює лише окремі сторінки історії інженерної діяльності. У нього не увійшли розділи, присвячені історії гірничих, текстильних, сільськогосподарських, побутових та інших машин, розділи з історії металургії, хімії, та інших напрямків.

У додатку наводиться перелік основних фізико-технічних ефектів, що використовуються у сучасних машинах.

Для успішного оволодіння дисципліною “Історія інженерної діяльності” студенти повинні в достатньому об’ємі знати матеріал шкільної програми, а також університетських курсів “Вища математика”, “Фізика”, “Хімія”, “Технологія конструкційних матеріалів”, “Матеріалознавство”, “ТММ”, “ДМ”, “Теорія технічних систем”, “Електроніка та мікропроцесорна техніка”, “Теорія різання”, “Ріжучий інструмент”, “САПР”, “Металорізальні верстати” та ін. Знання з історії інженерної діяльності дозволяють більш ефективно засвоювати спеціальні дисципліни, що вивчаються паралельно і після неї. Курс дає поняття, як той чи інший технічний пристрій розроблювався та удосконалювався, яке місце він займає серед систем аналогічного або іншого призначення. Крім цього, дисципліна дає майбутнім спеціалістам основні фундаментальні знання про найвидатніші технічні досягнення людства, про будову та принцип дії машин, що використовуються в різних галузях техніки.

1. Інженерна діяльність та еволюція людського суспільства

1.1. Основні поняття та історичні етапи інженерної діяльності

Основою матеріального життя людини є виробництво матеріальних благ, яке включає цілеспрямовану працю (починаючи від примітивної в початковий період розвитку до висококваліфікованої в теперішній час), засоби і предмети праці.

Праця людини спрямована на створення цінностей для задоволення власних потреб. При цьому витрачається розумова і фізична енергія, використовуються матеріали, об'єкти і явища природи.

Прагнення до забезпечення ефективності праці проявлялося у використанні знарядь праці. І якщо на початковому етапі застосовувалися природні знаряддя, то наступний важливий етап характеризується “цільовим” виготовленням знарядь праці, що є відмітною рисою людства. Саме в цьому періоді починається інтелектуальна інженерна діяльність людини, в результаті якої техніка пройшла еволюцію від кам'яної сокири і кістяних ножів до складних автоматизованих пристроїв і машин - авіації і металорізальних верстатів, автомобілів і комп'ютерів, ядерних реакторів і космічної техніки.

У поняття “техніка” входять:

- сукупність технічних пристроїв і машин, інструментів, приладів, апаратів (від найпростіших знарядь праці до складних технічних систем);
- сукупність різних видів технічної інженерної діяльності зі створення даних пристроїв, включаючи їх дослідження, проектування, виготовлення й експлуатацію;
- сукупність технічних знань, включаючи науково-технічні і системотехнічні, що розвиваються в системі суспільного виробництва.

Слово “техніка” з грецької перекладається як “мистецтво”, “майстерність”, “вправність”. Таким чином, буквально даний термін служить для позначення скоріше методів і способів праці, технології.

В українській мові техніка і технологія є різними поняттями.

Техніка – це, в першу чергу, машини, пристрої, засоби праці для задоволення виробничих потреб суспільства.

Технологія - це сукупність методів застосування техніки і засобів виробництва продукції того чи іншого виду.

Техніка і технологія в поєднанні з технічним знанням (включаючи науково-технічні і системотехнічні знання), що розвивається в системі суспільної свідомості, формують техносферу цивілізації.

На розвиток техніки впливають досягнення науки, соціально-економічні фактори, пов'язані з її роллю, як матеріальної складової виробничих сил суспільства, що забезпечує взаємодію структури виробництва і систем господарських відносин та керування, з врахуванням кон'юнктури ринку. Остання визначає вимоги новизни продукції, її якості і надійності, враховує потреби виробництва і населення, матеріальні зміни в сфері виробництва і технології, пов'язані зі змінами фізичних принципів дії, вико-

ристанням матеріалів, джерел енергії, ускладненням технічних об'єктів і технологій на базі прогресу науки, вимоги зниження матеріало- і енергоємності виробництва, поліпшення умов праці й екології.

Прискорювачами розвитку техніки є також війни. Згодом військова техніка стає універсальною і служить у мирних цілях. Війна прискорює і розширює використання теоретичних знань свого часу.

Технічний прогрес вимагає створення нових чи модернізації існуючих машин з метою досягнення нових результатів, усунення виявлених експлуатаційних недоліків, а також у випадку перенасичення ринку збуту машинами попереднього покоління чи модифікації – ліквідації даних машин. Удосконалювання техніки при незмінному фізичному принципі можливо шляхом оптимізації параметрів або шляхом переходу до більш раціонального технічного рішення. У випадку ж вичерпання можливостей використаного принципу дії необхідно переходити до іншого, більш досконалого фізичного принципу при кардинально нових технічних рішеннях.

Слід зазначити, що будь-яка нова технічна ідея, як правило, спочатку не має об'єктивних критеріїв правильності і не може бути доведена чи відкинута за допомогою математичної теорії. При цьому математика подібна млину - що в неї засиплеш, те й одержиш. Часто критерієм цінності ідеї є лише дослід. Впровадженню нової техніки заважає також психологічний бар'єр проти нового. Він найчастіше обумовлюється недостатньою очевидністю переваги пропонованої системи у порівнянні із наявною. Здоровий скептицизм повинний бути, але при занадто високому психологічному бар'єрі наступить творчий застій. Бар'єр повинний бути оптимальним і не заважати технічному прогресу.

Наука, техніка і виробництво розвиваються взаємозалежно. Розвиток виробництва вимагає відповідного науково - технічного забезпечення. Розвиток науки найчастіше випереджає розвиток техніки, а удосконалення техніки - розвиток виробництва. Але діють і зворотні залежності. Виробництво і техніка використовують досягнення науки і ставлять перед нею нові задачі, озброюють її засобами, що розширюють межі пізнання.

Наукові досягнення, діяльність вчених і винахідників не завжди приводили до негайного розвитку техніки. У ряді випадків винаходи і дослідження випереджали розвиток виробництва і потреби суспільства. У зв'язку із цим, вони часто виявлялись незатребуваними, на певний час забувались і згодом відкривались та проводились заново. Однак при наявності необхідного науково-технічного і технологічного рівня і соціально-економічної доцільності, використання досліджень і винаходів прискорює розвиток техніки і продуктивних сил суспільства. Таким чином, техніка розвивається відповідно до пізнаних законів природознавства і у тій мірі, в якій вона відповідає виробничим відносинам.

Розвиток техніки змінює спосіб життя людини і форми людської діяльності - трудової, наукової, управлінської, навчальної, культурно - побутової. При цьому суспільство потрапляє в нові умови і до кожної людини і

суспільства в цілому пред'являються підвищені вимоги, що не можуть бути виконані одразу, оскільки морально - психологічні зміни і розвиток культури відбуваються повільніше. Розуміння нових вимог, необхідності їх виконання, забезпечення потенційної здатності до адаптації людини і суспільства в цілому до нових умов, повинні лежати в основі розвитку гуманітарної культури, освіти, економіки, законотворчості і керування державою. Невідповідність науково - технічного рівня розвитку інших сторін життя суспільства приводить до неминучого вирішення протиріч тим чи іншим способом. На визначеному етапі розвитку протиріч змінюються виробничі відносини.

Виробничі сили суспільства (предмети праці, знаряддя виробництва і люди, що створюють за допомогою цих знарядь матеріальні блага) найтіснішим чином пов'язані з **виробничими відносинами** - відносинами людей у процесі виробництва, що є предметом суспільних наук. Необхідно відмітити, що найбільш повний і глибокий аналіз розвитку продуктивних сил даний у роботах К. Маркса, зокрема у фундаментальній праці "Капітал".

Розвиток виробничих відносин пройшов ряд етапів, причому кожному етапу відповідав визначений рівень розвитку техніки.

У середні століття відбувався розвиток ремесел і торгівлі, виникали міста, як центри ремесла і торгівлі. Освоювалися нові джерела енергії - вітер і вода. Виник і одержав поширення **ремісничий спосіб** виробництва. Праця ремісника відрізнялася тим, що виготовлення виробу здійснювалося вручну, причому як простий, так і складний виріб виготовлявся, як правило, одним робітником. На більш високому рівні розвитку ремісничого способу виробництва створюються об'єднання ремісників - цехи. При цьому принципи ремісничої праці зберігаються й у цехах, хоча одночасна праця декількох ремісників у тому самому місці приводить до їх планомірної співпраці і кооперації. З'являються об'єктивні можливості для поділу праці, використання більш досконалих знарядь, об'єктивні передумови для зниження невиробничих витрат (оплати оренди приміщення, витрат на опалення, освітлення й ін.), поліпшення умов збуту і т.д.

На наступному етапі розвитку виробництва створюються **мануфактури**, які, хоча ще й не були потужними промисловими підприємствами, оснащеними машинами та допоміжним механізованим обладнанням, але мали більш високу ефективність ніж цехи ремісників. Як форма організації капіталістичного виробничого процесу мануфактура розвивається із середини XVI до кінця XVIII століть.

Слово "мануфактура" складено з двох латинських слів: manus (рука) і factus (зроблений, виготовлений). Найважливішими відмітними рисами мануфактури є, з одного боку, об'єднання різнорідних самостійних ремесел, з іншого боку - поділ різнорідних операцій того самого ремесла між різними робітниками. Однак і в мануфактурі основою залишається ручна праця. Важливим моментом є те, що в мануфактурі робітник це вже не ра-

ціонально діючий самостійний виробник, а частинка великого робочого механізму. Розчленовування робочого процесу на операції створює передумови удосконалювання праці окремого робітника, забезпечує можливість паралельно - послідовної організації виробництва, використання на кожній операції найбільш ефективних прийомів праці. Таким чином, закладалися основи високопродуктивної технології виробництва.

Технологія виступає як раціональна послідовність виконання операцій починаючи від обробки вихідного матеріалу (заготовки) і закінчуючи загальним складанням з елементів виробів. Саме такі розчленовування і послідовність виконання операцій істотно впливають на продуктивність і організаційні форми праці. Узгодження продуктивності і числа робітників, зайнятих на кожній операції, виходячи з умов випуску комплектних виробів, сприяє створенню нових форм праці. Вже в часи мануфактур починається застосування машин, але тут вони ще відіграють другорядну роль.

Хоча усі описані зміни, зокрема, поділ праці, привели до удосконалення ремісничої праці в мануфактурі, її основою залишається все-таки мистецтво ремісника. Навіть винахід англійцем Д. Уаттом парової машини наприкінці XVIII в., не викликав сам по собі промислового і технічного перевороту. Переворот почався зі створення **робочої машини**.

Перш, ніж вивчати подальшу еволюцію продуктивних сил і виробничих відносин, розглянемо визначення машини. Для поняття "машина" існує багато визначень. Досить повне формулювання належить К. Марксу: **машина** - пристрій, що виконує механічні рухи для перетворення енергії, матеріалів або інформації з метою заміни або полегшення фізичної чи розумової праці людини [6].

Основними різновидами машин є енергетичні, технологічні і транспортні машини.

Енергетична машина призначена для перетворення енергії. Структура її включає джерело енергії і перетворювач. До природних джерел енергії відносяться вода, що рухається, вітер, сонце, м'язова сила живих істот, а також первинні і вторинні, органічні і неорганічні речовини і їх з'єднання, що можуть знаходитись у твердому, рідкому чи газоподібному стані і служити паливом або елементами ядерного розпаду або синтезу.

Технологічна машина призначена для обробки предмета праці, зміни його розмірів, форми, властивостей або стану.

Транспортна машина служить для переміщення людей і вантажів.

Будь-яка технологічна або транспортна машина включає привод (двигун), передаточний механізм і виконавчий елемент. **Привод** призначений для перетворення енергії будь-якого виду в механічну роботу вхідного елемента передаточного механізму. **Передаточний механізм** забезпечує підведення механічної енергії і руху від привода до виконавчого елемента із дотриманням заданих співвідношень їх швидкостей. **Виконавчий елемент**, якому передається енергія привода служить для виконання технологічних або транспортних операцій.

В технологічних машинах виконавчим елементом є інструмент, який здійснює обробку заготовки. Виконавчий елемент транспортних машин являє собою колісний або гусеничний рушій (для наземних транспортних засобів), гребний гвинт (для морського транспорту), повітряний гвинт (для неактивних літальних апаратів, наприклад, для літаків з поршневіми двигунами) і т.д.

Сучасні двигуни в залежності від використовуваного енергоносія розділяються на теплові, електричні, гідравлічні і пневматичні. Розглянути у посібнику усю різноманітність двигунів неможливо.

Технічна революція кінця XVIII - початку XIX вв. була обумовлена розвитком механіки, рядом винаходів, що змінили роль людини у виробничому процесі. До винаходів слід насамперед віднести паровий двигун, механічний супорт, прядильні і ткацькі машини. Зміни в технічних засобах праці привели до створення системи виробничих машин, до становлення **машинно-фабричного способу виробництва** і зміни виробничих відносин. Маркс називав винахід робочих машин "першою великою промисловою революцією".

Створення машинно-фабричного виробництва стало можливим у результаті винаходу парової машини - двигуна, не прив'язаного до природних енергетичних джерел (річок, вітру), який мав достатню потужність для привода робочих машин. Це дозволило перейти до їх масового виробництва, до широкого застосування універсальних верстатів, що, в свою чергу, вимагало підвищення якісного рівня машинобудування.

У нових умовах машинного виробництва змінилася роль людини у виробничому процесі. Мускульна сила робітника перестала бути джерелом енергії - її замінила енергетична машина. Функції виконавчого елемента технологічних машин перейшли від людської руки до механізмів, що надають заготовці необхідну форму шляхом забезпечення заданих узгоджених рухів інструмента. Таким чином, відбулася корінна зміна технології виробництва, почалося створення машин машинами. Виробничі функції людини звузилися, стали більш спеціалізованими (у порівнянні із функціями робітників мануфактур) і звелися до обслуговування і керування машинами. У результаті змін виробничих відносин XVIII-XIX вв., з'явилися класи найманих робітників і власників-капіталістів, почався бурхливий розвиток техніки.

Усі сучасні технічні досягнення є результатом використання для потреб людства відкриттів фундаментальної природничої науки. Вони залежать від рівня пізнання законів природи й уміння їх застосовувати [3-5]. Фундаментальна наука описує картину світу й основні закономірності його існування. Картина світу формується на основі узагальнення і синтезу основних природничонаукових понять, принципів і теорій відповідно до експериментальних даних. Вона містить у собі такі філософські і загальнонаукові категорії, як матерія, простір, час, речовина, поле, Всесвіт, а також принципи і закони. До появи технічних наук (XVIII в.) причиною, що спо-

нує розвиток фундаментальної науки були в основному світоглядні і філософські проблеми культури. Починаючи з XIX в. розвиток техніки не тільки залежить від рівня фундаментальної науки, але і, задовольняючи потреби суспільства (включаючи виробничі, економічні і військові), диктує деякою мірою напрямки її розвитку. В зв'язку з цим, Л.М. Толстой (1828 - 1910 рр.) відмітив, що "Знання - знаряддя, а не мета".

На різних етапах розвитку суспільства взаємозв'язки фундаментальної науки і техніки змінювались, хоча створення технічних засобів завжди базувалося на визначених теоретичних положеннях.

У ранні періоди розвитку людського суспільства техніка змінювалася незалежно від науки, причому наукове і технічне дослідне знання були частиною релігійно-міфологічного світосприймання.

В епоху античності (VI в. до н.е. - V в. н.е.) наука виділила теоретичну форму пізнання в окремий вид людської діяльності. Поняття техніки включало мистецтво, технічне практичне знання, але без теорії техніки. Заняття наукою і технікою розглядалися як зовсім різні види діяльності. Таким чином, техніка знаходилася на рівні ремесла. Джерелом енергії на цьому етапі була сама людина, її мускульна сила.

У середні віки (VI - XVII вв.) розвиток суспільства і його потреб привели до появи енциклопедично знаючих і в однаковій мірі практично підготовлених вчених та інженерів, але технічні знання цього часу носили в основному емпіричний характер. Розвиток фундаментальної науки і техніки змінив це положення. Основою техніки стала наука, теорія.

Поступове накопичення природничонаукової інформації, нові експериментальні дані періодично приводять на визначених етапах до радикальних змін у науці - розробці нових теоретичних принципів і фундаментальних законів. Відповідно до цього техніка також розвивається нерівномірно. Зміна теоретичного базису викликає якісні перетворення в техніці, пов'язані з використанням нових фундаментальних законів і ефектів, відкриттів і винаходів [5]. Прикладами цього є промислова революція XVIII - XIX вв. і науково - технічна революція (НТР) XX в. [8].

Періоди радикальних змін чергуються із періодами еволюційного, поступового розвитку, коли йде освоєння теорії, модернізація машин, їх дослідне удосконалення. З розвитком фундаментальної науки і техніки, зростанням їх впливу на людське суспільство, час між періодами прискорених змін зменшується. Статистичний аналіз, проведений для ряду найвидатніших винаходів (парова машина, телефон, кіно, радіо, автомобіль, літак, телебачення і т.д.) показав, що проміжок часу між народженням нової технічної ідеї і моментом її широкої реалізації за останні 300 років скоротився від 100 - 200 до декількох років [7]. У середньому в 1700 р. термін реалізації технічної ідеї складав 135 років, у 1750 р. - 90, у 1800 р. - 60, у 1950 р. - 2 роки. Однак екстраполювати дану залежність у майбутнє важко.

1.2. Етапи розвитку фундаментальної науки

1.2.1. Початкова історія людства

Протягом сотень тисяч років початкової історії становлення суспільства людина боролась за біологічне виживання. При цьому формувалася повсякденна господарська діяльність, вироблялися трудові навички і виготовлялися найпростіші знаряддя праці [3,4]. Виникали також початки емпіричного знання. У найдавніший період - палеоліт (800 - 12 тис. років до н.е.) - первісна людина шляхом сколювання й оббивки виготовляла кам'яні знаряддя праці - рубала, мотики, шкребки. Пізніше - у мезоліті (12 - 7 тис. років до н.е.) - з'явилися лук і стріли. Починаючи з 4-го тисячоріччя до н.е. (неоліт) мідні, а потім бронзові знаряддя праці почали витісняти кам'яні. Спочатку вони з'явилися на Близькому Сході (Іран, Туреччина, Месопотамія), а в 3 - 2 тисячоріччі до н.е. (енеоліт) - у Європі, Індії, Китаї. Одночасно відбувався перехід від скотарства до землеробства, з'явився глиняний посуд, виникло ткацтво з волокон рослин (спочатку з дикоростучих, а потім з окультурених).

Для одержання бронзи людина освоїла видобуток корисних копалин і створила металургію. Бронза стала основним матеріалом знарядь праці і зброї. Виникнення в IX - VII вв. до н.е. металургії заліза, а потім способів одержання сталі привело до остаточного витиснення кам'яних, мідних і бронзових знарядь. При цьому почали розширюватися посіви, з'явилися зрошувальні спорудження, судна, транспортні засоби, сформувалися основні види ремесел.

Прагнення зрозуміти природу, причинні зв'язки явищ привели до виникнення наукових знань. Первісні наукові знання були результатом спроб створення системи уявлень про оточення, в якому існувала людина. Наука древнього світу розвивалася завдяки появі писемності в цивілізаціях Близького Сходу, Середземномор'я, Індії і Китаю. Створювалися початки математики, астрономії, медицини і філософії.

1.2.2. Антична наука і техніка

Епоха античності охоплює час з VI в. до н.е. до V в. н.е. Основні події цього періоду відбувалися в Древніх Греції і Римі, а також Східному Середземномор'ї.

Для античного періоду розвитку людства характерні філософські пошуки наукового пояснення світу. Перші кроки античної науки були пов'язані з формуванням систематизованих уявлень про природу (Анаксимандр, Парменід, Емпедокл, Диоген з Аполонії й ін.). При цьому оформилися три основні наукові напрямки: вивчення живої природи (початки біології і медицини), вивчення космосу в цілому (Гесіод, Анаксимандр, Геракліт, Демокріт, Платон і ін.) і вивчення внутрішньої структури предметів навколишнього світу (атомістична гіпотеза).

Походження грецької атомістики і зараз є загадкою науки. Ідею будови матерії з атомів розробляли Анаксимен, Емпедокл, Платон і остаточно сформували Левкіп і Демокрит. Античний атомізм стверджував:

- все у світі складається з атомів і порожнечі;
- атоми знаходяться у постійному неупорядкованому русі;
- атоми - межа фізичної подільності матерії;
- в результаті взаємодії атомів речовин відбувається перетворення останніх.

Наведені умоглядні положення збереглися до XIX в. У значній мірі "науку про природу" систематизував Аристотель (384 - 322 рр. до н.е.). Подальший її розвиток пов'язаний з історією країн Східного Середземномор'я, завоюванням Римом Греції і Єгипту в I в. до н.е. Центрами античної науки стали Олександрія, Пергам і інші малоазійські міста. Наступив елліністичний період розвитку науки, характерний прискоренням накопичення знань і формуванням математики. Олександрійська математична школа пов'язана з ім'ям Евкліда (III в. до н.е.) (відмітимо, що неевклідова геометрія виникла тільки в XIX в.). У цей час Архімедом (близько 287 - 212 рр. до н.е.) були створені початки математичного аналізу. До Олександрійської математичної школи відноситься і Ератосфен з Кирен (близько 275 - 195 рр. до н.е.), який був також астрономом, географом, істориком і філософом. Олександрійська медицина і біологія представлені лікарем Клавдієм Галеном (129 -199 рр.) - засновником анатомо - фізіологічного вивчення людського організму, Алкмеоном Кротонським - основоположником анатомії і фізіології, Анаксагором - творцем наукових уявлень про зародження живих організмів і, нарешті, найвидатнішим лікарем античності - Гіппократом (близько 460 -370 рр. до н.е.). Олександрійська наукова школа дала людству ряд географів і астрономів. Аристарх Самосський у III в. до н.е. створив геліоцентричну систему світу (відтворену в XVI в. Коперніком). У II в. н.е. К. Птолемей у своїй геоцентричній системі світу пояснив видимі рухи Сонця, Місяця і п'яти відомих йому планет.

Античні учені створили не тільки систематичне природничонаукове знання, але і основи технічних теорій. Були розроблені перші методики будівельних розрахунків, геодезичні прилади. У VIII - VII вв. до н.е. почали швидко розвиватися мореплавання, металургія, ткацтво, гончарне виробництво. На основі емпіричних знань розв'язувалися задачі рівноваги тіл, переміщення вантажів, розподілу ваги тіл між опорами.

Для створення різноманітних технічних пристроїв було необхідно розробити систему науково - технічного знання на основі узагальнення положень механіки. Уперше це зробив Архімед. Йому належить ряд важливих винаходів: водопідйомний "архімедів гвинт", зубчастий редуктор, різні військові машини, прилад для вимірювання діаметра Сонця. До цього ж часу відносяться розробки механічних автоматів Героном Олександрійським і Ктесібієм. Останній винайшов також двоциліндровий пожежний насос і водяний годинник.

Наука і техніка в античний період не були взаємозалежні. Йшло формування теоретичних положень, накопичення емпіричного досвіду, але наукове знання ще не стало основою інженерної діяльності.

1.2.3. Наука епохи середньовіччя

Середні віки - час феодальної суспільно - економічної формації. Хронологічні рамки середньовіччя для різних країн різні. У Європі воно продовжувалось приблизно 12 віків - з V до XVII вв.

Перехід людського суспільства від рабовласництва до феодалізму супроводжувався занепадом античної культури і переходом до культури феодалізму.

Основою науки раннього феодалізму стали теологія і філософія обґрунтування віри за допомогою розуму - Ансельм Кентерберійський (1033 - 1109 рр.), Хома Аквінський (1225 - 1274 рр.). Визначення взаємозв'язку віри і розуму стало однією з центральних проблем середньовічної науки. Однак мета й задачі науки і релігії різні. Наука вивчає світобудову і використання природних сил, а релігія прагне сформувати життєві установки людини, допомогти їй досягти внутрішньої згоди із самим собою. Середньовічні учені були змушені погоджувати наукові теорії, що вони пропагували з релігійними концепціями. Наслідком цього став розвиток алхімії (IV - XVI вв.), астрології і магії. Науковці середньовіччя займались також пошуками вічного світла, квадратури кола і створенням вічного двигуна.

Алхімія з'єднала ремісничу працю і початки експериментального природознавства, але при цьому відсутність дослідного знання компенсувалася магією, містикою й окультними теоріями. Пошуки "філософського каменю", універсального розчинника й еліксиру довголіття супроводжувалися вивченням практичної хімії і привели зрештою до вчення про хімічні елементи й атомно-молекулярної теорії. Серед алхіміків були такі великі мислителі як: Раймунд Лулій, Альберт Великий, Роджер Бекон й інші.

Роджер Бекон (1214 - 1292 рр.) був англійським філософом і натуралістом, ченцем - францисканцем і при цьому - професором в Оксфорді. Він надавав великого значення математиці і досліді, ролі науки в техніці. Бекон залишив наукові праці з астрономії, математики, фізіології зору, хімії, фізики, оптики, обґрунтував можливість створення і описав будову літального апарата, телефону, підводного човна і т.д. Одним з перших він указав на соціальну роль науки і техніки.

У цей же час на Сході працювали вчені - енциклопедисти Абу Рейхан Мухамед ібн Ахмед аль Біруні (973 - 1050 рр.) і Алі Хусейн ібн Абдаллах ібн Сіна (Авіценна) (980 - 1037 рр.). Біруні був автором близько 150 робіт з астрономії, математики, географії, мінералогії, фізики, фармакології, філософії, історії. Він вважав, що основою науки повинні бути дослід і спостереження. Авіценна написав більше 400 робіт із різних галузей знання. Його трактат "Канон лікарської науки" до XVI в. вважався основним лікарським керівництвом.

X - XI вв. ознаменувалися виникненням міст, як центрів ремесла і торгівлі, освоєнням води і вітру як джерел енергії. Були винайдені кривошип і маховик, з'явилися і знайшли широке застосування візок, підйомні механізми і мости, токарні верстати з ножним приводом. З X в. почали широко використовуватися водяні млини, вітряки, механічні годинники. Для різноманітних виробництв основним джерелом енергії стали водяні колеса. При всьому цьому, техніка залишалася лише на рівні уміння, ремесла.

До 1232 р. відноситься перше згадування про використання в Китаї димного пороху, а з XIV в. він з'явився в Західній Європі і в Україні. До винаходів XIII в. відносяться окуляри і компас. Перші окуляри з'явилися у Венеції, потім були зроблені підзорна труба, мікроскоп і телескоп, виникла оптика. Компас був винайдений у Китаї в II тисячоріччі до н.е., але в Європі став відомий лише в XII - XIII вв. Поява компаса уможливила великі географічні відкриття.

Необхідність у спілкуванні, передачі інформації привела до виникнення друкарства замість переписування книг. Цьому сприяло проникнення в Європу з Китаю і Японії паперу. Папір був вперше виготовлений у Китаї в II в., у VI в. він з'явився в Японії й інших азійських країнах. У IX в. в Китаї з дерев'яних дощок почали друкувати книги й ілюстрації. Іоганн Гутенберг (1400 -1468 рр.) винайшов спосіб друку за допомогою рухомих набірних літер. Трохи пізніше почали друк книг старослов'янською мовою Франциск Скорина (1490 - 1541 рр.) і Іван Федоров (1510 - 1583 рр.). Друкарство сприяло розвитку літератури, освіти і науки.

Зміни в техніці привели до удосконалювання технології виробництва і викликали зміну виробничих відносин. Ремісники об'єднувалися в цехи з поділом на окремі професії. Кріпацька праця була замінена вільною. Цехова організація праці сприяла впровадженню нової техніки. Починаючи з XIV в. стали виникати елементи капіталістичних виробничих відносин - кооперація, мануфактури і поділ праці.

1.2.4. Наукова революція XVII в.

У XV - XVII вв. на базі наукового експерименту виникло сучасне природознавство. Накопичення емпіричних даних і відкриттів, їх теоретичне пояснення й узагальнення, розширення знань про природу привели до краху релігійних і псевдонаукових ідей, що панували раніше, до заміни їх новими науковообґрунтованими принципами, концепціями і теоріями. Змінився зміст науки. Це, насамперед, торкнулося астрономії і дослідного природознавства. Розвиток останніх підірвав основи науки середньовіччя і створив можливість інтенсифікації інженерної діяльності в XVIII - XIX вв.

Ідеї удосконалювання науки про природу і необхідності використання з цією метою досліду і математичних доказів були вперше висловлені Леонардо да Вінчі (1452 - 1519 рр.). Його діяльність охоплює всі галузі техніки, механіки, оптики і медицини (варто відмітити, що праці Леонардо да Вінчі залишилися неопублікованими і впливу на розвиток природознав-

ства не зробили). Да Вінчі виконав проекти металургійних печей і прокатних станів, ткацьких верстатів, друкарських і землерийних машин, підводного човна і танка, літального апарата і парашута.

Першим почав світоглядну революцію і боротьбу за позбавлення природознавства від теології Микола Копернік. Він відхилив теорію Птолемея і геоцентричну систему світу і замінив її геліоцентричною системою. Ідеї Коперніка одержали розвиток у роботах Джордано Бруно (1548 - 1600 рр.), Тихо Браге, Іоганна Кеплера, Галілео Галілея.

Бруно стверджував, що Сонце не є центром Світу, а сам Світ безмежний і нескінченний, що існує безліч світів, подібних Землі. За пропагування цих ідей церква засудила Бруно і 17.02.1600 р. він був спалений на площі Квітів у Римі.

Тихо Браге (1546 - 1601 рр.) був астрономом. Він побудував першу в Європі обсерваторію на острові Вен. За 20 років досліджень Браге визначив координати тисячі зірок і уточнив теорію руху планет, Сонця, Місяця і комет. У 1572 - 1574 рр. він спостерігав спалах наднової зірки.

Помічник Браге І. Кеплер (1571 - 1630 рр.) сформулював закони небесної механіки.

Фізичне обґрунтування геліоцентризму було дано Галілео Галілеєм (1564 - 1642 рр.). Він винайшов телескоп і шляхом спостережень відкрив гори на Місяці, чотири супутники Юпітера і установив, що Молочний шлях складається із зоряних скупчень. Галілей відкрито пропагував ідеї Коперніка. Церква влаштувала над ним суд, який відбувся в 1633 р. і продовжувався три місяці. Галілей був змушений відректися від своїх поглядів. Відому фразу "І все ж - таки вона вертиться!" він насправді не вимовив. Галілей обрав замість мученицької смерті формальне зречення і можливість продовження пошуків наукової істини. Він розробив методологію наукового природознавства, що поєднує дослід, створення робочої гіпотези, вивід закономірностей і дослідну перевірку як критерій вірогідності.

Методологію науки нового часу розробляли також Френсіс Бекон (1561 - 1626 рр.), Рене Декарт (1596 - 1650 рр.), Ісак Ньютон (1643 - 1727рр.) і Готфрід Вільгельм Лейбниц (1646 - 1716 рр.). Бекону належить відомий афоризм "Знання - сила".

У своїх роботах Ньютон довів до досконалості математичне природознавство XVII в., об'єднавши на основі математики оптику, механіку й астрономію. Ньютон розробив вчення про простір, час, маси, сили, всесвітнє тяжіння, заклав основи механічної картини Світу, створив гіпотези про корпускулярну природу світла, далекодію й атомну структуру матерії.

Лейбниц заклав основи диференціального й інтегрального обчислень, дав формулювання закону збереження енергії, розробив оптичні прилади, гідравлічні і обчислювальну машини, інтегруючий механізм.

Релігійне уявлення про незмінність природи першими відхилили філософ Еммануїл Кант (1724 - 1804 рр.) у своїй космогонічній гіпотезі і натураліст Жорж Бюффон (1707 - 1788 рр.). Вивчалися різні явища природи:

атмосферний тиск - Б. Паскаль (1623 - 1662 рр.), О. фон Герике (1602 - 1686 рр.), властивості повітря - Р. Бойль (1627 - 1691 рр.), Е. Маріотт (1620 - 1684 рр.), електрика - О. фон Герике (електростатична машина), Ш.Ф.Дюфе (1698 - 1739 рр.) (електроскоп), В. Франклін (1706 - 1790 рр.) (громовідвід), М.В. Ломоносов (1711 - 1765 рр.), Г.В. Ріхман (1711 - 1753рр.), Ш.О. Кулон (1736 - 1806 рр.) (дослідження зв'язку сили взаємодії зарядів та їх величини).

Потреби техніки, механіки й астрономії привели до розвитку алгебри - С. Ферро, Н. Тарталья, Дж. Кардано, Ф. Вієт. У XVII в. Д. Непер (1550 - 1617 рр.) і І. Бюргі (1552 - 1632 рр.) відкрили логарифми. Основи методу координат у геометрії були закладені Р. Декартом (1596 - 1650 рр.). Питання обчислення нескінченно малих величин розробляли в XVII в. П. Ферма, Р. Декарт, Б. Кавальєрі, Е. Торрічеллі й інші.

Одним з підсумків наукової революції було формування наприкінці XVIII в. теоретичної механіки, що пізніше стала теоретичною основою створення машин і механізмів у техніці. Основні принципи механіки, поняття роботи, кінематики, динаміки, системи матеріальних точок, закон збереження і перетворення енергії і т.д. були розроблені Ж.Л. Лагранжем, В.Г. Гамільтоном, П.Л.М. Мопертюї, К.Г. Якобі, Г.Г. Коріолісом і іншими. Одночасно у Франції сформувалася прикладна механіка (термін увійшов у використання в 30-х рр. XIX в.). До неї зробили внесок своїми роботами Г.Монж (1746 - 1818 рр.), С. Карно (1796 - 1832 рр.), Ж. Понселе (1788 - 1867 рр.), пізніше - Р. Віліс, П.Л. Чебишев і Ф. Рело.

У XVIII в. виникла гідродинаміка в'язкої рідини - Л. Ейлер (1707 - 1783 рр.), Д. Бернуллі (1700 - 1782 рр.). У XIX в. вона одержала подальший розвиток у працях Ш.С. Пуансона, Л. Нав'є, Дж. Стокса, К. Томсона і Г.Гельмгольца.

Наукова революція XVII в. закінчилася наприкінці XVIII в. Значного впливу на промислову революцію кінця XVIII - початку XIX вв. вона не зробила, але її методологія і наукові досягнення стали теоретичною основою найважливіших винаходів XVIII в. - парової машини, механізованого супорта, прядильної і ткацької машин, а також технічних наук XIX в.

1.2.5. Фундаментальна наука XIX - XX вв.

XIX - XX вв. ознаменувалися прискоренням розвитку фундаментальних наук, появою нових дисциплін: хімії, біології, фізики, виділенням в останній таких напрямків, як: термодинаміка, електродинаміка, атомна фізика, що викликало корінні зміни у техніці і наблизило НТР.

З початку XIX в. стали формуватися основні напрямки класичної фізики. Цьому передувало відкриття ряду закономірностей і отримання важливих експериментальних даних.

Електродинаміка виникла завдяки відкриттю Л. Гальвані (1737 - 1798 рр.) "живої електрики" - скорочення м'язів жаби під дією прикладених електричних потенціалів. А. Вольт (1745 - 1827 рр.) пояснив це явище, увів

поняття "напруга" і розробив будову штучного джерела електричного струму. З цього почалося вивчення явищ, пов'язаних з постійним електричним струмом.

У 1803 р. В.В. Петров (1761 - 1834 рр.) описав батарею, зібрану ним з 4200 мідних і цинкових дисків і відкрив електричну дугу. У 1820 р. Х.К. Ерстед (1777 - 1851 рр.) дослідив дію провідника з електричним струмом на магнітну стрілку. Найбільший внесок у вивчення електромагнетизму зробив А.М. Ампер (1775 - 1836 рр.). Він продовжив дослідження Ерстеда і ввів у науку поняття електродинаміки, електричного струму, електродинамічних сил. Ці роботи дозволили Г. Ому (1787 - 1854 рр.) сформулювати закон співвідношення величин струму, напруги і електричного опору.

У 30-х - 40-х рр. ХІХ в. М. Фарадей (1791 - 1867 рр.) розробив якісний підхід до основних електромагнітних явищ і відкрив електромагнітну індукцію (1831 р.), закони електролізу (1834 р.), поляризацію діелектриків (1837 р.), дав закінчене формулювання закону збереження і перетворення енергії (1839 р.), дослідив діамагнетизм (1845 р.), висунув ідею про електромагнітну природу світла (1846 р.), відкрив парамагнетизм (1847 р.).

Усі названі досягнення використовувалися при створенні електротехнічних пристроїв: гальванометра Поггендорфа (1821 р.), електромагніта Генрі (1832 р.), електромагнітного телеграфу П.Л. Шилінга (1829 р.), електродвигунів Барлоу (1822 р.) і Б.С. Якобі (1834 р.) і т.д. Пізніше Д.К. Максвелл (1831 - 1879 рр.) надав ідеям Фарадея математичну форму.

Термодинаміка виникла в результаті теоретичного осмислення теплових явищ. Основний внесок у термодинаміку зробили французькі вчені - Ж. Фур'є (1768 - 1830 рр.), С. Карно і Б. Клапейрон (1799 - 1864 рр.).

Фур'є розробив математичну теорію теплопровідності. Карно провів дослідження ефективності теплових машин, виклав основи термодинаміки, увів поняття ідеальної теплової машини, обґрунтував необхідність перепаду температур для циклічно діючої теплової машини. Клапейрон створив математичну основу для якісної теорії Карно, що дозволило використовувати її для формування класичної термодинаміки. Це було зроблено в роботах У. Кельвіна (1824 - 1907 рр.), Р. Клазіуса (1822 - 1888 рр.) і інших.

У 40-х рр. ХІХ в. забута ідея М.В. Ломоносова про зв'язок температури та інтенсивності руху частинок речовини одержала математичне формулювання у вигляді закону збереження і перетворення енергії. Його відкрили лікар Р. Майєр (1814 - 1878 рр.), фізіолог Г. Гельмгольц (1821 - 1894 рр.) і броварник Д. Джоуль (1818 - 1889 рр.). Слід зазначити, що пояснення перетворень енергії на основі узагальнення експериментальних фактів раніше було дано англійським фізиком В. Гровом.

У 50-х рр. поняття кінетичної і потенціальної енергії були сформульовані У. Кельвіном, Р. Клазіусом і У. Ранкіним (1820 - 1872 рр.).

У середині ХІХ в. на зміну механічній картині світу прийшла електромагнітна, що ознаменувало початок нового етапу у фізиці.

Наприкінці XIX в. дослідження катодних променів - У. Крукс (1896р.) і Ш. Перрен (1895 р.) - заклали основи електроніки. Математична форма електронної теорії була розроблена Г.А. Лоренцем (1853 - 1928 рр.). Назву частинок, з яких утворюються катодні промені, - електрон - увів Д.Стоней (1826 - 1911 рр.). У 1895 р. німецький фізик В.К. Рентген (1845 - 1923 рр.) відкрив X- промені, названі потім рентгенівськими. Це послужило початком розвитку рентгенології й вчення про структуру атома. У 1897р. Д.Д. Томпсон (1856 - 1940 рр.) визначив відношення заряду електрона до його маси. Він довів, що електрон є частиною атома і найдрібнішою частинкою речовини.

У цей же час французький фізик А. Бекерель (1852 -1908 рр.) відкрив природну радіоактивність, а в 1898 р. Марія (1867- 1934 рр.) і П'єр Кюрі (1859 - 1906 рр.) відкрили нові радіоактивні елементи - полоній і радій. Теорія радіоактивності, закони радіоактивного розпаду і перетворень були сформульовані в 1903 р. Е. Резерфордом (1871 - 1937 рр.) і Ф. Соді (1877-1956 рр.).

У 1900 р. М. Планк (1858 - 1947 рр.) розробив квантову теорію. Вона послужила основою атомної фізики, що визначила шлях розвитку природознавства XX в. Фізика мікросвіту була побудована на основі релятивістських уявлень сформульованих у спеціальній теорії відносності (1905 р.) А. Ейнштейна (1879 - 1955 рр.).

У 1911 р. Е. Резерфорд запропонував планетарну модель атома, що у 1913 р. була теоретично розроблена Н. Бором (1885 -1962 рр.) на основі теорії квантування енергії М. Планка. Пізніше Н. Бор довів, що теорія атома не відповідає класичній електродинаміці і сформулював нові закони руху електронів в атомі.

На базі загальної теорії відносності Ейнштейна (1916 р.), що розглядає простір і час як об'єктивні характеристики будь-яких фізичних явищ, у фізиці був здійснений перехід до нової наукової картини світу, заснованої на квантово - механічних і релятивістських уявленнях. У середині XX в. дослідження атома стали основою для оволодіння атомною енергією.

Одним з найбільших досягнень науки кінця XIX - початку XX вв. з'явилося створення радіотехніки. У 1886 р. Г. Герц (1857 - 1894 рр.) експериментально показав факт випромінювання електромагнітних хвиль. Ба-зуючись на цьому, О.С. Попов (1859 - 1906 рр.) у 1889 р. висловив думку про можливість передачі інформації на відстань за допомогою електромагнітних хвиль. 7 травня 1895 р. Попов демонстрував перший радіоприймач, а 24 березня 1896 р. здійснив першу радіотелеграфну передачу. Російське військове міністерство засекретило роботи Попова й в результаті патент на радіопередавач одержав не він, а Г. Марконі (1874 - 1937 рр.), що запропонував у 1897 р. пристрій, аналогічний апарату Попова.

Спочатку радіотехніка вирішувала задачі радіотелеграфії, пізніше – радіотелефонії, телебачення, радіолокації, пеленгації і т.д., а також техно-

логічного використання електромагнітних хвиль. Радіотехніка породила радіоелектроніку, що стала основою великої галузі інженерної діяльності.

Одним з напрямків використання радіохвиль стала радіолокація - визначення місцезнаходження невидимих об'єктів. Уперше явище затримки і відбиття радіохвиль від перешкод було помічено в 1897 р. О.С. Поповим. У 20-х рр. воно вивчалось А. Тейлором, Н. Юнгом, Б.А. Введенським і іншими. Радіометоди вимірювання відстаней були розроблені Л.І. Мандельштамом (1879 - 1944 рр.) і Н.Д. Папалексі (1880 - 1947 рр.). З 1934 р. почались дослідження радіолокації у Великобританії (Р.Уотсон, Уатт), у СРСР і США. Перші радіолокатори були розроблені у Великобританії й у 1939 р. створена мережа радарних станцій для захисту країни від німецької авіації.

Необхідність використання радіолокації в сантиметровому діапазоні хвиль обумовила появу нових типів генераторів - магнетронів, клістронів і ламп біжучої хвилі, а також спеціальних антен. У 50-х рр. радіолокація була застосована для дослідження космосу.

Одночасно з удосконаленням радіоламп з кінця 30-х рр. у СРСР, Великобританії і Німеччині проводилися роботи, що привели до створення напівпровідникової електроніки. У 50-х - 60-х рр. вона стала основою сучасної радіотехніки й обчислювальних машин.

Наприкінці XIX – на початку XX вв. були закладені наукові основи космонавтики. Перша теорія руху ракет була запропонована У. Муром у 1810 - 1813 рр. Перші теоретично обґрунтовані положення про можливість використання ракети для переміщення в міжпланетному просторі були дані К.Е. Ціолковським (1857 - 1935 рр.) у роботі "Вільний простір" (1883 р.). У 1903 р. Ціолковський заклав основи ракетодинаміки і вирішив головне питання космонавтики - про застосування і роль ракетного двигуна. Завдяки цій роботі стали можливими розрахунки конструкцій ракет, вибір виду палива, визначення оптимальних режимів польоту і траєкторій. У XX в. окремі питання космонавтики розглядалися Р. Годдардом (1882 - 1945 рр.), Г. Обертом (нар. у 1894 р.), Ф.А. Цандером (1887 - 1933 рр.), Р. Ено-Пельтрі (1881 - 1957 рр.), М. Вал'є (1895 - 1930 рр.), Ю.В. Кондратюком (А.І. Шаргеєм) (1897 - 1941 рр.), В. Гоманом (1880 - 1943 рр.), В.П. Ветчинкіним (1888 - 1950 рр.), А.А. Штернфельдом (1905 - 1980 рр.), М.С. Келдишем (1911 - 1978 рр.), С.П. Корольовим (1907 - 1966 рр.), В. фон Брауном (1912 - 1977 рр.) і іншими.

Практична космонавтика почала розвиватися після закінчення другої світової війни, а початком космічної ери вважають 4 жовтня 1957 р. - дату запуску в СРСР першого штучного супутника Землі.

Досягнення природознавства і техніки наприкінці XVIII і у XIX вв. обумовили об'ємний розвиток математики, що стала частиною й апаратом математичної фізики, механіки безперервних середовищ, термодинаміки, електродинаміки, теорії електрики і магнетизму, теорії пружності і т.д. У XIX в. розвивалися численні розділи вищої математики. Теорія диференціальних рівнянь у частинних похідних була розроблена К.Ф. Гаусом (1777 -

1855 pp.), О. Коші (1789 - 1857 pp.), Ж.Б. Фур'є, С.Д. Пуассоном (1781 - 1840 pp.), Д. Гріном (1793 - 1841 pp.), П. Діріхле (1805 - 1859 pp.), М.В. Остроградським (1801 - 1862 pp.). Були створені основи математичного аналізу - О. Коші, Б. Больцано (1871 - 1848 pp.), К. Вейєрштрасс (1815 - 1897pp.). Виникла загальна теорія функції комплексного перемінного - О.Коші, Г. Ріман (1826 - 1866 pp.), Вейєрштрасс, що знайшла застосування в аеро- і гідродинаміці, електротехніці й інших галузях знання. У середині ХІХ в. оформилося векторне числення - У.Р. Гамильтон (1805 - 1865 pp.), Г. Грасман (1809 - 1877 pp.). У цей же час К.Ф. Гаус завершив розробку методів дослідження поверхонь.

У 1826 р. М.І. Лобачевський (1792 - 1856 pp.) виступив з положеннями неевклідової геометрії, яку використали в ХХ в. для дослідження фізичного простору.

На основі класичної алгебри і в результаті робіт Ж. Лагранжа (1736-1813 pp.), Е. Галуа (1811 - 1832 pp.), Ф. Клейна (1849 -1925 pp.) і С. Лі (1842 -1899 pp.) виникла теорія груп.

Одночасно з іншими фундаментальними науками в ХІХ в. завершилося формування хімії і біології

Становлення хімії почалося в результаті робіт англійського вченого Р. Бойля і відноситься до другої половини ХVІІ в. Завершення формування класичної хімії пов'язано з ім'ям А.М. Бутлерова (1828 -1886 pp.).

У ХVІІ в. алхімічні доктрини були витиснуті з хімії фундаментальним положенням про роль маси, як основної характеристики частинок. У ХVІІІ в. задачами хімії стали вивчення складу і властивостей хімічних елементів і їх з'єднань, аналіз і синтез речовин, дослідження хімічних реакцій, причому рішення вказаних задач виходило з атомістичних уявлень про фізичну ідентичність атомів всіх тіл, а також залежності хімічних властивостей речовин від сил притягання атомів, з яких вони складаються. Дана ідея була сформульована І. Ньютоном. В результаті, хімія отримала теоретичний апарат. Однак як самостійна дисципліна вона почала визнаватися вже наприкінці ХVІІІ в. завдяки роботам А. Лавуазьє (1743 - 1794pp.). Він запропонував першу класифікацію простих речовин, спростував теорію флогістону і створив теорію горіння й окислювання (1777 р.).

У першій половині ХІХ в. на основі досліджень англійського хіміка Д. Дальтона (1766 - 1844 pp.) і італійського фізика і хіміка А. Авогадро (1776 - 1856 pp.) виникла хімічна атомістика і молекулярна теорія (1807 - 1811 pp.). Остаточно атомістика перемогла в хімії завдяки створенню Д.І.Менделєєвим (1834 - 1907 pp.) періодичної системи хімічних елементів (1869 р.).

Величезне значення мала теорія хімічної будови органічних сполук, розроблена А.М. Бутлеровим. На базі його робіт були створені хімічні виробництва синтетичних барвників, пластмас, штучного палива, синтетичного каучуку - С.В. Лебедев (1910 р.) і інших речовин.

В результаті поєднання хімії і фізики виникли фізична хімія і термохімія, досліджені явища каталізу, створена електронна теорія валентності.

У біології в XIX - XX вв. було зроблено три основних відкриття: клітинна теорія, еволюційна теорія і генетика. Названі відкриття визначили науковий зміст біології, виявили єдність рослинного і тваринного світу, закономірності його розвитку. У XVIII - XIX вв. роботи із систематизації світу рослин і тварин, виконані К. Ліннеєм (1707 - 1778 рр.), Ж. Бюффонем, А. Жюссє й іншими поставили проблему вивчення еволюції органічного світу. Першу еволюційну концепцію створив Ж.-Б. Ламарк (1744 - 1829 рр.) у 1809 р. Визначений внесок в еволюційну теорію зробили творці еволюційної ембріології А.О. Ковалевський (1840 - 1901 рр.) і І.І. Мечніков (1845 - 1916 рр.). Ковалевський заснував також еволюційну палеонтологію. Усе це дозволило спростувати доктрину незмінюваності біологічних видів. І, нарешті, у 1859 р. Ч. Дарвін (1809 - 1882 рр.) опублікував роботу "Походження видів шляхом природного добору або збереження сприйнятливих порід у боротьбі за життя", у якій сформулював основні положення еволюційного вчення, підтвердив положення про змінність видів тварин і рослин у процесі природного добору. У наступних роботах Ч. Дарвін показав еволюцію домашніх тварин і рослин шляхом штучного добору (1868 р.) і еволюційний розвиток людини (1871 р.). Вчення Дарвіна викликало формування ряду наук - екології, генетики, кібернетики, біоніки, вчення про біосферу і ноосферу.

Клітинна теорія була розроблена в 30 - 40-х рр. XIX в. німецьким фізіологом Т. Шванном (1810 - 1882 рр.). Теорія доводила спільність клітинної будови тварин і рослин, а також утворення клітин під впливом ядра.

У природі одночасно відбуваються процеси еволюції і збереження ознак виду, а також спостерігається спадковість особливостей організмів. Остання була досліджена Г. Менделем (1822 - 1884 рр.) у 1865 р., але тільки на початку XX в. в результаті робіт К.Е. Коренса, Х. де Фріза і Е. Чермака закони Менделя лягли в основу науки про спадковість і її змінюваність - генетики.

Завдяки використанню фізико-хімічних методів дослідження, поєднанню ідей еволюції і генетики біологія зайняла провідну роль у сучасному природознавстві. Величезним досягненням кінця XX в. стала генна інженерія - конструювання генів живих істот і мікроорганізмів, а також клонування. Слід однак додати, що втручання в таємниці живого світу без достатніх знань містить у собі небезпеку непередбачених наслідків для людства і це свідчить про необхідність контролю, а може і заборони окремих напрямків науки.

Фундаментальна наука досліджує закони природи, причинний зв'язок явищ і ефектів. В техніці результати фундаментальних досліджень використовуються для створення машин. У додатку 1 приведені основні фізичні ефекти, використовувані в інженерній діяльності.

Бурхливий розвиток фундаментальної науки та активна інженерна діяльність привели до створення системи технічних дисциплін і інтенсифікації розвитку техніки в ХХ в. При цьому деякі напрямки фундаментальної науки виділилися в окремі галузі технічного інженерного знання.

1.3. Технічні науки і НТР ХХ в.

Створення машин і потреби виробництва привели до об'єднання практичного технічного досвіду з науковим знанням. Передумовою цього був розвиток природознавства і математики, а результатом стало науково-технічне знання, що виникло наприкінці ХVІІІ – на початку ХІХ вв. Ускладнення розв'язуваних задач обумовило спеціалізацію інженерних дисциплін, кожна з яких отримала свою теоретичну основу та методики практичних розрахунків. Розвиток науки наприкінці ХІХ – на початку ХХвв. різко прискорився.

Наприкінці ХVІІІ – на початку ХІХ вв. основною технічною дисципліною була механіка машин, що вивчала кінематику та динаміку механізмів. У першій половині ХІХ в. розроблялися питання прикладної механіки, в якій досліджувались двигуни і передаточні пристрої. ХІХ в. був століттям пари і тільки наприкінці його ускладнення технічних засобів у системі виробництва привело до необхідності впровадження електричного привода і переходу від універсальних металорізальних верстатів до спеціалізованого обладнання. Машинне виробництво стимулювалося зростаючими потребами верстатобудування, транспорту, військової техніки, будівництва, металургії. Наприкінці ХІХ в. машинобудування оперувало токарними, свердлильними, стругальними, фрезерними і шліфувальними верстатами. З'явилися автоматизовані багатошпиндельні верстати і верстати-автомати. Перехід у ХХ в. до індивідуального привода верстатів і привода з декількома електродвигунами був кроком до автоматизації промислового виробництва, яка почалась ще в середні віки. Прагнення до отримання максимального прибутку і завоювання ринків збуту викликали підвищення продуктивності праці машинного виробництва і привели наприкінці ХІХ в. до бурхливого розвитку технічних наук.

У 70 - 80-х рр. ХІХ в. сформувалися технічні науки механічного, фізичного і хімічного циклів. Наприкінці ХІХ в. остаточно оформилися електротехніка і теплотехніка. На початку ХХ в. почалися роботи з розробки теорії робочих машин, теорії автоматичного керування і регулювання. У 20 -30-х рр. ХХ сторіччя отримала розвиток теорія машин-автоматів, пристроїв контролю і керування. У 1920 - 1970 рр. розроблена електронна техніка, що стала основою радіотехніки (радіозв'язок, телебачення, автоматичне керування, обчислювальна техніка).

Розвиток техніки і фундаментальної науки привів в середині ХХ в. до виникнення складної системи технічних наук, що проникнули в усі сфери життя суспільства і викликали стрімке удосконалення технічних систем.

Практично, протягом одного віку технічні можливості людства змінилися в тисячі разів.

Основними напрямками НТР ХХ в. з'явилися:

- розширення технологічного використання електрики;
- створення напівпровідникової техніки;
- використання атомної енергії в мирних цілях;
- широке впровадження радіоелектроніки в усі сфери діяльності людини, її мікромініатюризація;
- поліпшення властивостей природних матеріалів і створення штучних матеріалів із заданими властивостями;
- здійснення космічних досліджень і технологій;
- розвиток обчислювальної техніки, створення персональних комп'ютерів;
- автоматизація виробництва, комп'ютерне керування процесами;
- розвиток інформаційних технологій;
- реалізація нових виробничих технологій, основаних на застосуванні новітньої техніки.

НТР викликала корінні зміни технічного базису і технологічного способу виробництва, що, в свою чергу, привело до створення єдиної системи **наука - техніка - виробництво**. Техніка і технологія суспільства розвиваються у взаємодії із системами господарських відносин, економіки і керування. Рівень кваліфікації, професіоналізм і компетенція фахівців, соціальна обстановка в суспільстві, форми керування повинні відповідати рівню техніки і технології на кожному етапі їх еволюції. Перенасичення технікою, зокрема автоматизованими машинами може привести до масового безробіття і, як наслідок цього, до убогості, економічних криз і соціальної нестабільності. Звідси випливає необхідність розробки державної стратегії розвитку техніки та організації інженерної діяльності з врахуванням науково - технічних можливостей і прогнозуванням можливих соціальних наслідків.

Практична реалізація НТР змінила суспільство. На перший план висунулися питання соціальної значимості науково-технічної інженерної діяльності (досліджень, конструкторських і технологічних розробок, проектування і т.д.), результатом якої є створення нових технічних систем і оволодіння науково-технічною інформацією. В ході НТР було порушено питання про необхідність відповідності освітнього, наукового, культурного, економічного і виробничого потенціалів суспільства науково-технічним можливостям і науково-технічній інформованості суспільства. Тепер потрібні кадри, що володіють інформацією, поповнюють знання і вміють використовувати їх; потрібна матеріально-технічна й організаційна база для реалізації сучасних знань. Протягом останнього віку техніка пройшла більший шлях, ніж за всю попередню історію [4, 5, 8].

Розвиток техніки наприкінці ХХ в. привів до створення технічних об'єктів, що відносяться до так званих великих систем. Під ними розумі-

ються технічні сукупності великого числа взаємодіючих підсистем та елементів зі складною структурою зв'язків. Проектування і створення таких об'єктів пов'язано із широким колом задач забезпечення заданих параметрів взаємодії елементів та устаткування, що входять до їх складу.

В результаті удосконалення техніки, зростання її потужності, ускладнилися і виробничі умови, в яких доводиться працювати людині, стали більш важкими наслідки відмов (аварій і катастроф) технічних систем. Останнє обумовило необхідність забезпечення працездатності систем при нормальних й екстремальних режимах експлуатації. Вивчення працездатності технічних систем є предметом теорії надійності [9 - 11]. Під надійністю розуміється властивість системи або елемента зберігати в часі свою працездатність. Для ряду систем один з найважливіших аспектів надійності пов'язаний з безпекою експлуатації, що має особливо важливе значення для авіаційної, хімічної, військової і космічної техніки. Висновки теорії надійності дозволяють установити правила і вимоги до процесів розробки, виготовлення, експлуатації і ремонту машин відповідно до їх призначення і з врахуванням наслідків відмов.

Людина завжди бачила у своїх витворах більше, ніж просте по'єднання елементів, що виконують утилітарну задачу. Корисність й естетична краса виробу взаємозалежні. Відомо, що некрасива машина гірше експлуатується, гірше функціонує, гірше продається. Краса промислового виробу є інтегральним показником його якості. Тому, технічна естетика стала однією з інженерних дисциплін [12].

Прискорення темпів розвитку науки і техніки і пов'язані з ним негативні наслідки викликали наприкінці ХХ в. сумніви щодо гуманізму інженерної діяльності, і її здатності забезпечити подальший прогрес людства, виходячи з визнання абсолютної цінності особистості людини і її благополуччя. Саме по собі пізнання законів природи не може бути антилюдяним, але реалізація пізнань у техніці і методи використання цієї техніки можуть бути спрямовані як на користь, так і на шкоду природі і людству. Відповідальність за це несуть не наука, вчені й інженери, а певні соціальні групи - власники і політики, що використовують наукові досягнення з метою отримання економічних або політичних дивідендів. Таким чином, реалізація величезного потенціалу НТР може мати і негативну сторону.

З одного боку, досягнення інженерної діяльності забезпечують поліпшення умов матеріального існування сучасної людини, з іншого - служать основою для створення індустрії і технологій засобів масового ураження - ядерних, хімічних, електронних, космічних видів озброєнь. Похижацькому використовуються природні ресурси, накопичуються шкідливі відходи виробництв, що порушують рівновагу в навколишньому середовищі [17]. Фактично будь-яке втручання в природу порушує екологічну рівновагу. Питання тільки в тому, якими є наслідки втручання, чи можливо самовідновлення природи. Останнім часом найбільш гостро стоять про-

блеми енергозабезпечення, виснаження природних ресурсів і утилізації відходів.

Розвиток цивілізації вимагає постійного нарощування енергооснащеності людства. Уже в даний час на земній кулі виробляється, зберігається і використовується приблизно 10 млрд. тонн умовного палива за рік. Енергетичний потенціал такої кількості палива приблизно дорівнює потенціалу всієї наявної ядерної зброї і тому являє собою небезпеку для людства і біосфери. Порушується природний тепловий баланс планети, що може мати катастрофічні наслідки. Виходом з цього положення у майбутньому є розробка та реалізація принципів керування глобальними природними процесами, використання енергозберігаючих технологій, раціональних методів отримання енергії, введення принципу дотримання обов'язкової екологічної безпеки у всіх технічних розробках. Незважаючи на всі недоліки атомних електростанцій, необхідно визнати, що вони залишаться найбільш раціональними і перспективними у найближчі 50 - 60 років.

Темпи використання природних матеріалів безупинно зростають. Так, витрати міді добутої людством з 1960 р. до початку XXI в. складають 57% від загального видобутку протягом всього попереднього періоду історії. Для заліза даний показник складає 51%. Зростаючими обсягами йде видобування нафти, газу, рідкоземельних і інших матеріалів. Можна вже з достатнім ступенем вірогідності побоюватися виснаження природних запасів. Це означає, що необхідно переходити матеріалозберігаючих і безвідхідних технологій, розробляти синтетичні матеріали із заздальгідь заданими властивостями.

Особливу важливість одержує проблема утилізації відходів життєдіяльності. У теперішній час їх маса складає 600 млн. тонн у рік. Необхідно знайти способи їх повернення у біосферу й виробництво. Слід також додати, що можливості переробки відходів природою зменшуються в зв'язку з розширенням використовуваних площ земних територій.

Усе це свідчить про те, що метою наступного етапу історії інженерної діяльності повинні стати гуманізація розвитку цивілізації, переведення досягнень НТР XX в. на новий рівень, що забезпечить екологічне благополуччя людства. В зразках нової техніки повинні поєднуватися технічно і технологічно прогресивні, економічно доцільні, соціально бажані й екологічно безпечні рішення.

1.4. Технічна освіта як результат розвитку науки і техніки

Історія розвитку техніки – це історія праці, відкриттів і винаходів, створення й удосконалювання технічних об'єктів і технологій. Все це результат діяльності поколінь вчених і інженерів. Тому, інженерна освіта є важливою і невід'ємною частиною технічного прогресу. Існує також зворотний зв'язок - залежність розвитку техніки і виробництва від рівня інженерної освіти і знань фахівців-інженерів, що готуються на їх базі.

Внаслідок виникнення в техніці окремих напрямків і формування галузевих технічних наук, підготовка інженерних кадрів також отримала, в значній мірі, галузевий характер. Спеціальна інженерна освіта виникла в Європі наприкінці XVIII – на початку XIX вв. на базі наукового технічного знання, як наслідок потреб машинного виробництва.

У 1794 р. у Парижі була створена Політехнічна школа. Вона випускала артилеристів, морських, військових і цивільних інженерів, гідрографів і технологів. Школа давала фізико-математичну і технічну освіту. Велося викладання теоретичної і прикладної механіки. На початку XIX в. була введена дисципліна про будову машин, а в середині XIX в. - динаміка машин.

У 1829 р. у Парижі відкрилася Центральна школа мистецтв і мануфактур, що готувала цивільних інженерів, директорів фабрик, викладачів прикладних наук.

В Росії у XVIII в. було створено Гірниче училище, у 1803 р. відкрилося Практичне лісове училище, у 1810 р. - Інститут корпусу інженерів шляхів сполучення, у 1828 р. - Практичний технологічний інститут, у 1830р. - Архітектурне училище, у 1855 р. - Артилерійська академія. До початку XX в. у Росії працювали вже 15 вищих технічних навчальних закладів, у тому числі Московське вище технічне училище, Електротехнічний інститут, політехнічні інститути в Санкт-Петербурзі, Харкові, Києві, Львові, Новочеркаську [107]. Однак інженерів до 1917 р. не вистачало.

Під час індустріалізації в 20 - 30-х рр. у СРСР було відкрите значне число технічних вузів, які повністю забезпечували потреби країни в інженерних кадрах. Саме під їх керівництвом і за безпосередньою участю були створені вітчизняні металургія, машинобудування, енергетика, авіація, військова техніка, радіотехніка, суднобудування – все те, що дозволило нам домогтись перемоги у Великій Вітчизняній війні 1941 - 1945 рр. В післявоєнні роки зусиллями радянських учених та інженерів, на основі досягнутого високого рівня науково-технічного розвитку країни, створені атомна зброя, енергетика, ряд нових галузей техніки і забезпечений їх прогрес.

Роль інженерної діяльності в житті сучасного суспільства в умовах НТР зростає. Тому дуже важливою є організація відповідної підготовки фахівців, що займаються даною діяльністю.

Інженерна освіта на початку XXI в. ускладнилась. Вона стала більш універсальною, включає основи суміжних технічних напрямків і наук - психології інженерної діяльності, технічної естетики, інженерної екології, а також економіки. Це пояснюється взаємозв'язком різних галузей техніки і промисловості, поєднанням у виробничих процесах різних методів впливу на предмет праці на основі використання наукових досягнень XX в. Вказане вимагає відповідного розширення професійних знань інженерів. Відбуваються зміни й у методах їх навчання. Можливості сучасних технічних засобів, що включають комп'ютери різного призначення, дозволяють створювати системи імітаційного моделювання, системи тренування і навчання

- тренажери. У поєднанні з традиційними методами це забезпечує інтенсифікацію навчання, підвищення його якості і інформативності. В наш час економіка країни потребує фахівців-інженерів трьох категорій (напрямків підготовки): виробничників, дослідників та системотехніків.

Інженери-виробничники виконують функції технологів, організаторів виробництва й експлуатаційників. В процесі їх підготовки основна увага приділяється практичним знанням та навичкам.

Інженери-дослідники - розроблювачі, зв'язані з науково-дослідницькою та дослідно-конструкторською роботою. Фахівці даної категорії повинні мати глибокі знання у своїй і суміжних галузях техніки, особистий професійний досвід і вміння узагальнювати досвід інших, знати межі свого знання, мати інтуїцію й вміння приймати нетрадиційні рішення, уміти з великої кількості вимог до нової техніки виділити головні, діалектично вирішувати протиріччя в конкретних технічних задачах, мати здатність знаходити прості моделі складних машин і задач, доступні фізико-математичному аналізу, і, нарешті, вміти працювати в колективі.

Задача інженерів-системотехніків - організація і керування складною інженерною діяльністю, комплексні дослідження і системне проектування. Для підготовки таких спеціалістів важливі і характерні міждисциплінарні зв'язки і гуманітарні знання (включаючи економіку, екологію й історію інженерної діяльності). Інженер-системотехнік повинен мати широку ерудицію для розробки елементів складних систем і об'єднання їх в єдине ціле. Він повинен поєднувати знання вченого, конструктора і менеджера для забезпечення спільної роботи фахівців різного профілю. Професійна підготовка таких інженерів включає знання і навички, пов'язані із предметним змістом спеціальності, її метою і задачами. Зв'язок інженерної діяльності з ринковою економікою вимагає від інженера знання маркетингу і систем збуту, врахування соціально-економічних факторів, психології споживача, а не тільки технічної сторони задачі.

Для розв'язання сучасних науково-технічних задач в ряді випадків потрібні глибокі наукові знання і системний підхід. Зростання могутності техніки і її ролі в житті людства гостро порушили питання про відповідальність інженерів за використання розроблювальної техніки, дотримання технологічної дисципліни, знання наслідків її порушення, вміння керувати технікою. Інженер зобов'язаний оцінювати результати своєї діяльності з точки зору забезпечення екологічної безпеки і соціальної доцільності. Мета інженерної діяльності - реалізація багатогранних потреб людини за допомогою технічної продукції. Тому проблеми професійної етики і соціальної відповідальності інженера перед суспільством виходять на перший план і вимагають юридичного оформлення.

1.5. Основні закономірності розвитку техніки

Розгляд еволюції техніки дозволяє сформулювати такі основні закономірності і залежності:

1. Хід технічного прогресу відбиває потреби суспільства, соціально-економічні фактори, взаємодію структури виробництва, керування і системи господарських відносин, розвиток фундаментальних, соціальних і технічних наук, рівень освіти, творчий потенціал інженерного корпусу.

2. Удосконалювання машин відбувається відповідно до пізнаних законів природи на основі виробничих відносин, вимог і кон'юнктури ринку збуту, відновлення матеріальної бази виробництва, технології виготовлення і структури виробів, а також використання нових фізичних принципів дії.

3. Розвиток техніки відбувається в результаті взаємного впливу всіх сфер життєдіяльності суспільства, включаючи науку, філософію, політичну ідеологію, мораль, мистецтво і т.д. як безпосередньо, так і через економічні відносини.

4. Розвиток техніки і технології відбувається нерівномірно. При цьому періоди поступових еволюційних змін чергуються з періодами прискорених глибоких революційних перетворень. Частота проходження періодів прискореного розвитку має тенденцію до збільшення, а час від моменту появи технічного винаходу до його об'ємного промислового впровадження прогресивно зменшується.

5. У ході розвитку техніки відбувається зростання наукомісткості виробів, ускладнення їх конструкції і технології виготовлення, збільшення змінюваності виробів і технологій.

6. Розвиток техніки обумовлює на кожному етапі необхідність удосконалювання організації економіки, систем господарських і соціальних відносин, управління й освіти.

7. Радикальні зміни в сфері технічного знання впливають на формування наукової картини світу, що синтезує найважливіші досягнення природних, технічних і соціальних наук. З іншого боку, перетворення фундаментального природничонаукового знання в прикладне приводить до змін в техніці і є центральною методологічною проблемою технічних наук.

8. У ході технічного прогресу відбувається інтеграція в єдину систему науки, техніки і виробництва. Протиріччя, що виникають у цій системі, стимулюють розвиток усіх її складових.

9. У процесі розвитку й інтеграції різних напрямків інженерної діяльності виникають граничні галузі знання, у тому числі техніко-гуманітарної спрямованості (інженерна психологія, технічна естетика, інженерна екологія і т.д.).

10. Розвиток техніки впливає на всі сфери життєдіяльності людського суспільства і навколишню природу, що робить необхідним гуманітарний і екологічний контроль за ходом науково - технічного прогресу, створення і розвиток екологічно чистих виробництв, матеріало- і енергозберігаючих технологій.

2. Розвиток енергетики та енергетичних машин

2.1. Первинні природні джерела енергії та еволюція їх використання

Енергетика - галузь техніки, задачами якої є використання первинних природних видів енергії, створення та експлуатація енергетичних машин і пристроїв для перетворення і передачі енергії на відстані.

Енергія - властивість, здатність до виконання механічної роботи, забезпечення хімічних перетворень або вироблення теплоти.

Енергетика є частиною техносфери, яка забезпечує функціонування останньої. Джерела енергії - природа і її явища: м'язова сила живих істот, сонячні промені, вітер, вода, що рухається, теплота надр Землі, згоряння палива, теплота ядерного розпаду і синтезу.

Названі джерела існують у природі вічно, але їх практична розробка, створення нових типів енергетичних машин і способів перетворення енергії - реалізуються лише у випадку досягнення достатнього рівня розвитку фундаментальної науки, а також при наявності суспільної потреби і відповідно до неї.

Кожному етапу розвитку суспільства і виробництва відповідають свої особливості енергетики, використовувані види природних джерел енергії, типи енергетичних машин і пристроїв.

Приблизно за 400 тис. р. до н.е. людина опанувала вогнем - енергією сонця, акумульованою в біомасі. Під час неоліту - 4 тис. років до н.е. - почалась трудова діяльність людства, в процесі якої використовувалась в основному енергія самої людини.

За три тис. р. до н.е. люди почали використовувати тварин у землеробстві, а пізніше - запрягати їх у візки на колесах. У цей же час з'явилися ремесла - гончарна справа, ткацтво, вироблення знарядь праці, виплавка міді і т.д.

На етапі існування рабовласницького ладу (на Сході даний етап тривав з кінця IV до початку II тисячоріччя до н.е., у Грузії - з V по IV вв. до н.е.) основним джерелом енергії, що використовувався, була сила рабів. Раби прокладали зрошувальні канали, осушували землі, зводили грандіозні спорудження (наприклад, єгипетські піраміди), займалися ткацтвом, добували золото і т.д. Поширення рабської праці прискорило відокремлення ремесла від землеробства. Рабовласники звільнилися від фізичної праці, переклали її на рабів і, таким чином, змогли зайнятись розумовою діяльністю. В результаті виникли філософія і інші науки.

Розвиток ремесел привів до створення перших технічних пристроїв - гончарного круга, ткацького верстата, підйомних пристроїв - блоків, водопідйомних коліс, млинів. Однак ремесло удосконалювалося на основі фізичної сили рабів і техніка виробництва залишалася на низькому рівні.

Поступово рабство зживало себе. Повстання рабів, міжусобиці, напади варварів привели до закінчення епохи "живої енергетики". На зміну рабовласницькому способу виробництва прийшли феодальні форми.

Ремісничче виробництво у феодальному суспільстві залежало від мускульної сили, уся техніка ремесла ґрунтувалася на використанні ручної праці. Поступово з'явилися кооперація ремісників і мануфактурні підприємства (XIV - XV вв.), що викликало необхідність у нових джерелах енергії. Пошуки їх привели до широкого впровадження вітрових та водяних коліс.

Енергія вітру використовувалася і значно раніше. Перші фінікійські вітрильники плавали біля східних берегів Середземного моря вже в III тисячоріччі до н.е., а розквіт вітрильних суден наступив у X - XVII вв.

Водяні колеса, що оберталися рабами з III тисячоріччя до н.е. установлювалися для підйому води на Нилі, Євфраті, Янцзи. Древні греки і римляни використовували водяне колесо як двигун для привода насосів і млинів. В II в. водяні млини були вже достатньо поширеними. Їх будували і для виконання різноманітних сільськогосподарських робіт, наприклад, для вичавлювання олії. У Давньому Римі при імператорі Велізарії плавучі водяні колеса качали воду з Тибру. Водяні млини в Центральній Європі й Англії в VI -VIII вв. одержали помітне розповсюдження, але тільки в мануфактурний період водяне колесо стало головним двигуном у промисловості.

Економічні зв'язки континентів, установлені в результаті великих географічних відкриттів, інтенсифікація торгівля вимагали усе більших об'ємів товарів, для чого необхідно було розширювати виробництва й оснащувати їх машинами з механічним приводом. Потреба в металі привела до розвитку гірничої справи. При цьому повинні були бути вирішені задачі підйому добутої породи і відкачки води. Необхідність у збільшенні потужності машин привела до зростання розмірів коліс, зміні їх конструкції, появи гребель, що збільшують напір.

До середини XVIII в. з'явилася велика кількість фабрик із приводом верстатів від водяних коліс. ККД водяного колеса сягав 70%. Їх експлуатували на текстильних і металообробних фабриках, залізобудівних заводах і т.д. Однак використання коліс мало свої недоліки. Насамперед, вони були тихохідними, а прискорювальні передачі, ще неможливо було виготовляти. Крім того, енергію коліс можна було застосовувати не у всіх місцях. Їх установлювали, в першу чергу там, де були швидкі і повноводні ріки. Шахти і кар'єри, як правило, залишалися без водяної енергії. Ряд труднощів був викликаний зміною пір року – зменшенням або збільшенням витрат води залежно від сезону, замерзанням рік.

Вітряки з'явилися пізніше млинів. У Європі про них вперше згадують в XII в. Спочатку вітряки мали лопати, що оберталися в горизонтальній площині і тільки в XIV - XVI вв. їх почали оснащувати вертикальними вітровими колесами.

Вітряк був дешевшим водяного колеса, але кількість виробленої ним енергії залежала від мінливого енергоносія - вітру. Вітряки поширилися, в першу чергу, в районах, де не було швидких рік - у Німеччині, Україні,

Голландії. Однак і вони не могли бути універсальним двигуном для промисловості.

Водяна енергетика прискорила розвиток виробничих сил, але була не в змозі встигати за ними. Це порушувало питання про пошуки більш ефективного джерела енергії.

З кінця 60-х рр. XVIII в. фабрична система вимагала нового потужного двигуна, універсального за використанням і цілком керованого. Даний двигун повинний був звільнити промисловість від прив'язки до природних джерел, дозволити створювати виробництво в будь-якому місці - у містах, поблизу родовищ вкопної сировини. Найактуальнішою проблемою тих часів була розробка двигуна з джерелом енергії нового виду.

Таким джерелом наприкінці XVIII - XIX вв. стала теплота згоряння палива, перетворена в енергію водяної пари, а потім у механічну роботу за допомогою парової машини. Незважаючи на двоступінчасте перетворення енергії, що знижувало загальний ККД, парові установки завоювали світ і стали основним двигуном виробничих і транспортних машин у XIX в. Протягом усього XIX в. йшло поліпшення характеристик парових двигунів. Удосконалювалися котли, підвищувався тиск пари, будувалися машини багаторазового розширення, покращувався паророзподіл, підвищувався ККД установок і їх потужність. Остання у заводських машин досягла 3000к.с., у паровозів - 1000 к.с., у суднових установок - 30000 к.с.

У період 1830 - 1870 рр. значний розвиток знов одержали гідравлічні двигуни. Витиснення водяного колеса універсальним паровим двигуном не виключало використання енергії води там, де це було зручним. Але при цьому водяний двигун перетерпів суттєві зміни: швидкість обертання збільшилась до 4 - 10 об/хв, значно зросла потужність.

До 90-х рр. XIX в. груповий привод від паросилових установок з поршневыми паровими машинами, складними системами пасових передач і трансмісійних валів був основою машинного капіталістичного виробництва. Однак наприкінці XIX в. наступила криза заводської енергетики з механічними розподільними системами. Вони вже не могли забезпечити подальшого якісного зростання виробництва [16].

Вихід був знайдений у переході до більш гнучкого і досконалого типу привода – електричного привода. Технічний прогрес енергетики наприкінці XIX в. став можливий у результаті поступового накопичення наукових знань в області електромагнітних явищ. Дослідження електрики і магнетизму, створення теорії електрики привели до розробки генераторів електричного струму і електродвигунів. Наприкінці XIX – на початку XX вв. на базі паросилових і гідравлічних турбін, електрогенераторів, що перетворюють механічну енергію в електричну, систем передач електроенергії й електродвигунів виникла електроенергетика. Це дозволило відокремити установки, що виробляють енергію, від її споживачів і перейти від групового привода машин до індивідуального. Потреба в передачі енергії і її розподілу викликала створення енергосистем, а потім і їх об'єднання.

Наприкінці XIX – на початку XX вв. зроблений новий крок до удосконалювання використання енергії палива - були розроблені і почали широко впроваджуватися, особливо на транспорті - в автомобілях і літаках - двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ). В них було реалізоване одноступінчате перетворення енергії згоряння палива в механічну енергію. Внаслідок високої конструктивної досконалості ДВЗ став основним типом двигуна транспортних засобів і стаціонарних установок невеликої потужності.

Ще одним типом теплових двигунів є газові турбіни і турбореактивні двигуни, які починаючи з 40-х рр. широко використовуються на транспорті (повітряному, водному та наземному), в енергетиці та промисловості.

XX в. ознаменований успіхами в дослідженні атома і використанні його енергії. Роботи учених багатьох країн стали основою сучасної атомної техніки. Перша неконтрольована ядерна реакція під час вибуху атомної бомби була практично здійснена в США в 1945 р., а потім в СРСР в 1949 р. 27 червня 1954 р. в СРСР, у м. Обнинську пущена перша атомна електростанція - реалізована керована ланцюгова ядерна реакція. У теперішній час атомна енергетика бурхливо розвивається в усьому світі.

У XX в. споживання людством енергії значно виросло. Якщо прийняти за одиницю енергоспоживання первісної людини, яка щодня витрачала $8 \cdot 10^6$ Дж енергії, то в 1920 р. середнє світове споживання на 1 людину в день складало вже 4, а у 1980 р. – 18 одиниць. При цьому в економічно розвинених країнах воно перевищило 50, а в США досягло 104...112 одиниць. Для забезпечення такого зростання постійно нарощується енергооснащеність суспільства, причому у майбутньому більш важливим є не екстенсивне, а інтенсивне її збільшення, за рахунок удосконалення методів використання природних енергоджерел, прискорення розвитку перспективних галузей енергетики (атомної, гео- і геліоенергетики) і т.д.

В 2-й половині XX в. разом із енергією води, що рухається - виробляється на гідроелектростанціях, досить інтенсивно використовувалась енергія палив - органічного (вугілля, нафти, газу) і ядерного (уран, плутоній) - виробляється відповідно на теплових і атомних електростанціях. Названі палива відносяться до непоновлюваних енергетичних ресурсів, темпи витрат яких постійно зростають. У зв'язку із останнім, виникли побоювання, чи не вибухнуть енергетична й екологічна кризи вже в XXI в. І хоча ці побоювання позбавлені достатніх наукових основ, проте з 70-х рр. XX в. проводилися всебічні дослідження довгострокових перспектив енергетики.

Було визнано, що в умовах планети з кінцевими запасами непоновлюваних ресурсів і обмеженими допустимими масштабами використання поновлюваних ресурсів, зростання енергетики й енергоспоживання (як і збільшення населення планети) не можуть продовжуватися довгостроково, а повинні поступово стабілізуватися на певному рівні. Збільшення споживання непоновлюваних запасів палива вже призвело до забруднення повітря і води, надлишку пилу і вуглекислого газу в атмосфері, зростання парникового ефекту.

Усі види енергії, що використовуються людством, у кінцевому рахунку перетворюються в теплоту. Якщо ж її кількість досягне 5% від сумарної енергії сонячної радіації, то можуть відбутися необоротні зміни теплового балансу і клімату планети. Виходячи з цього повинна будуватися загальна стратегія енергетичного розвитку світу і здійснюватись перехід на нову технічну і технологічну основи, що поєднують раціональне використання природних джерел енергії з енергозберігаючими й екологічно чистими технологіями [17].

Дослідження показали, що крім поновлюваного органічного палива, людство може використовувати практично необмежені ресурси сонячної радіації, величезні геотермальні, ядерні і термоядерні ресурси, енергію морських припливів і т.д.

Величина світових потенційних ресурсів поновлюваних природних джерел енергії (ППДЕ), принципово доступних для практичного використання, багаторазово перевищує всі перспективні потреби людства. Одночасно слід зазначити, що концентрація багатьох ППДЕ, що припадає на одиницю площі поверхні Землі, низька, тому, їх розробка при існуючих технологіях потребує великих питомих витрат на одиницю встановленої потужності. Однак удосконалювання технологій використання ППДЕ, корисно і виправдано, як у найближчому майбутньому, так і в перспективі.

Вже в наш час можливе широке використання сонячної, геотермальної, вітрової, припливної енергії, а також енергії біомаси.

Час дешевої енергії закінчується. В міру виснаження легкодоступних джерел енергії, вона стає усе більш капіталомісткою. Це відноситься не тільки до атомної (термоядерної) енергії, енергії гелію- і геотермальних джерел, але і до нафти і газу. Видобуток їх з глибинного і полярного шельфів, а також транспортування вимагають значних капіталовкладень. Конкурентоздатність технологій ППДЕ буде зростати залежно від виснаження та подорожчання традиційних енергетичних ресурсів, а також від темпів науково-технічного прогресу.

Очевидно, що у ХХІ в., поряд із продовженням та інтенсифікацією розробки викопних енергоресурсів, буде зростати частка використання невичерпаних джерел енергії, що стануть основними в другій половині ХХІв. За даними світової енергетичної конференції [13] обсяги виробництва первинних енергоресурсів до 2020 р. будуть мати величини, приведені в табл. 2.1. У зв'язку із вищесказаним, повинні значно збільшитися витрати на розробку технологій використання поновлюваних енергоресурсів і створення нового покоління енергетичних машин. Нові технології приведуть до утворення міжнародних енергосистем і зростання енергооснащеності людства в цілому, до поширення використання електроенергії на виробництві, в побуту і на транспорті. Рішення проблем енергетики може бути отримано лише при поєднанні удосконалювання способів одержання енергії з енергозберігаючими технологіями.

Таблиця 2.1

Потенційне виробництво первинних енергоресурсів, ЕДж*

Ресурси	рік		
	1985	2000	2020
Вугілля	115	170	259
Нафта	216	195	106
Газ	77	143	125
Ядерна енергія	23	88	314
Гідроенергія	24	34	56
Нетрадиційні нафта і газ	0	4	40
Поновлювані (сонячна, геотермальна енергія, енергія біомаси)	33	56	100
Усього **	488/16,7	690/23,6	1000/34,2

*1ЕДж = 10^{18} Дж

** У знаменнику - у млрд. т. умовного палива

2.2. Гідроенергетика

В древніх землеробських державах за III тис. рр. до н.е. на Нілі, Євфраті, Янцзи для подачі води на поля використовувалися плавучі водяні колеса, що приводили в дію раби. У I в. до н.е. римський письменник Марк Вітрувій Поліон у книзі "Архітектура" описав самодійне водопідйомне колесо, яке окрім ємностей, що піднімають воду, мало лопаті, які силою води обертають колесо [15, 16, 20].

Пізніше водяне колесо одержало поширення в приводах млинів. Це відзначив історик Страбон. Від древніх греків млин перейшов до древніх римлян і з II в. досить помітно розповсюдився. Водяне колесо стало використовуватися для вичавлювання олії і подачі води у водопровід Рима.

У феодальний період історії водяні колеса поширилися в Центральній Європі. Перше згадування про водяний млин на р. Мозель відноситься до 340 р. Наприкінці VI в. млини з'явилися у Франції, у VIII в. - в Англії.

З XI - XIII вв. водяне колесо почало використовуватися для шахтного водопідйому і привода технологічних машин - шаповалень, паперових та дробильних млинів, повітрорудних міхів, лісопилень і т.п. Водяні колеса стають основним двигуном для мануфактурної промисловості. Ставилися вони не тільки на ріках. У 1044 р. на узбережжі Адріатичного моря були споруджені колеса, що приводились в рух енергією припливу. Пізніше вони з'явилися в Англії (Дувр, 1066 р.), Франції, Росії й Америці. Збереглася охоронна грамота Івана Грозного видана Микиті Павлову на припливні млини в Усть-Золотиці на березі Білого моря. В Америці такий млин був побудований у 1640 р.

Поступово, у зв'язку із необхідністю підвищення ефективності водяного колеса як джерела механічної енергії відмовилися від його установок у вільному потоці води і перейшли до спорудження гребель, що збільшу-

ють напір води. У залежності від величини напору застосовувалися три типи водяних коліс (рис. 2.1):

- нижньобійні (вільні) із ККД 30...35%;
- середньобійні з ККД 60...65%;
- верхньобійні (наливні) із ККД 60...65% (при виконанні в металі - 75...80%).

Потужність коліс досягала декількох десятків кіловат, частота обертання - 10 об/хв. До XVIII в. поступово відбувся перехід до верхньобійних коліс, що виготовлялись в основному з металевих елементів.

Водяні колеса приводили в дію досить складні і потужні споруди. У 1582 р. на ріці Темзі Пітером Морісом споруджена Лондонська водопідйомна установка, яка працювала від п'яти підливних коліс діаметром 7 м і перекачувала 18000 м³ води за добу. У 1682 р. А. Де Віль і Р. Салем побудували на р. Сені в Парижі установку з 13 коліс діаметром 8 м і загальною шириною 34 м. Колеса приводили 235 поршневих насосів продуктивністю 3000 м³ води за добу з напором 163 м для живлення фонтанів Версаля і Марлі.

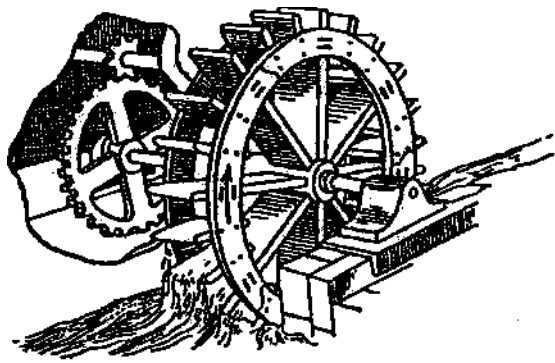
Потужне гідротехнічне спорудження побудував у 1783 - 1789 рр. К.Д. Фролов на алтайських Коливано -Воскресенських рудниках. Воно включало греблю висотою 17,5 м і довжиною 128 м, а також колеса діаметром 4,3 і 17 м, що приводили лісопилну раму, машину для підйому руди з глибини 102 м і насоси для відкачування води з глибини 213 м.

Машини Кренгольмської мануфактури в м. Нарва приводилися від водяного колеса діаметром 10 м, шириною 8 м і потужністю до 450 к.с. В усті р. Клайд (Шотландія) на папіропрядильні працювало металеве колесо діаметром більше 21 м і шириною 4 м.

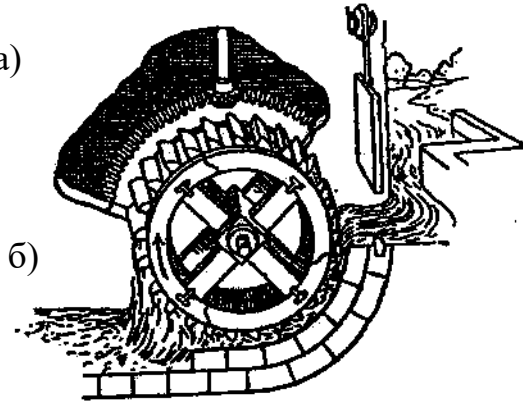
Незважаючи на окремі успіхи в створенні і використанні водяних коліс, назрівала енергетична криза, пов'язана з розбіжністю місця розташування джерел гідравлічної енергії і сировини з промисловими підприємствами, рудниками і шахтами. Розвиток виробництва вимагав потужного, універсального і керованого джерела енергії, що могло бути легко доставлене до місця використання і дозволило би звільнити промисловість від прив'язки до рік. Дана задача була вирішена зі створенням теплового (парового) двигуна.

Втративши своє монопольне положення джерела енергії, водяне колесо та гідроенергетика зберегли свої переваги там, де це дозволяли природні умови. За ККД і вартістю експлуатації гідродвигун був набагато вигіднішим парового, тому що не вимагав витрат на паливо. Згодом продуктивність і число обертів технологічних машин підвищилися і привод від звичайних водяних коліс вже не відповідав вимогам. Технічні параметри гідродвигуна - число обертів, потужність та інші - потрібно було також поліпшувати.

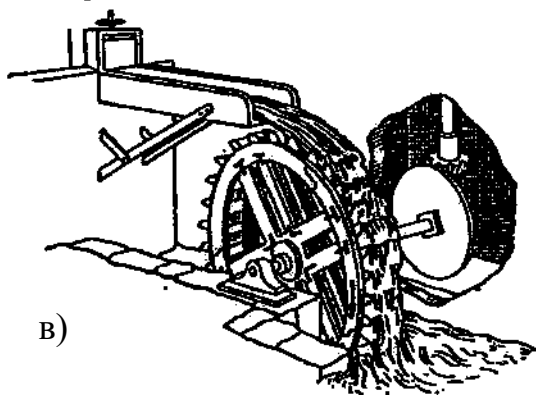
У XVII в. з'явилося горизонтальне водяне колесо з ковшеподібними лопатями - прообраз активної турбіни. Швидкість його була вища, ніж у



а)



б)



в)

Рис. 2.1. Типи водяних коліс: а – нижньобійне; б – середньобійне; в - верхньобійне

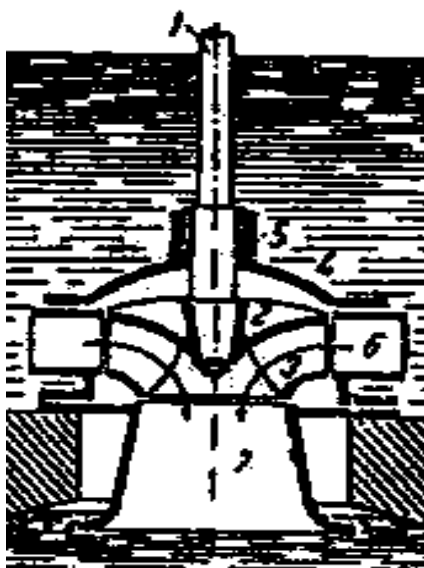


Рис. 2.4. Радіально-осьова реактивна турбіна Френсіса: 1 – вал; 2 – робоче колесо; 3 – лопаті; 4 – кришка; 5 – ущільнення; 6 – лопаті всмоктувального апарата; 7 – вихід води

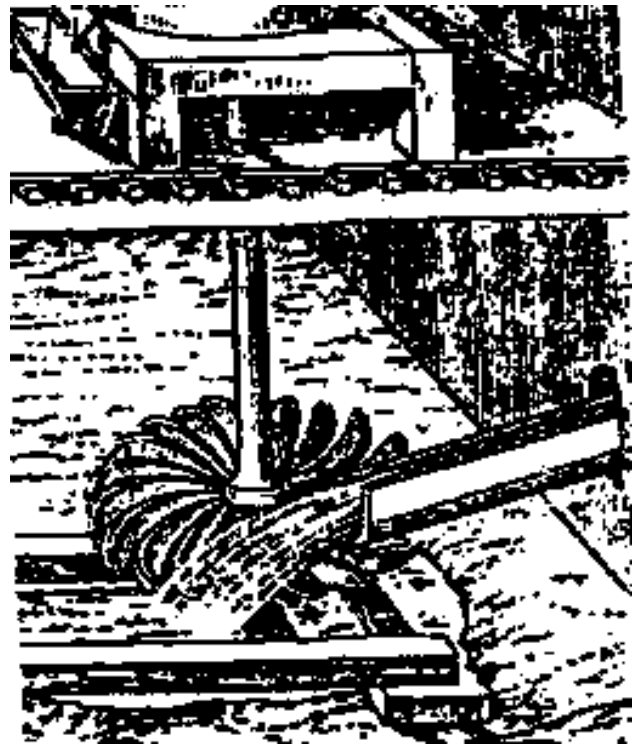


Рис. 2.2. Водяне колесо з ковшевіми лопатями

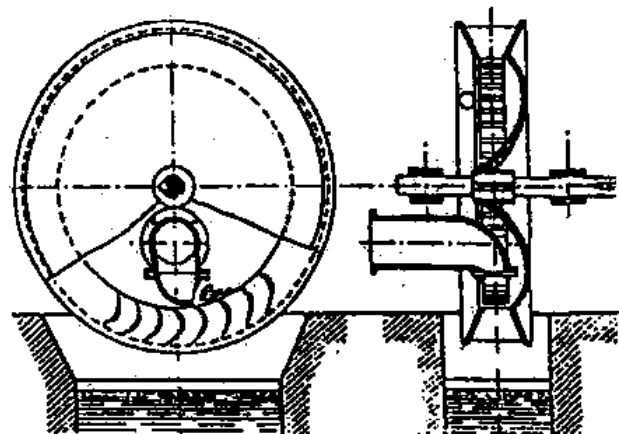


Рис. 2.3. Радіальна активна турбіна Швамкруга

звичайного колеса. Д. Бернуллі (1700 - 1782 рр.) досліджував динаміку водяного потоку й навів залежності для потенціальної (енергії тиску) і кінетичної (енергії швидкості) складових енергії потоку на прикладі водяних коліс з ковшеподібними лопатями. У 1745 р. Баркерс у Великобританії і Я. Сегнер (1704 - 1777 рр.) в Угорщині запатентували реактивну турбіну з підвищеним числом обертів. У 1751 -1755 рр. Л. Ейлер (1707 -1783 рр.) проаналізував турбіну Сегнера і запропонував варіант реактивної турбіни з напрямним апаратом, що підвищив її ККД. У 1832 р. за ініціативою К. Бюрдена (1790 - 1873 рр.), який ввів термін "турбіна", був оголошений конкурс на кращий гідравлічний двигун. У 1834 р. учень Бюрдена Б. Фурнейрон (1802 - 1867 рр.) сконструював швидкохідну реактивну турбіну з напрямним апаратом і внутрішнім підведенням води радіально від центра турбіни. ККД агрегата досяг 70%. Турбіна широко використовувалася в XIX в. Аналогічний апарат в 1837 р. побудував на Алопаєвському заводі (Урал) І.Е. Сафонов (1806 - 1850 рр.). У 1838 р. у США Ховд створив радіальну реактивну турбіну із зовнішнім підведенням води й усмоктувальною трубою, що дозволило розмістити робоче колесо над нижнім рівнем води і підвищило ККД.

У 1838 р. Ж. Понселе (1788 - 1867 рр.) опублікував теорію турбін, що послужило поштовхом до створення нових конструкцій. У 1837 р. К. Геншель (1780 - 1861 рр.) у Німеччині й у 1843 р. Жонваль у Франції запропонували реактивні осьові турбіни з напрямним апаратом над робочим колесом.

Слідом за ними у 1850 р. з'явилися активні турбіни: радіальна - Швамкруга (рис. 2.3) в Німеччині і осьова - Жирара у Франції.

У 1847 - 1848 рр. Д. Френсіс (1815 - 1892 рр.) доопрацював конструкцію Ховда і побудував радіально-осьову реактивну турбіну, яка отримала широке розповсюдження (рис. 2.4).

У турбіні Френсіса струмені води заходять через всмоктувальну трубу і далі змінюють напрямок руху з радіального на осьовий за допомогою спеціально вигнутих лопатей. Турбіна Френсіса модернізувалася Свайном в 1869 р., Корніком у 1876 р. і іншими. У результаті був створений ряд апаратів різної швидкохідності. Модифікації коліс радіально-осьових турбін показані на рис. 2.5.

У 1880 р. професор Фінк запропонував радіальний напрямний апарат з лопатей, що повертаються і регулюють тим самим витрати води в турбіні. Це підвищило ККД турбін, а також ефективність їх регулювання. У 1886 р. на заводі Фойта (Австрія) була виготовлена спіральна камера підведення води до напрямного апарата. Її вигляд показаний на рис. 2.6.

Для великих напорів води в 1880 р. А. Пельтоном (1829 - 1908 рр.) була спроектована активна ковшова турбіна (робочий напір води до 1800м). Робоче колесо цієї турбіни показане на рис. 2.7.

Таким чином, в результаті удосконалення гідравлічних турбін у 1871 - 1900 рр. і створення електрогенераторів, з'явилась можливість розпочати

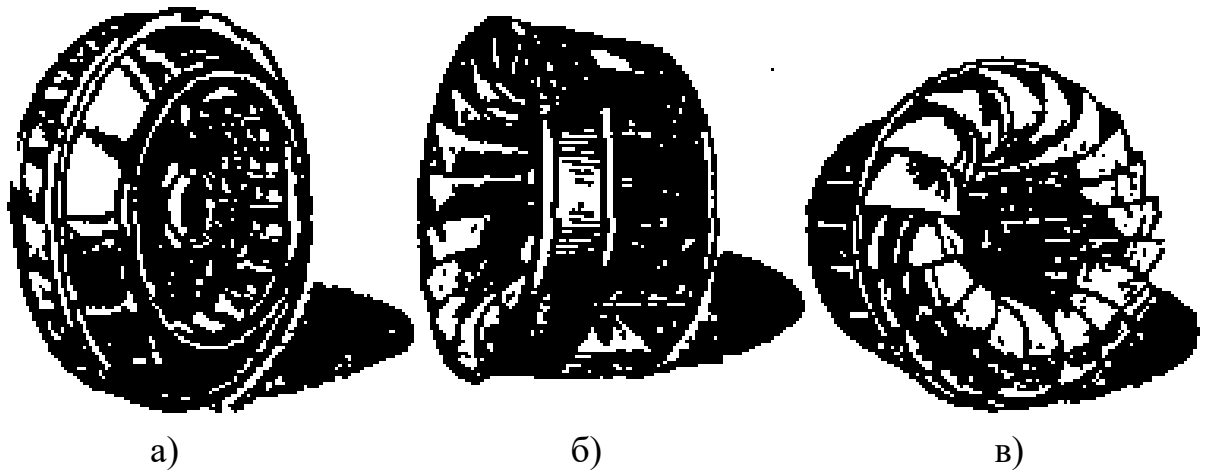


Рис. 2.5. Робочі колеса радіально-осьових турбін: а) – тихохідне; б) - нормальне; в) - швидкохідне

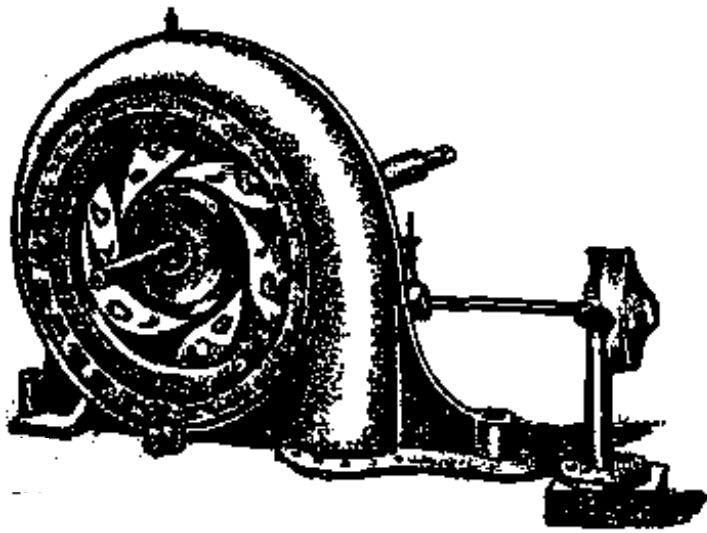


Рис. 2.6. Перша турбіна зі спіральною камерою (1886 р.)

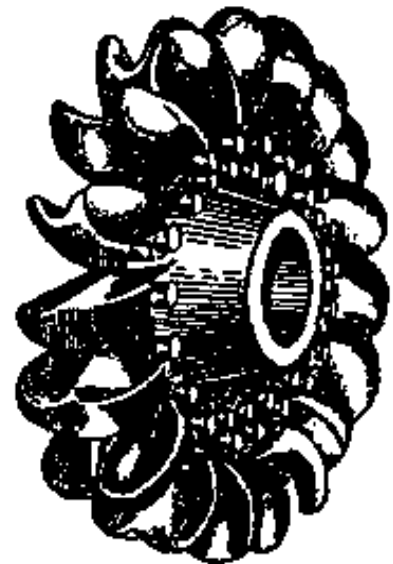


Рис. 2.7. Робоче колесо струйно - ковшової турбіни

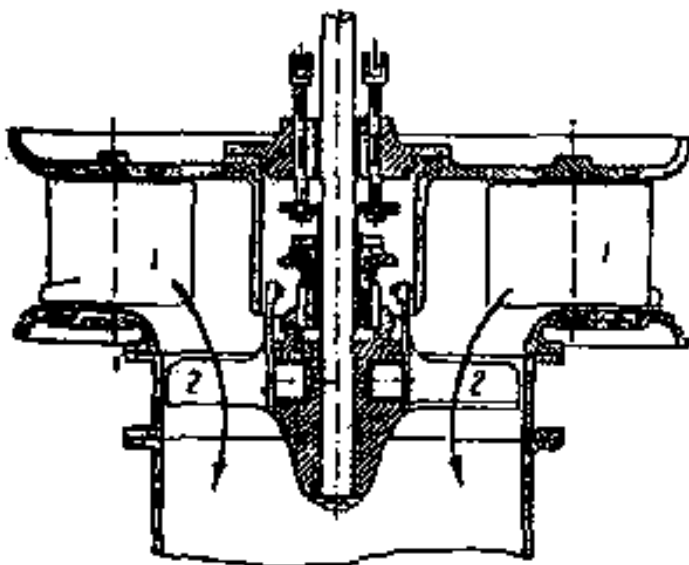


Рис. 2.8. Осьова поворотно-лопатєва турбіна Каплана: 1 – лопаті регулювання; 2 – поворотні лопаті турбіни

будівництво гідроелектростанцій (ГЕС). Останнім кроком в поліпшенні конструкції гідротурбін була розробка В. Капланом (1876 - 1934 рр.) у 1912р. осьової реактивної турбіни пропелерного типу з поворотними лопатями (рис. 2.8). Аналогічні турбіни запропонували Наглер і Ловачек.

В даний час широко використовуються поворотлопатевої і пропелерні апарати. Прикладом перших можуть бути турбіни Саяно-Шушенської ГЕС, що мають при напорі 220 м і частоті обертання 93,8об/хв потужність 720 МВт і ККД 95,8%, прикладом других - турбіни Зейської ГЕС потужністю до 220 МВт при напорі 78 м і діаметрі робочого колеса 6 м. При напорі 27 м у складі капсульних агрегатів турбіна має коло діаметром 9,5 м і потужність 178 МВт (ГЕС Джердап-Залізні Ворота).

2.3. Вітроенергетика

Енергія вітру використовувалася вже за 3000 років до н.е., для приведення в рух вітрильників у Єгипті і Китаї. Ймовірно в той же самий час були побудовані перші вітряки. Вони мали барабанну або карусельну конструкцію (рис. 2.9) і були досить громіздкими. Використовувались на рівнинній місцевості з переважно незмінним напрямком вітру. В середньовічному рукописі 1270 р. [18, 20] зберігся опис подібних пристроїв.

У Європі вітряні двигуни з'явилися в XII в. - в 1105 р. був виданий дозвіл монастирю на будівлю вітряка. Але знайомий нам вигляд – колесо з лопатями, що обертається у вертикальній площині (рис. 2.10) - вітряки отримали значно пізніше. Особливо широко подібні пристрої “класичної” схеми використовувались в Голландії для приводу водяних насосів осушення низовин. Вітряні двигуни розповсюджувалися в першу чергу там, де не було рік і не можна було поставити водяне колесо - на рівнинах Німеччини, Італії, України, Голландії. Удосконалювання лопатевих вітряків привело до появи конструкцій двох типів - козлового і шатрового. У машини козлового типу вся вежа повертається на опорному стовпі. В шатровій конструкції вежа нерухома, а повертається верхня частина - намет з вітровим колесом. Звичайно козлові вітряки мають колесо діаметром 8...10 м і потужність до 6 к.с. Шатрові - колесо до 25 м і потужність до 25 к.с.

У зв'язку з тим, що сила вітру змінюється протягом доби і сезону, вітряки в якості привода придатні лише для незалежних робочих механізмів. Проте, і в XX в. вони експлуатувалися досить широко. Так, у Росії в 1914 р. працювало 250000 селянських вітряків загальною потужністю близько $1,4 \cdot 10^6$ кВт. У 20 - 30 рр. М.Є. Жуковським (1847 - 1921 рр.) була зроблена теорія вітродвигунів. Він довів, що їх максимальний ККД не може перевищувати 59,3%.

В роки, що передували Великій Вітчизняній війні, в СРСР широко використовувалися багатолопатевої вітродвигуни з діаметром колеса до 18м і потужністю до 30 кВт. У зв'язку з електрифікацією села в 60-х рр., вироб-

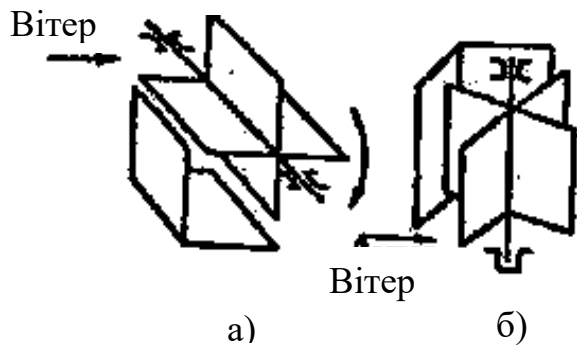


Рис. 2.9. Схеми вітродвигунів: а) – барабанного типу; б) – карусельного типу

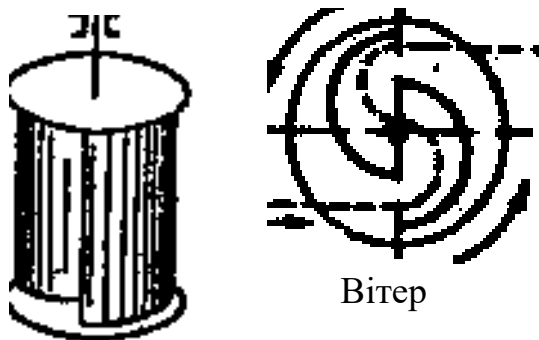


Рис. 2.11. Схема роторного вітродвигуна

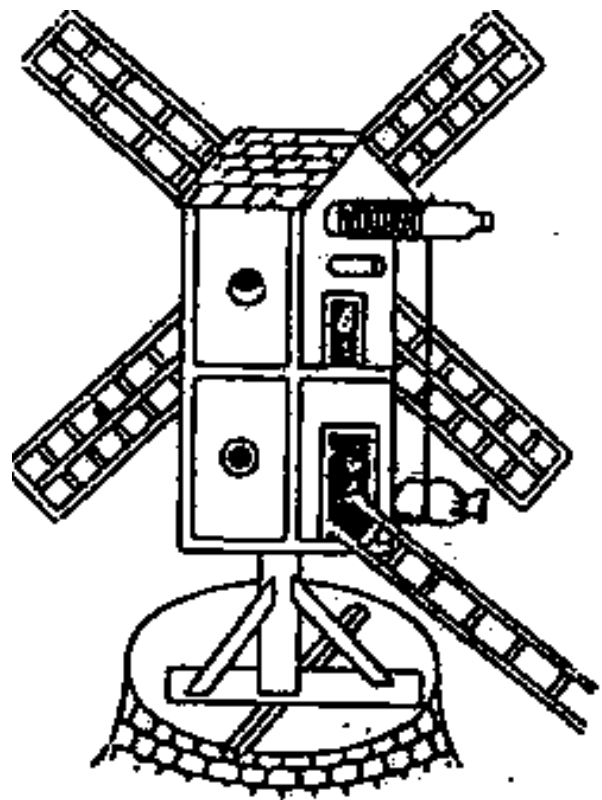


Рис. 2.10. Вітряк з підйомником для мішків

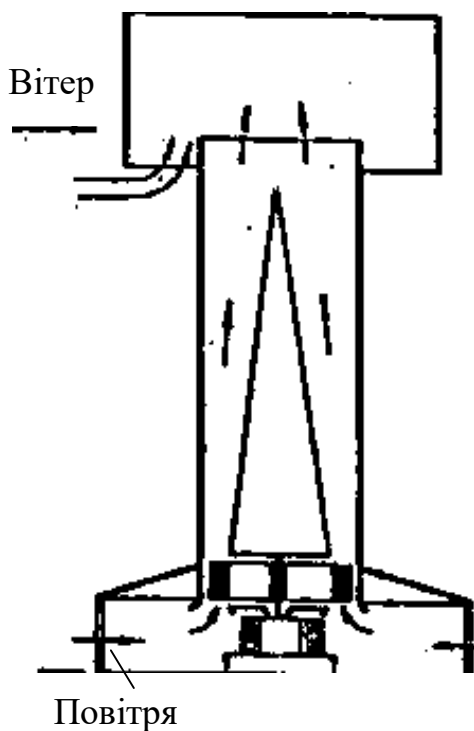


Рис. 2.12. Схема повітряно-турбінної установки з вітряним ежектором

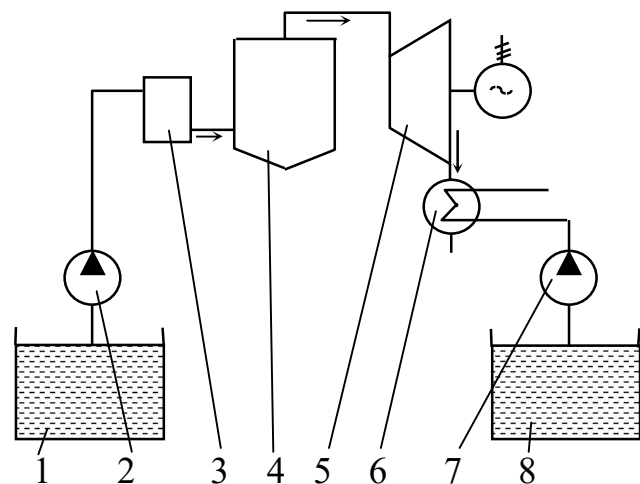


Рис. 2.13. Схема геотермальної електростанції: 1 – приймач гарячої води; 2 – насос гарячої води; 3 – газовідокремлювач; 4 – випарник; 5 – парова турбіна; 6 – конденсатор; 7 – насос; 8 – приймач охолодної води

ництво вітрової енергії в СРСР в основному припинилося. Енергетична криза 70-х рр. примусила повернутися до вітродвигунів.

В даний час вважається, що енергію вітру доцільно використовувати там, де його середньорічна швидкість не нижча 3 м/с. Оптимальною швидкістю вважається 5 м/с.

Починаючи з 1979 р. у СРСР випускалися вітродвигуни, дані яких приведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Технічні дані автономних вітроенергетичних установок

Параметр	Тип установки			
	АВЭУ-6	АВЭУ-12	АВЭУ-18	АВЭУ-24
Номінальна потужність, кВт	1...4	1...16	16...33	60...100
Робоча швидкість вітру, м/с	3...9	3,5...10	3,5...9,5	5...12
Конструктивні параметри: висота, м	7	12,5	16,5	24
діаметр колеса, м	6	12	18	24
число лопатей, шт.	2	2	3	3

Роботи зі створення вітроелектростанцій (ВЕС) ведуться в багатьох країнах. У США в 1979 р. у Клейтоні (штат Нью-Джерсі) побудована ВЕС з діаметром колеса 40 м і потужністю 20 кВт. В Канаді тоді ж ввійшла в лад ВЕС з роторним двигуном висотою 50 м і потужністю 200 кВт, схема якого показана на рис. 2.11. У Данії на півострові Ютландія споруджена ВЕС з колесом діаметром 60 м. У США розроблені проекти ВЕС з колесом діаметром 100 м і потужністю 2,5 тис. кВт. У Німеччині працює ВЕС "Гровіан - II" потужністю 5 тис. кВт. Випускаються також ВЕС на 1,5 кВт індивідуального використання.

У СРСР розроблялися роторні ВЕС потужністю до 30 тис. кВт.

Існує також ряд екзотичних проектів вітродвигунів - повітряно-турбінні з вітряним ежектором (рис. 2.12), аеростатні ВЕС, що працюють на висоті 8...10 км і т.п. Проте, сучасні ВЕС поки що не конкурентоздатні з електростанціями, в яких розробляються інші види джерел енергії. Необхідно підвищувати ККД вітродвигунів, знижувати їх металоємність і вирішувати проблему акумулювання енергії.

2.4. Геотермальні енергетичні джерела

Людство вже дуже давно знайома з виверженнями вулканів, гарячими джерелами води і гейзерами. Дотепер вірогідно не відома суть процесів, що відбуваються в глибинах нашої планети. Передбачається, що в центрі Землі знаходиться розплавлене ядро з температурою в декілька тисяч градусів. У зв'язку із цим, температура в шахтах і свердловинах зі збільшенням глибини на 30 м росте приблизно на 1°C. Є райони, в яких вказане зростання ще більше - до 2-х і більше градусів. У районах вулканічної ак-

тивності глибини, що мають температуру в 200...300°C, відносно невеликі [14, 18].

У світі відомо 4 типи родовищ глибинної теплоти:

- парогідротерми - родовища пари і пароводяної суміші, що самовиливається;
- гідротерми - родовища гарячої води, що самовиливається;
- термоаномальні зони з підвищеним температурним градієнтом;
- петрогеотермальні зони з нагрітими до високих температур сухими гірничими породами - розташовуються в районах вулканічної активності.

В даний час розробляються в основному перші два типи родовищ. При температурах води або пари більших 150°C вони застосовуються для вироблення електроенергії (ГеоТЕС), при 30...150°C - як джерела теплоти.

Відомо, що в Древньому Римі гаряча вода в терми Каракалли підводилася з-під Землі. У 1827 р. на півночі Італії (північна Тоскана) Ф. Лардереллі уперше використав для виробничих потреб гарячу воду з декількох свердловин.

Перша енергетична установка, в якій теплота підземної водяної пари перетворювалась у електроенергію, була побудована в м. Лардерелло в 1904 р. Вона складалася з парової машини потужністю 40 к.с. і електрогенератора. Пізніше парові машини ГеоТЕС замінили паровими турбінами, що дозволило підвищити їх ефективність. Нарощувались продуктивність і потужність станцій. Наприклад, ГеоТЕС в Лардарелло у 50-х рр. мала потужність 274 тис. кВт і споживала за годину 3000 т пари тиском 0,5 МПа при температурі 200°C зі свердловин глибиною 150...300 м. Схема електростанції показана на рис. 2.13. Аналогічні ГеоТЕС працюють у багатьох країнах.

Підземна енергія застосовується і для теплопостачання. Наприклад, в Ісландії м. Рейк'явік опалюється тільки за рахунок підземної теплоти.

У 1980 р. загальна потужність ГеоТЕС світу склала 2,5 млн.кВт, в 2000 р. - 17,6 млн. кВт.

В багатьох країнах розвідані значні запаси термальних вод, широкі термоаномальні зони, але освоєння їх енергії вимагає об'ємних проектно-конструкторських робіт і великих матеріальних витрат.

2.5. Геліоенергетичні джерела

Сонце - найдревніше джерело енергії, відоме людині. Своїм існуванням усе живе на Землі зобов'язане Сонцю. Людство використовує його енергію, сконцентровану в їжі й органічному паливі.

Потік променистої енергії, що падає на Землю протягом року, складає приблизно $1,6 \cdot 10^{18}$ кВт·год., що в 13000 разів більше сучасного світового енергоспоживання за цей же період. Однак на відміну від викопних палив і геотермальної енергії, сонячне випромінювання не може акумулюватися та зберігатися. Реалізований на початку ХХІ в. внесок геліоенергетики в загальний обсяг енерговиробництва мізерно малий, тому що доне-

давна вважалося більш доцільним використання енергії води, нафти, газу, вугілля і ядерного палива. Це пов'язано з тим, що щільність сонячного випромінювання досить низька - у середньому $0,25 \text{ кВт/м}^2$ біля земної поверхні. Крім цього, слід врахувати нерегулярність надходження енергії, що обумовлено залежністю її величини від погоди (хмарності, температури), а також часу доби.

Багато століть людина використовувала сонячне тепло для сушіння овочів, фруктів, деревини, випарювання солі з води.

В одній з древньоєгипетських легенд XV в. до н.е. розповідається про статую фараона Аменхотепа III і кам'яного птаха, що видавали при сході Сонця звуки. У XVIII в. німець А. Кірхер пояснив це явище нагріванням сонячними променями повітря в порах каменю. Повітря розширювалося і виходило через пори назовні, викликаючи звуки.

За свідченням Плутарха при облозі Сіракуз Архімед за допомогою великої кількості металевих дзеркал, що концентрували сонячне світло, спалив частину римського флоту з 65 галер на відстані польоту стріли - близько 200 м. У 1973 р. дане свідчення було перевірено грецькими фізиками під керівництвом І. Саккаса. 70 чоловік з відполірованими мідними щитами направляли "сонячні зайчики" на макет давньоримського корабля, який миттєво спалахнув. Очевидно, Плутарх описав реальну подію.

Над запалювальними дзеркалами в VI в. працював Антему де Тралля, а у XIII в. - Роджер Бекон. Пізніше почалися розробки пристроїв, в яких сонячна енергія використовувалась для одержання пари, що служила робочим тілом. У 1615 р. француз С. де Ко винайшов сонячний насос. У 1833 р. американець Д. Еріксон побудував повітряний двигун з параболоциліндричним концентратором сонячних променів для підігріву. У цей же час А. Піфф створив паровий двигун потужністю $0,5 \text{ кВт}$ із концентратором площею 10 м^2 . Аналогічну установку з параболічним дзеркалом у 1860 р. розробив та реалізував Огюст Мушо. Пізніше (у 1866 р.) він створив сонячну насосну установку, піч для варіння їжі, а в 1878 р. - сонячний холодильник. Перший плоский колектор сонячної енергії був побудований Ш. Тельером. Його робоча площа складала 20 м^2 , робочим тілом був аміак, від колектора приводився в дію поршневий двигун. У 1860 р. професор Цераський у Москві плавив метал в фокусі параболічного дзеркала при температурі більше 3000°C . У 1871 р. в Чилі американець Ч. Уілсон побудував велику геліоустановку для дистиляції води. У 1885 р. була запропонована сонячна установка для водопостачання з колектором, установленим на даху. У подальшому були зроблені ще ряд винаходів в області геліотехніки, однак в системі енергетики до 2-ї половини XX в. вона практично не використовувалася.

Головні напрямки сучасної наземної геліоенергетики - електропостачання невеликих виробництв і задоволення побутових потреб у зонах віддалених від енергосистем та систем теплопостачання. Створення великомасштабної геліоенергетики все ще віддалена мета.

Автономні сонячні установки для постачання теплом останнім часом отримують все більш широке розповсюдження. Так, в Японії водою, підігрітою Сонцем, користуються близько 5 млн. чоловік. В Ізраїлі 800 тис. будинків обладнані сонячними водонагрівачами, основним елементом яких є плоскі колектори з ККД до 50%, що забезпечують нагрівання до 50...55°C. Термін служби колекторів 30...40 років. Аналогічні установки діють в США, на Кубі і в інших країнах.

Сонячні електростанції (СЕС) перетворюють концентровану теплову сонячну енергію у водяну пару, яка забезпечує обертання турбогенератора. Станції обладнуються акумуляторами теплоти і системами автоматичного керування.

У СРСР перша СЕС потужністю 5 МВт була пущена в Криму в 1985р. Сонячний парогенератор із площею нагрівання 154 м² установлений на вежі висотою 70 м обігрівается 1600 плоскими дзеркалами площею по 25 м² кожне. Дзеркала мають автоматичну систему спостереження за Сонцем. Щільність сонячного потоку складає 130 кВт/м². Парогенератор виробляє 28 т пари за годину з тиском 4 МПа і температурою 250°C. СЕС працює 1920 год. у рік і виробляє 5,8 млн. кВт·год. електроенергії.

У 90-і рр. у США, Франції, Японії, Ізраїлі й інших країнах у посушливих районах були побудовані СЕС потужністю до 10 тис. кВт. Розробляються проекти СЕС потужністю до 300 тис. кВт і більше.

У СРСР у НВО "Астрофізика" були спроектовані СЕС із дзеркалами площею 5 і 7 м² і двигунами Стірлінга, що обертають генератори потужністю 2,5 і 5 кВт відповідно.

Особливо перспективним слід вважати використання фотоелектричних перетворювачів - сонячних батарей. Хоча фотоелементи були відомі ще в ХІХ в., потужні перетворювачі світлової енергії в електричну стали можливими зі створенням наприкінці 40-х рр. ХХ в. напівпровідників. Великий внесок у їх розробку зробив академік А.Ф. Іоффе (1880 - 1960 рр.).

Батареї складаються з елементів, що послідовно або паралельно з'єднуються у групи, для одержання необхідної сили струму і напруги. Батарея площею 1 м² генерує до 100 Вт·год. енергії [85].

Вперше сонячні батареї (СБ) були використані у 1958 р. для енергопостачання космічних апаратів - третього радянського супутника Землі й американського супутника "Авангард". В космосі сонячне випромінювання є єдиним постійним джерелом енергії для супутників і кораблів. Потужність СБ досягає десятків кіловатів, у перспективі - сотень кіловатів.

Перші СБ мали ККД 4...6%. Значні досягнення в технології їх виготовлення дозволили суттєво підвищити цей показник. Російські дослідники вважають, що ККД СБ може бути збільшений до 93% (СБ на каскадних генероструктурах) при значному зниженні вартості елементів. Це зробить доцільним їх використання і в наземних умовах при наближенні ефективності СБ до ефективності теплових електростанцій. Існують пропозиції

щодо створення космічних геліостанцій, але проблемою залишається їх висока вартість, а головне - доставка енергії на Землю.

Наприкінці ХХ в. у більш ніж 70 країнах були прийняті програми розвитку геліоенергетики. Лідером в даній галузі стала Швейцарія, де великі геліоустановки працюють паралельно загальній електромережі. Очікується, що в Європі СБ почнуть в окремих районах витіснити дизельні електростанції, оскільки у випадку їх впровадження зменшуються витрати на будівництво й експлуатацію ЛЕП.

2.6. Енергія біомаси

Біомаса у вигляді трави, гілок дерев і кущів використовувалась первісною людиною ще за 400 тис. років до н.е. як паливо для багаття - першого енергетичного "пристрою" для одержання теплоти. До IV тисячоріччя до н.е. практично єдиним джерелом енергії була деревина. Пізніше вона служила також в якості будівельного матеріалу для житла і суден, сировини для паперу і т.д. Широке застосування деревини призвело до зникнення лісів у Європі, у зв'язку з чим, подальша їх вирубка повинна бути стабілізована в межах природного відтворення.

Однак на ліси припадає лише половина врожаю біомаси. Практично, будь-які продукти фотосинтезу в кількостях що не порушують екологічний баланс можуть бути використані для одержання палива. Незважаючи на низький ККД фотосинтезу (0,2% на суші і 0,02% в океані), енергетичний потенціал росту біомаси складає орієнтовно на суші 28,65 ТВт, в океані - 14,35 ТВт.

Звичайно, точно визначити межі допустимої вирубки лісів або збирання водоростей з погляду екології важко, однак окрім них залишається ще одне джерело поповнення біомаси, яке також доцільно використовувати – це сухі органічні відходи життєдіяльності. У розвинених країнах їх маса на 1 людину за рік складає 5 т. Загальна маса відходів сягає 3,2 млрд.т за рік, у тому числі в США - 1 млрд. т. При цьому на частку міських відходів припадає 25%, сільгоспвиробництва -75%, у тому числі, тваринництва - 25%. Переробка органічних відходів у газ і рідке паливо дає за рік 180млн.т умовного палива. При цьому комплексно вирішуються проблеми екології, ліквідації відходів і одержання палива.

В 2-й половині ХХ в. були проведені широкі розробки технологій використання відходів. Наприклад, у Китаї побудовані більше 5 млн. установок для одержання біогазу в сільському господарстві. Технічна реалізація установок для вироблення енергії біомаси зробить у ХХІ в. свій внесок у рішення екологічних і енергетичних проблем людства.

2.7. Теплові двигуни

2.7.1. Поршневі парові машини

Спроби використовувати енергію пари робилися ще в Древній Греції. Древні греки знали еоліпіл Герона Олександрійського, що обертався

під дією сил реакції парових струменів, а також архітроніто - парову гармату Архімеда, описану Леонардо да Вінчі.

Саме поняття "пара" у древніх було відсутнє. Аристотель вважав, що вода при нагріванні перетворюється у повітря. Тільки в 1601 р. італієць Джамбатіста делла Порта (1538 - 1616 рр.) дослідив процес утворення пари з води.

У 1615 р. французький інженер Соломон де Ко описав паровий пристрій для підйому води, але і це ще не була парова машина.

У 1674 р. О. фон Герике (1602 - 1686 рр.) провів досліди, що демонстрували силу атмосферного тиску на "Магдебурзькі півкулі" – сталені порожні напівсфери, з яких відкачали повітря. Досліди наштовхнули на думку про використання даної сили. Основною задачею, яку намагались розв'язати у цьому зв'язку була задача одержання розрідження у робочому циліндрі шляхом конденсації пари. Машини, в яких реалізовувався вказаний принцип почали називати пароатмосферними.

Однією з перших пароатмосферних машин була машина Дені Папена (1647 - 1714 рр.), побудована в 1690 р. Папен також описав пароатмосферний цикл і винайшов паровий котел із запобіжним клапаном [19]. Схема його машини показана на рис. 2.14. Вона включала циліндр, в поршневу порожнину якого заливалася вода. Остання підігрівалася до одержання пари, що піднімала поршень у верхнє положення. Далі корпус циліндра обливали холодною водою і тим самим знижували температуру в його поршневій порожнині. Пара конденсувалася, тиск падав, поршень під дією зусилля створюваного атмосферним тиском з боку штокової порожнини опускався, піднімаючи через систему блоків корисний вантаж. Особливістю машини Папена було те, що в одному агрегаті об'єднувались пристрої для виробництва і конденсації пари, а також власне двигун. Нагрівання циліндра було незручним.

Названі недоліки частково усунув Т. Севері (1650 - 1715 рр.). В його паровому насосі (рис. 2.15), створеному в 1698 р. котел був відокремлений від двигуна, але робота пари і її конденсація, як і раніше відбувалися в одній ємності. Машина була дуже неекономічною (споживання вугілля до 80кг на 1 к.с. за год.), однак широко використовувалася в XVIII в.

Томас Ньюкомен (1663 - 1729 рр.) в своїй машині (1711 р.), показаній на рис. 2.16, - додатково використав балансир, один кінець якого був зв'язаний з поршнем циліндра, а другий - зі штангами водовідливного насоса. Охолоджувальна вода впорскувалася безпосередньо в циліндр. У 1772 р. Д. Смітон (1724 - 1792 рр.) розрахував оптимальні співвідношення розмірів машини Ньюкомена. При потужності 8 к.с. витрати вугілля склали - 25 кг на 1 к.с. за год. Використання машини дозволяло піднімати воду з глибини до 80 м, однак незважаючи на помітне поширення у Великобританії, Франції, Німеччині й Америці вона не могла задовольнити потреби промисловості, тому що була громіздкою, неекономічною, мала не-

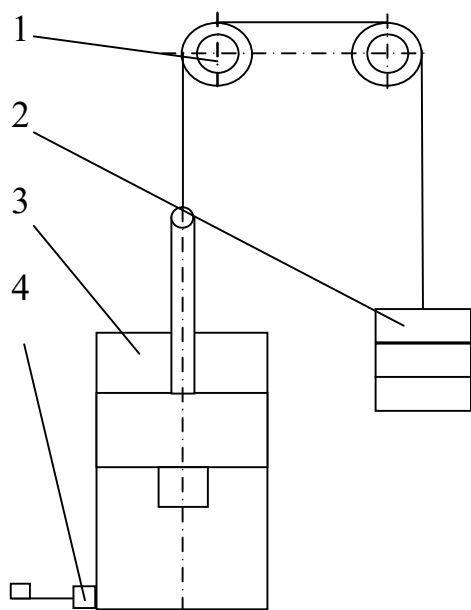


Рис. 2.14. Схема машини Папена: 1 – блоки; 2 - корисний вантаж; 3 – робочий циліндр; 4 - запобіжний клапан

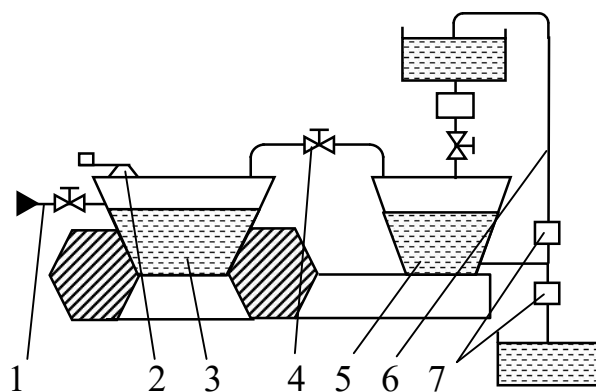


Рис. 2.15. Схема насоса Севері: 1 – трубопровід подачі води; 2 – запобіжний клапан; 3 – котел; 4 – кран; 5 - охолодна посудина; 6 – нагнітаючий трубопровід; 7- клапани

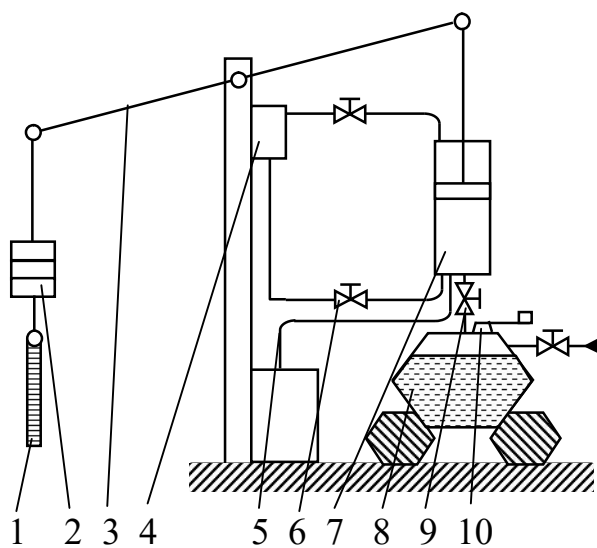


Рис. 2.16. Схема машини Ньюкомена: 1 – штанга водовідливного насоса; 2 – вантаж, що врівноважує; 3 – балансир; 4 – бак з холодною водою; 5 – злив конденсату; 6 – кран подачі холодної води; 7 – робочий циліндр; 8 – котел; 9 – паровий кран; 10 – запобіжний клапан

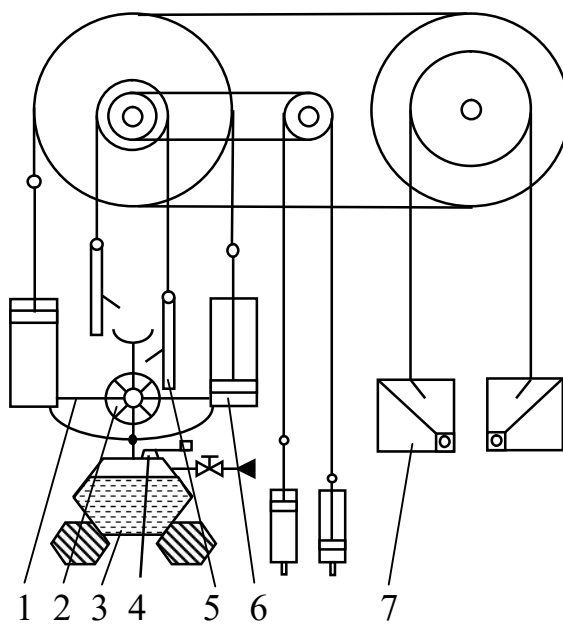


Рис. 2.17. Схема двигуна І.І. Ползунова: 1 - трубопровід підведення холодної води; 2 – водопаророзподільник; 3 – котел; 4 – запобіжний клапан; 5 – штоки керування розподільником; 6 – робочі циліндри; 7 – повітрорудні міхи

рівномірний хід і використовувалася тільки для водопідйому. ККД машини складав близько 0,3%.

Машина І.І. Ползунова (1729 - 1766 рр.), розроблена в 1765 р. (рис. 2.17), була першою спробою створення універсального теплового двигуна. Машина містила окремий паровий котел, з якого пара надходила через автоматичний водо - паророзподільник у два циліндри по черзі. Циліндри мали довжину 3 м і діаметр - 0,3 м. Періодично створювані циліндрами робочі зусилля передавалися на загальний шків, від вала якого приводились в рух штоки керування розподільником, а також передавався момент на вал насоса або шків повітродувних міхів. Потужність машини складала 32 к.с. при ККД близько 1%. У 1766 р., уже після смерті Ползунова, машина була пущена, але через кілька років зламана і забута. Незважаючи на більш високу, ніж у попередніх конструкцій ефективність, вона могла служити тільки в якості привода зворотного-поступальних або зворотно-поворотних рухів і зберігала більшість недоліків пароатмосферних машин [19, 21].

Промисловості потрібен був двигун з безупинним і плавним обертанням вала. Дану задачу намагалися вирішити І. Фальк (1727 - 1774 рр.), Е. Картрайт (1743 - 1823 рр.) і інші. Такий двигун створив Д. Уатт.

Джеймс Уатт (1736 -1819 рр.), аналізуючи роботу пароатмосферних машин, прийшов до висновку про необхідність здійснювати конденсацію пари в окремому агрегаті. У 1781 р. він запатентував п'ять механізмів перетворення гойдального руху в безупинний обертальний, а в 1784 р. розробив універсальний тепловий двигун (рис. 2.18, 2.19). Основна відмінність машини Уатта від пароатмосферних машин у тім, що і робочі і холості ходи поршня циліндра здійснюються під дією зусилля, створюваного тиском пари. Використаний Уаттом кривошипно-шатунний механізм був винайдений раніше Пікаром і Васброу.

У 1784 р. Уатт побудував і випробував машину подвійної дії з керуючим золотниковим пристроєм, маховиковим пристроєм вирівнювання безупинного обертального руху і механізмом перетворення поступального руху штока в обертальний. Для забезпечення сталості частоти обертання подача пари в машину змінювалася механічним відцентровим регулятором за допомогою дросельної заслінки в трубі підведення пари. Машина була обладнана конденсатором, крім цього, Уатт реалізував відсікання і розширення пари. Загальний ККД двигуна сягав 8% при тиску пари 0,25 атм.

У середині 80-х рр. XVIII в. будова парової машини була остаточно відпрацьована і вона почала широко впроваджуватись у промисловість. У 1800 р. у Великобританії й Ірландії працювала вже 231 машина конструкції Уатта загальною потужністю 3649 к.с. Створення універсального теплового двигуна послужило потужним поштовхом розвитку машинобудування, металургії й інших галузей промисловості, а також транспорту.

У перших машинах Уатта використовувався тиск, близький до атмосферного, однак уже на початку XIX в. почали проводити дослідження по створенню поршневих машин з підвищеним тиском. Американець О.Еванс

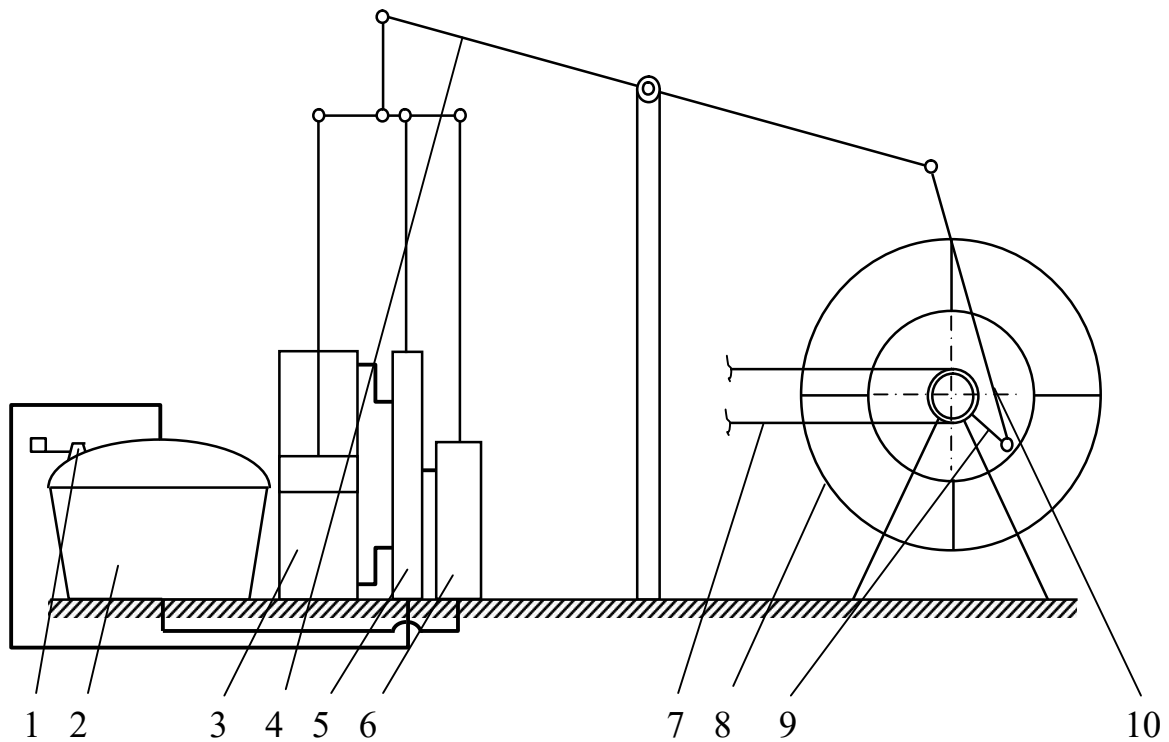


Рис. 2.18. Схема парової машини подвійної дії Д. Уатта: 1 – запобіжний клапан; 2 – котел; 3 – робочий циліндр; 4 – балансир; 5 – золотниковий розподільник; 6 – конденсатор; 7 – пасова передача; 8 – маховик; 9 – кривошип; 10 - шатун

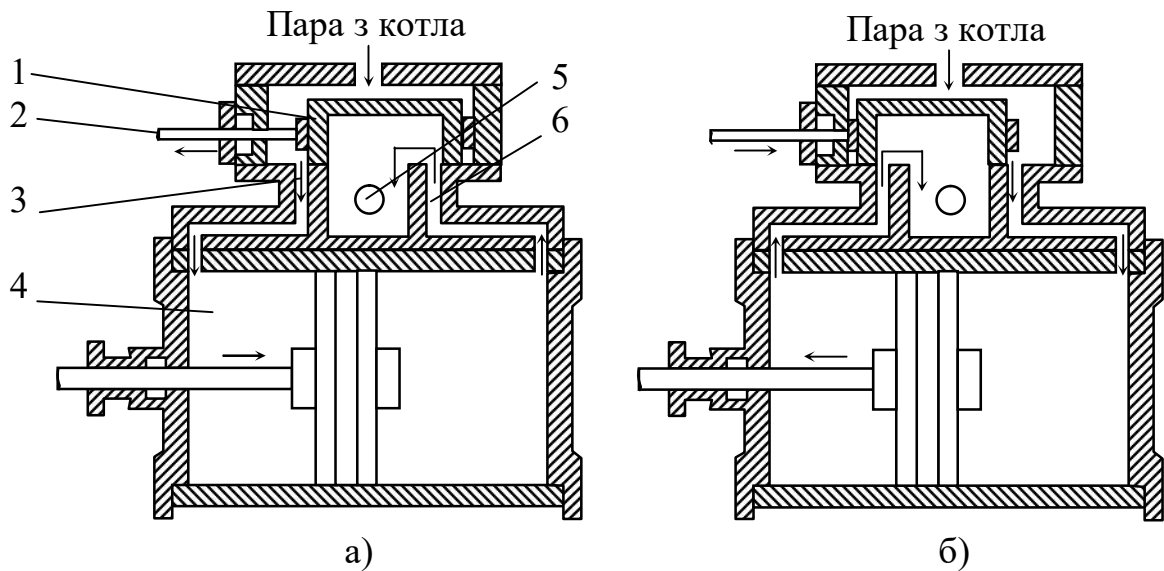


Рис. 2.19. Схеми робочих циклів переміщення виконавчих елементів циліндра і розподільника парової машини при ході поршня праворуч (а) і ліворуч (б): 1 –золотник розподільника; 2 – тяга; 3, 6 – канали підведення та відведення пари з циліндра; 4 – циліндр; 5 – поршень; 5 – лінія відведення пари у конденсатор

(1755 - 1819 рр.) першим запропонував використовувати в машинах тиск до 10 атм. Машини на тиск 3...4 атм створювали Р. Тревітік (1771 - 1833рр.), А. Вулф, С.В. Литвинов (1785 - 1843 рр.). Перші спроби реалізації паросилових установок на тиск до 50 атм були зроблені в 1822 р. у США Д. Перкінсоном і в 1928 р. у Німеччині Е. Альбаном. З 50-х рр. ХІХв. після досліджень Г.А. Гірна у Франції, з метою підвищення ККД машин в якості їх робочого тіла стали використовувати перегріту пару. Удосконалювалися котли, збільшувався тиск, підвищувалася частота обертання, використовувалося багаторазове розширення пари – тандем- і компаунд-машини (рис 2.20). Золотникові паророзподільники замінили клапанними. У 60-х рр. одинична потужність машин досягла 1000 к.с. Робочий цикл парових машин був досліджений У. Ранкіним (1820 -1872 рр.).

У середині ХІХ в. парові машини використовувалися в приводі водопідйомних і повітрорудних установок, прокатних станів великої потужності, парових молотів і локомотивів.

На початку ХХ в., незважаючи на появу парових турбін, удосконалення поршневих парових двигунів продовжувалося. У 1908 р. була створена прямоточна машина Штумпфа (рис. 2.21), що широко використовувалась у 20-х рр. У ній пара почергово підводилася через кришки у порожнини циліндра, а випускалася через бокові вікна в гільзі.

Протягом майже усього ХІХ в. поршневі парові установки залишалися основним типом двигуна промисловості і транспорту, зберігаючи принципову будову машини Уатта. Однак система передачі енергії від двигуна до промислового технологічного устаткування була дуже складною, громіздкою і неекономічною. Звичайно потужна парова машина, яка розташовувалася на першому поверсі заводської будівлі, обертала шків пасової передачі, що проходила через всі поверхи, приводячи в обертання систему валів. Від них через трансмісійні вали і пасові передачі, що тягнулись під стелями уздовж цехів, енергія подавалася до верстатів. Таким чином, привод складався з нагромадження валів і пасів, які заповнювали цехові прольоти, створювали шум і небезпеку для робітників.

У зв'язку із відміченими недоліками, а також внаслідок низького ККД (при тиску до 60 атм – 10...11%) на початку ХХ в. поршневі парові машини перестали використовувати в промисловості. Їх замінили більш економічні, компактні та безпечні електродвигуни. Спочатку з'явився груповий електропривод, що включав потужний електродвигун і більш просту ніж у паросилових установок трансмісію. Він забезпечував одночасну роботу декількох одиниць технологічних машин. Однак в експлуатації груповий привод виявився малонадійним, у зв'язку із чим, на початку ХХ в. кожному окрему машину почали оснащувати індивідуальним електроприводом. Це дозволило значно зменшити число елементів трансмісії і тим самим спростити конструкцію приводів.

Зростання числа електродвигунів і пов'язані з ним значні потреби у дешевій електроенергії обумовили необхідність будівництва електростан-

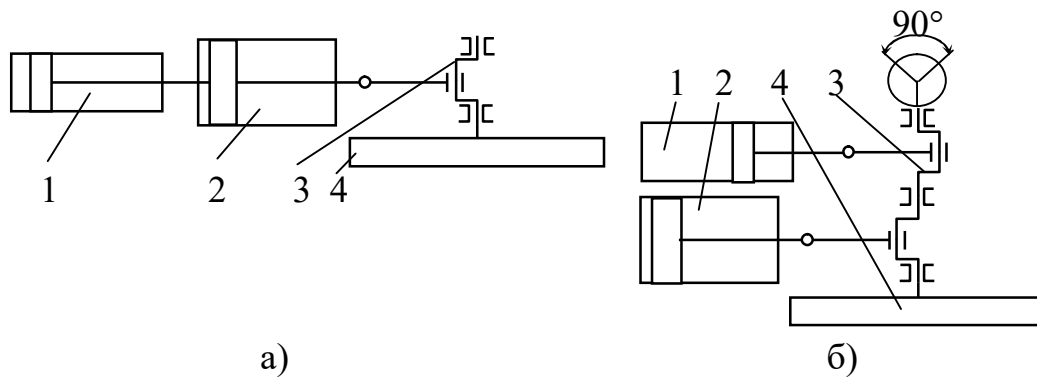


Рис. 2.20. Схеми машин подвійного розширення: а) тандем; б) компаунд; 1 – циліндр високого тиску; 2 – циліндр низького тиску; 3 колінчастий вал; 4 - маховик

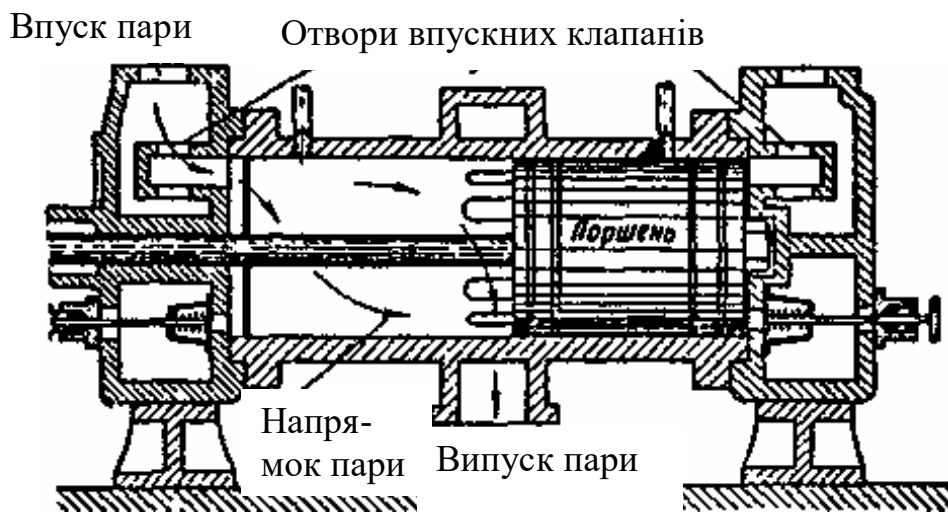


Рис. 2.21. Будова прямої парової машини

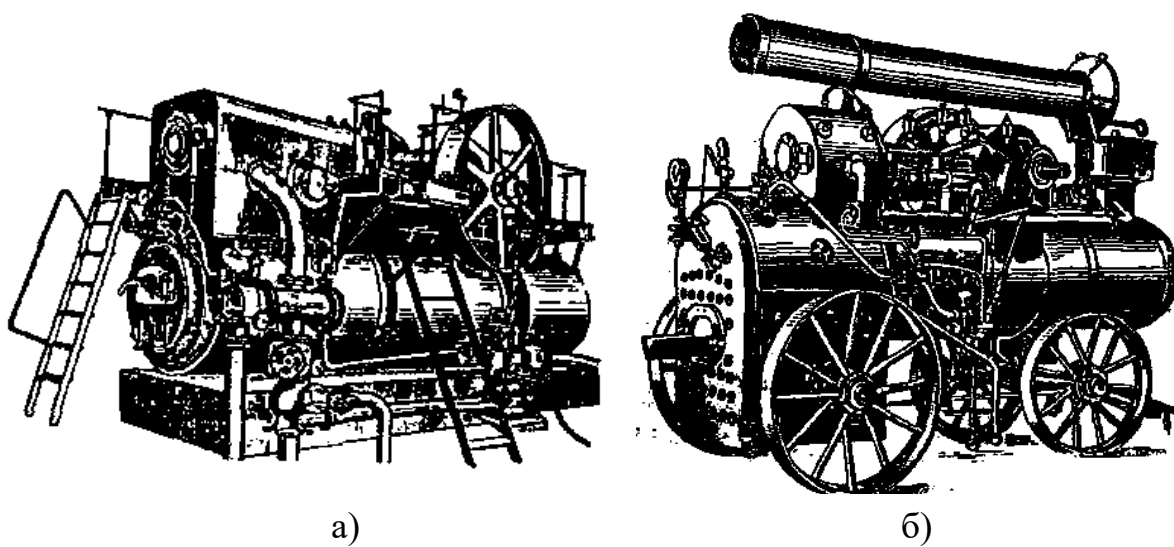


Рис. 2.22. Сільськогосподарські локомотиви Людиновського заводу: а) СК – 125; б) П - 25

цій. На перших теплових електростанціях генератори приводилися в обертання поршневими паровими машинами. З часом їх замінили паровими турбінами. В сільському господарстві і на транспорті, - в якості двигунів локомобілів (рис. 2.22), пароплавів і паровозів [48] парові машини працювали до середини ХХ в. Після всіх удосконалень ККД їх досяг 20%.

2.7.2. Парові турбіни

Ідея використання кінетичної енергії пари була вперше реалізована в кулі Герона (120 р. до н.е.), показаній на рис. 2.23. Першою найпростішою активною турбіною було "колесо" італійського вченого Бранка (XVIIв.), зображене на рис. 2.24. В даному пристрої пара подавалася на колесо з осередками і викликала його обертання. Однак для широкої реалізації турбін в той час не було ні потреби, ні необхідного рівня розвитку техніки. Так само не мали практичного значення розробки турбін П.М. Залесова (1806 р.) і В.П. Титова (1856 р.). У 30-х рр. ХІХ в. робилися спроби створення парових турбін у США. Однак була відсутня теорія, тому пропоновані конструкції виявилися невдалими.

90-і рр. ХІХ в. ознаменувалися широким будівництвом електростанцій. Для привода електрогенераторів був потрібний швидкохідний й економічний двигун. З початку в якості такого використовувалися поршневі парові машини з частотою обертання вала до 200...400 об/хв. Однак вони не відповідали зростаючим вимогам електроенергетики: були малопотужними, неекономічними і недостатньо швидкохідними. У зв'язку із цим, згадали про парову турбіну, яка мала ряд важливих переваг у порівнянні з поршневими машинами (робоче безупинне обертання практично з будь-якою необхідною частотою, потужність до сотень тисяч кВт, більш високий ККД, менші експлуатаційні витрати). Відмічене обумовило те, що парова турбіна стала основним двигуном електростанцій і суден.

Активна робота над створенням парової турбіни на основі теорій термо- і газодинаміки почалася наприкінці ХІХ в. Найбільш вдалі рішення були дані шведом К. Лавалем (1845 - 1912 рр.) і англійцем Ч. Парсонсом (1854 - 1931 рр.).

Перший патент на реактивну турбіну найпростішого типу Лаваль одержав у 1883 р. У 1889 р. він запропонував одноступінчасту активну турбіну, що складалася з робочого колеса з великим числом увігнутих лопатей, на які з чотирьох сопел подавалася пара (рис 2.25). Сопло, що розширюється, яке отримало назву "сопла Лавалля", було винайденим раніше ван Ратеном. Пара з великою швидкістю проходила по лопатях робочого колеса і створювала тиск, що викликав його обертання. Вже в 1895 р. Лаваль демонстрував турбіну потужністю 5 к.с. при 30000 об/хв, а дещо пізніше – турбіну потужністю 350 к.с. Турбіна Лавалля була недосконалою і подальший розвиток турбін пішов за схемою, запропонованою Парсонсом.

Турбіна Парсонса (1884 р.), показана на рис. 2.26 була реактивною. В ній використовувалася не тільки кінетична енергія струменів пари, але і



Рис. 2.23. Еоліпіл Герона

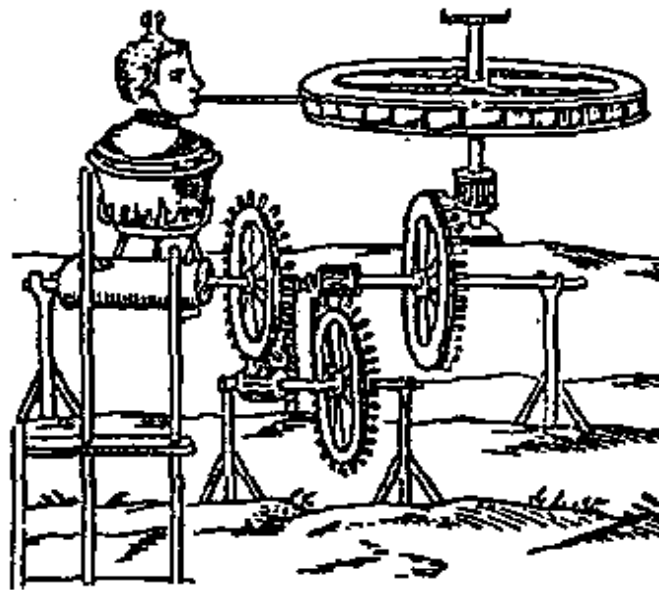


Рис. 2.24. Активна турбіна Бранкі

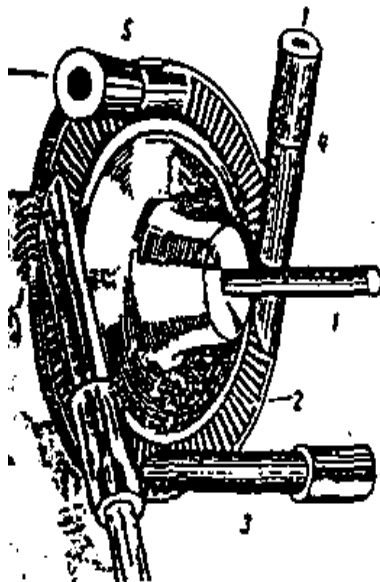


Рис. 2.25. Схема активної одноступінчастої турбіни Лавалля: 1 – вал; 2 – лопаті робочого колеса; 3 – 6 – сопла

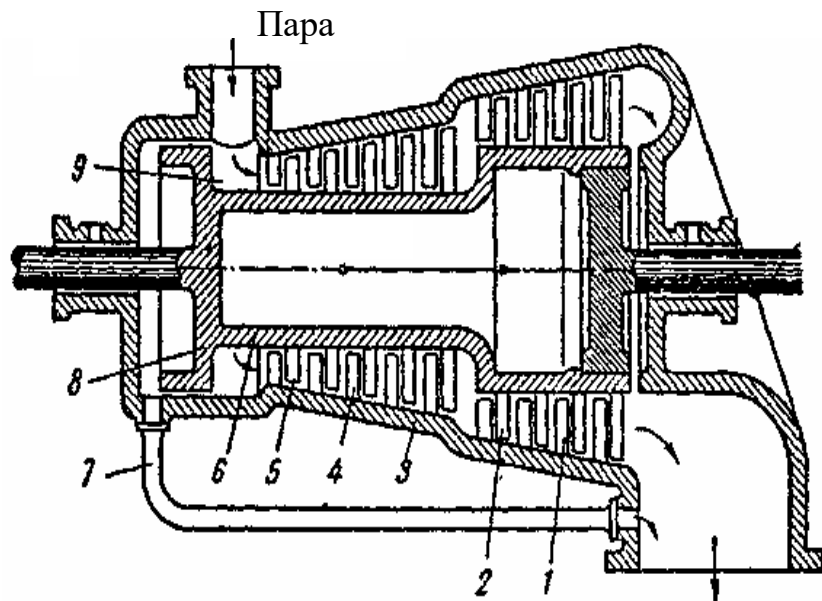


Рис. 2.26. Схема реактивної турбіни Парсонса: 1 і 4 – напрямні лопаті; 2 і 5 – робочі лопаті; 3 – корпус; 6 – ротор; 7 – паропровід; 8 – розвантажувальний поршень

потенціальна енергія сил реакції, що виникають при розширенні пари в міжлопатевих каналах робочого колеса. На валу турбіни встановлювалися кілька обертових реактивних коліс з лопатями, між якими розміщалися нерухомі ряди таких самих лопатей, спрямованих у протилежну сторону - реактивні лопаті. Форма лопаток була такою, що забезпечувала збільшення перерізу міжлопатевих каналів в напрямку витікання пари, в результаті при відриві струменів їх швидкість збільшувалась. Таким чином, турбіна Парсонса була осьовою багатоступінчастою. У 1913 р. одинична потужність турбін Парсонса досягла 2500 кВт. У 1899 р. французький інженер К.Е.О. Рато (1863 - 1930 рр.) створив активну осьову багатоступінчасту турбіну, що одержала поширення в Європі. Аналогічну турбіну в США сконструював Ч. Кертіс (1878 - 1930 рр.). Основними виробниками парових турбін були: у Німеччині - "Загальна компанія електрики", у Великобританії - "Джон Браун", у США - "Дженерал електрик" і "Вестингауз".

Характеристики турбін швидко поліпшувалися: якщо у 1899 р. турбіна потужністю 1000 к.с. споживала 12 кг пари на 1 кВт·год., то у 1910р. турбіна потужністю 12000 кВт споживала 5 кг пари на 1 кВт·год.

З 1900 р. турбіни стали використовувати на військових кораблях, а з 1906 р. - на пасажирських судах.

Поряд з осьовими багатоступінчастими турбінами, до 20-х рр. експлуатувалися радіальні багатоступінчасті турбіни Юнгстрема, які мали одне робоче колесо з концентричними рядами торцевих лопатей. Між лопатями робочого колеса розміщалися концентричні ряди реактивних лопатей, закріплених на торці нерухомого диска. Пара подавалася по осі диска й далі у турбіні радіально розширювалася. Машини даного типу мали порівняно невелику потужність (до 10000 кВт при 3000 об/хв.) і обмежену міцність робочого колеса.

У 1910 р. одинична потужність паротурбінного агрегату складала біля 25000 кВт. У 1950 р. вона підвищилася до 100...150 МВт. З метою підвищення ККД і зниження питомих витрат пари в сучасних турбінах збільшені тиск (до 13...24 МПа) і температура (до 560°C) робочого тіла. При цьому ККД досяг 40%, проти 5...6% у перших турбін і 9...11% - на початку 20-х рр. Подальше підвищення вказаних параметрів пари утруднено, тому що вимагає використання більш жаростійких матеріалів і глибокої демінералізації води.

Одинична потужність одновальних турбін досягла 500...800 тис. кВт. Вони виконуються звичайно багатоступінчастими комбінованими активними або активно-реактивними. У двовальному виконанні потужність турбін підвищилася до 1,2 млн. кВт і вище. У 1978 р. в СРСР була виготовлена парова одновальна турбіна типу К-1200-240, розрахована на потужність 1200 МВт і частоту 3000 об/хв при тиску і температурі пари відповідно 23,5 МПа і 540°C. Це найбільша у світі одновальна машина. Найпотужніша парова турбіна (1400 МВт) побудована фірмою "Броун Бовери". В

перспективі розвитку турбін підвищення параметрів пари за рахунок використання нових жароміцних матеріалів.

2.7.3. Парогенератори

Розвиток паросилових установок супроводжувався удосконаленням не тільки власне машин, але і парових котлів, які перетворюють енергію згоряння палива в енергію пари.

У період розвитку пароатмосферних машин котли повинні були виробляти пару під тиском чуть більше однієї атмосфери. Одним з перших агрегатів даного призначення був котел Папена, який винахідник вперше оснастив запобіжним клапаном. Котел Уатта був не набагато досконалішим. Робочий тиск пари складав 0,25 атм. Топкові гази омивали дно і бокові поверхні котла, що підвищувало його продуктивність. Вимоги підвищення ККД і потужності парових машин обумовили необхідність збільшення тиску і паропроодуктивності котлів.

До 1870 р. в основному використовувався тиск пари в 3 атм., але О.Евансом і С.В. Литвиновим вже випробувалися котли на тиск до 10 атм. Для забезпечення міцності стінок при збільшених робочих тисках, котли виготовляли циліндричної форми і зменшували їх діаметр. У результаті цього, до 1870 р. котел перетворився із посудини в систему труб, по яким пропускалася вода, що випаровувалась - у водотрубних котлах, або проходили гази - у жаротрубних. Еволюція котлів показана на рис. 2.27. Слід відмітити, що водотрубні котли були відомі ще у XVIII в. і використані Д.Фітчем у 1787 р. на його пароплаві, але розповсюдження тоді не одержали. Першим практично придатним водотрубним апаратом став котел француза Ж. Бельвіля, запатентований в 1850 р. Котли за схемою на рис. 2.27, і, розробленою в 40-х рр. Е. Альбаном (1791 - 1846 рр.) у Німеччині XIX в., мали значне поширення. Наприкінці XIX в. вони були витиснені котлами фірми "Бабкок і Вількокс", конструктором яких був В.Г. Шухов (1853 - 1939 рр.). Для цього часу характерні так звані "вертикальні" і "горизонтальні" водотрубні парові котли. Найчастіше їх виконували секційованими. Так, в котлі Шухова кожна секція мала короткий барабан з 19...21 трубами. Секції при необхідності легко транспортувалися окремо, а на місці експлуатації агрегата з'єднувалися болтами. Схема котла Шухова наведена на рис. 2.28. Найбільше розповсюдження мали "вертикальні" котли Стірлінга з вигнутими трубами і котли Гарбе з прямими трубами. В складі суднових пароустановок використовувалися водотрубні котли з трьома барабанами і прямими (котли Ярроу) або вигнутими (котли Торнікрофта) трубами.

Прагнення одержати пару високого тиску і температури привело до винаходу прямоточних котлів, у яких робоче тіло здійснює одноразове переміщення по водопаровому тракту, змінюючи свій агрегатний стан з рідкого (вода) на газоподібний (перегріта пара). Прямоточний котел був винайдений на початку XX в. англійцем Бенсоном. Його агрегат був роз-

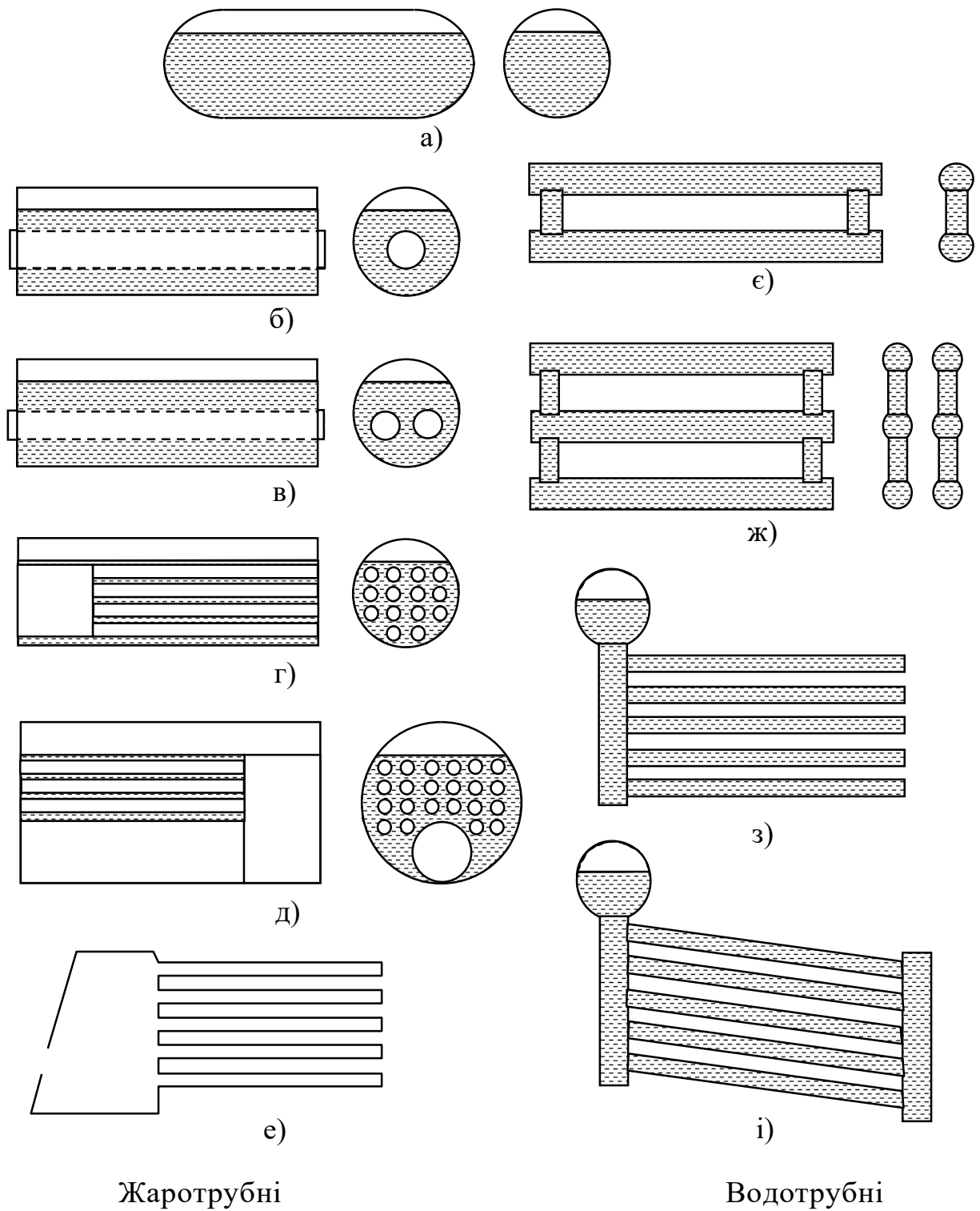


Рис. 2.27. Еволюція котла: а) – циліндричний; б) – корнавалійський; в) – ланкаширський; г) – пароплавний; д) – судовий шотландський; е) – локомотивний; є) – “двійка”; ж) – “шістка”; з) – однокамерний; і) - двокамерний

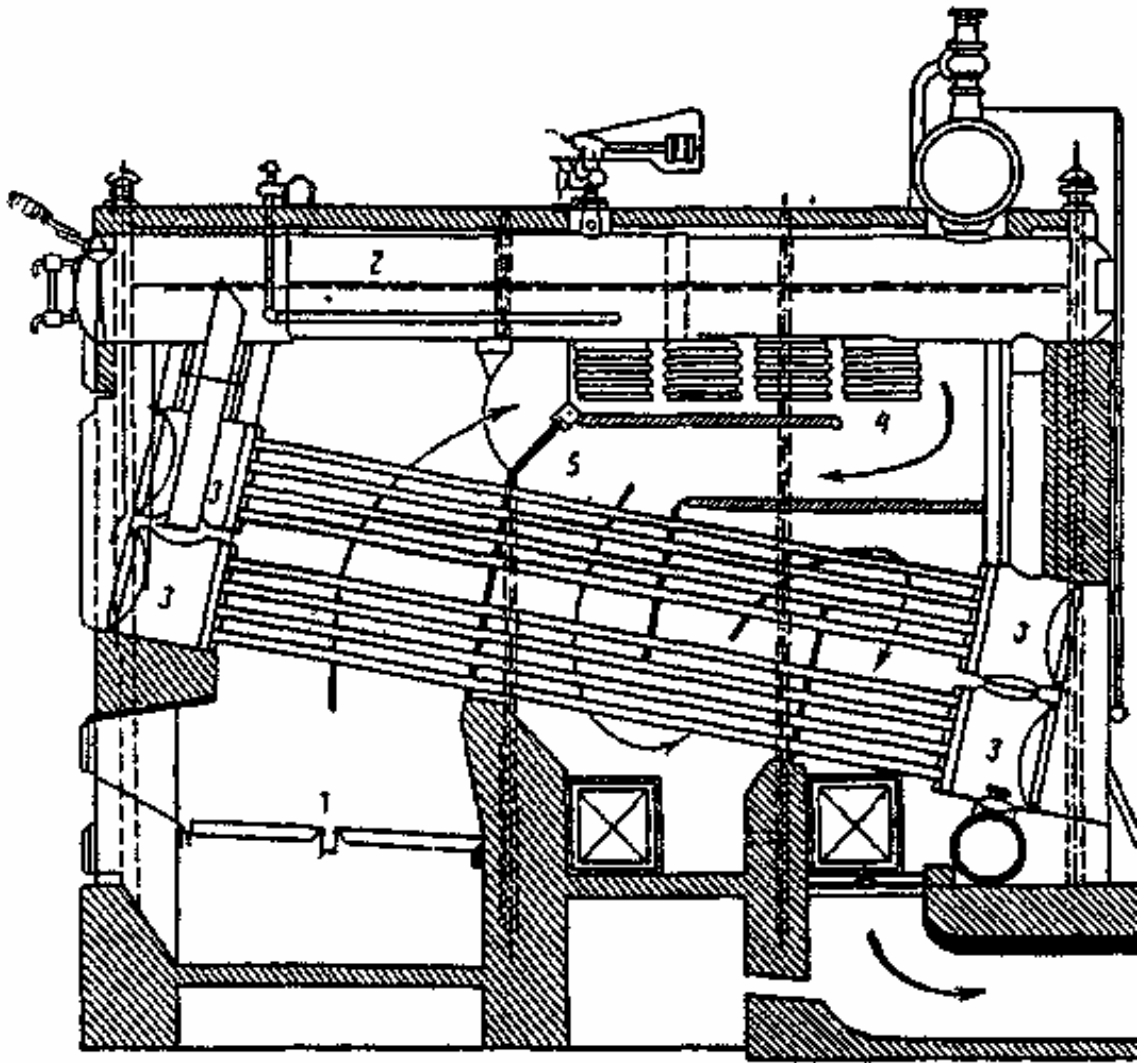


Рис. 2.28. Схема водотрубного котла В.Г. Шухова: 1 – топка; 2 – барабан; 3 – колектори; 4 – пароперегрівник; 5 – регулятор тяги

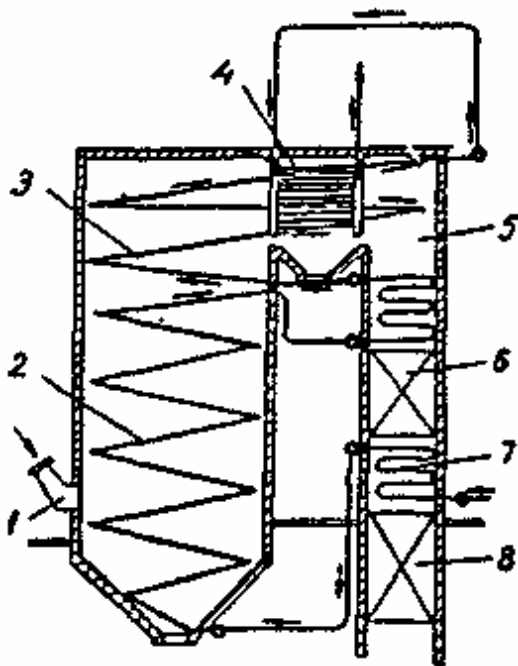


Рис. 2.29. Водотрубний котел Л.К. Рамзіна: 1 – паливник; 2 – змійовики; 3 – радіаційний перегрівник; 4 – конвекційний пароперегрівник; 5 – перехідна зона; 6 – і 8 – повітряпідігрівники; 7 - економайзер

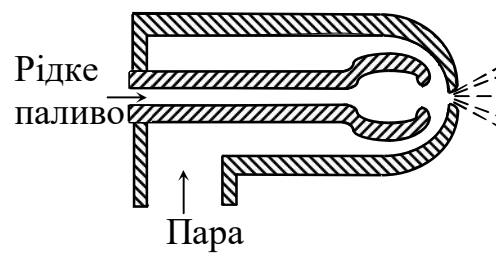


Рис. 2.30. Схема форсунки

рахований на робочий тиск пари в 70 атм. і температуру перегріву 425°C. Основна ідея Бенсона полягала в тому, щоб забезпечити пароутворення під тиском вищим критичного (224,2 атм.). Для цього вода в змійовиках котла нагрівалася до критичної температури 374°C, при якій зникають фізичні відміни між рідиною і паром. В результаті цього, вода відразу, без закипання, переходить у газоподібний стан, що дозволяє уникнути зайвих поверхонь її нагрівання при одночасному забезпеченні високої компактності конструкції. Однак на практиці виявилось, що котли Бенсона працюють ненадійно і часто виходять з ладу з тої причини, що реалізація описаного режиму перетворення робочого тіла вимагає дотримання точного балансу між кількістю поданих води, палива і повітря, а також кількістю пари, що відводиться. Інакше кажучи - потрібно досконале регулювання котла, здійснити яке в ту пору було практично неможливо.

Перші придатні для промислового використання прямооточні котли були побудовані в СРСР під керівництвом Л.К. Рамзіна (1887 - 1948 рр.). У 1932 р. був пущений дослідний котел з горизонтальним змійовиком паропродуктивністю 3,6 т/год з тиском пари 14,1 МПа, а у 1933 р. - котел продуктивністю 200 т/год. Схема котла Рамзіна показана на рис. 2.29.

Спочатку паливом для котлів служило кускове подрібнене вугілля. В 1867 р. А.І. Шпаковський (1823 - 1881 рр.) розробив метод спалювання розпиленого рідкого палива. Для його реалізації Шухов, Данилін, Ленц, Берсеньов, Іванов і інші створили форсунки (рис. 2.30). Пізніше Г.Ф. Депп (1854 - 1921 рр.) винайшов спосіб пилувугільного живлення котлів. В другій половині ХХ в. в якості палива стали застосовувати природний газ.

Із середини ХХ в. на потужних теплових електростанціях впроваджується блокована схема об'єднання котлів і турбін. При цьому котел зв'язується коротким паропроводом з турбіною, рівною йому за потужністю. Ведуться також розробки нових типів котлів (наприклад, з вихровими топками, спалюванням у псевдокиплячому шарі і т.д.).

Необхідність удосконалення котлів обумовлена безупинним зростанням потужності паросилових установок. Якщо у 1900 - 1910 рр. одинична потужність паротурбінного агрегату складала 25 МВт при ККД 4...5%, то у 1950 р. - 150 МВт при ККД 25...30%, а у 1970-х рр. - 1200 МВт при ККД до 38%. Нарощування вказаних параметрів стало можливим в результаті підвищення робочих параметрів пари. У 50-х рр. використовувалася пара тиском 90 атм. при температурі 535°C, у 80 - 90-х рр. тиск досяг 130атм. при температурі до 540°C. Для подальшого збільшення тиску і температури потрібне корінне удосконалювання всіх елементів котлів і використання більш міцних і жаростійких матеріалів.

2.7.4. Двигуни внутрішнього згорання

Паровим двигунам (поршневій машині і турбіні) необхідний генератор робочого тіла - пари, - тепла енергія якої перетворюється в механічну. Таким генератором є паровий котел. На початковому етапі розвитку

паросилові установки в складі котла і двигуна були громіздкими, важкими і тому непридатними для використання у випадках необхідності забезпечення компактних розмірів машини, або одержання великої потужності на одиницю маси двигуна.

В результаті реалізації ідеї об'єднання в одне ціле генератора робочого тіла, що утворюється при згорянні палива, і робочої машини, що перетворює теплову енергію робочого тіла в механічну, з'явився двигун внутрішнього згорання (ДВЗ) з горінням палива у середині циліндра машини. Але до XVII в. для даного двигуна не було придатного палива.

Першою спробою створення ДВЗ стала розробка в 1673 р. Х. Гюйгенсом (1629 - 1695 рр.) порохової машини. Згідно із описом винахідника, у циліндр машини необхідно було насипати порох. При його підпалюванні порохові гази піднімали би поршень і виходили через бокові вікна циліндра назовні, після чого поршень під дією атмосферного тиску і власної ваги повинен був опускатися вниз. Побудований двигун не був [3,49].

У 1688 р. колишній асистент Гюйгенса Д. Папен виготовив таку машину, додатково обладнавши її клапанами для випуску газів. Однак двигун виявився недовговічним, в зв'язку з тим, що температура горіння пороху була вища 3000°C.

У 1794 р. англієць Роберт Стріт запропонував конструкцію ДВЗ на вуглеводневому паливі, однак і він не був побудований. Створити ДВЗ намагалися Джонстон, де Ріваз, Райт, Барнет, Дрейк. У 1799 р. Пилип Лебон (1769 - 1804 рр.) відкрив спосіб одержання світільного газу шляхом сухої перегонки деревини або вугілля й у 1801 р. сконструював перший двигун, що працював на світільному газі. За схемою він повторював парову машину подвійної дії. Відомостей про реалізацію двигуна немає. Тільки в 1820 р. у Кембриджі У. Сесіл продемонстрував діючу модель газового ДВЗ. У 1823 р. С. Браун удосконалив машину Сесіла, реалізувавши водяне охолодження циліндра. Двигун був побудований і випробуваний, але застосування не знайшов і для експлуатації не виготовлявся.

Першим ДВЗ, що одержав значне поширення став двигун, розроблений і випробуваний у 1860 р. французьким механіком Етьеном Ленуаром (1822 - 1900 рр.). Він винайшов двотактний горизонтальний ДВЗ подвійної дії (рис. 2. 31). Двигун конструктивно нагадував парову машину, але працював на суміші світільного газу і повітря, що стискались окремо насосами і по чергово подавались через розподільник з механічним керуванням і ковзним золотником у порожнини робочого циліндра. Для запалювання суміші служили чотири електричні свічі, закручені по дві в кожному з кришок циліндра. Відпрацьовані гази виводились через розподільник, аналогічний тому, що використовувався для пальної суміші. Двигун був недосконалий: ненадійне запалювання, низький (5 атм.) тиск у циліндрах, відсутність попереднього стиску пальної суміші, потреба у великій кількості води для охолодження. ККД складав 4%. Було випущено близько 300 зразків двигуна Ленуара, хоча і конструкція і принцип дії мали потребу в доробці.

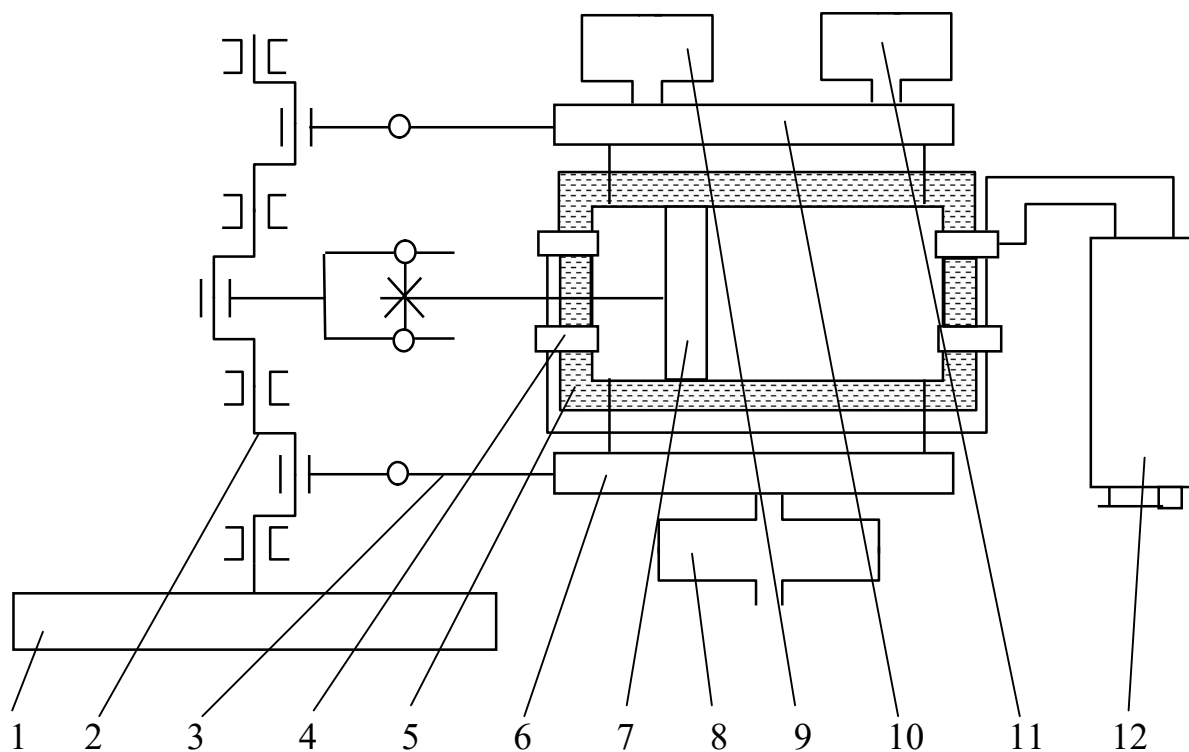


Рис. 2.31. Схема газового двигуна Ленуара: 1 – маховик; 2 – колінчастий вал; 3 – тяги золотників; 4 – електричні свічки запалювання; 5 - охолоджувальна водяна сорочка; 6 - золотник відведення продуктів згорання; 7 – робочий циліндр; 8 - колектор видалення продуктів згорання; 9 – колектор подачі газу; 10 - золотник подачі газоповітряної суміші; 11 – колектор подачі повітря; 12 – індукційна котушка

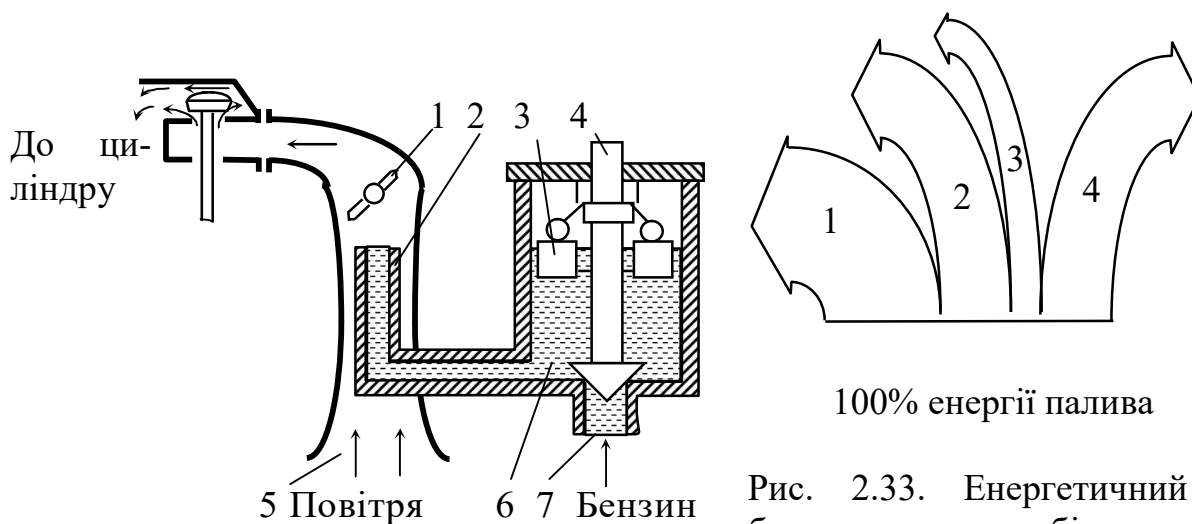


Рис. 2.32. Будова карбюратора: 1 – дросельна заслінка; 2 – трубка подачі паливоповітряної суміші; 3 – поплавков; 4 – запірна голка; 5 – отвір для засмоктування повітря; 6 – робоча камера; 7 – отвір для подачі палива

Рис. 2.33. Енергетичний баланс автомобільного двигуна: 1 – 40% віддано воді, що охолоджує циліндр; 2 – 25% уноситься відпрацьованими газами; 3 – 10% тертя; 4 – 25% - корисна робота

Принцип чотиритактного двигуна на легкому паливі, у якому пальна суміш перед запаленням попередньо стискалася, що збільшувало економічність, був запропонований французьким інженером А. Бо де Рошем (1815 - 1890 рр.) в 1862 р. і реалізований у 1876 р. німецькими конструкторами Н. Отто (1832 - 1891 рр.) і Е. Лангеном (1833 - 1895 рр.). Паливом служив пальний газ низького тиску. Двигун мав золотниковий газорозподіл, запалювання забезпечувалося завдяки постійному горінню газу в робочій камері. Машина була тихохідною і мала велику масу. Паливний бак - газовий балон - був дуже великим, у зв'язку з чим, двигун Отто експлуатувався в основному в стаціонарних умовах. Перший його зразок мав потужність 3к.с. при 180 об/хв.

Після появи гасу і бензину почалися роботи зі створення бензинового ДВЗ, у результаті чого він зайняв відуче місце на наземному транспорті й в авіації.

Перша спроба використання в ДВЗ гасу була зроблена американцем Брайтоном у 1873 р. Однак через низьку випаровуваність палива дослід був невдалий і Брайтон використав бензин. Він винайшов також перший випарний карбюратор. Двигун Брайтона працював при постійному тиску в циліндрі.

У 80-х рр. серб О. Костович (1851 - 1916 рр.), що прийняв російське підданство, запропонував проект легкого бензинового двигуна з карбюратором. На його основі в 1884 р. був побудований 8-циліндровий двигун потужністю 80 к.с. для дирижабля.

Перший придатний для транспорту двигун розробили і виготовили у 1883 - 1884 рр. німецькі винахідники Г. Даймлер (1834 -1900 рр.) і В. Майбах (1846 - 1929 рр.). Їх ДВЗ був горизонтальний, чотиритактний, із запалюванням від запальної трубки з пальником і повітряним охолодженням. Усмоктувальний клапан відкривався при створенні розрідження в циліндрі, випускний клапан відкривався і закривався механічно. Був використаний карбюратор випарного типу. У 1885 р. Даймлер побудував двигун з вертикальним циліндром. Він мав потужність 0,5 к.с. при 600 об/хв, робочий об'єм циліндра 0,262 л і масу 40 кг. Двигун міг працювати на газу і бензині, мав закритий картер з мастилом. Запуск здійснювався заводною рукояттю. У 1887 р. Даймлер використав водяне охолодження двигуна.

Одночасно з Даймлером К. Бенц (1844 - 1929 рр.) розробив чотиритактний двигун для автомобіля. Даний ДВЗ (1885 р.) мав горизонтальний циліндр і вертикальний колінчастий вал. Маховик розташовувався в горизонтальній площині. Для підготовки паливної суміші застосовувався карбюратор випарного типу, запалювання забезпечували електричні свічі з живленням від котушки Румкорфа і батареї. Перший двигун Бенца мав потужність 0,88 к.с. при 315 об/хв.

Розробки Даймлера та Бенца дозволили створити перші автомобілі (1885 р.).

У 1887 р. австрієць З. Маркус (1831 - 1898 рр.) запропонував карбюратор для підготовки паливоповітряної суміші. У 1891 р. Даймлер разом з В. Майбахом побудував чотирициліндровий двигун, на якому установив поплавковий карбюратор. У 1893 р. карбюратор був удосконалений угорцями Д. Банкі і Я. Чонка - распилувальний карбюратор з поплавцем.

Будова поплавцевого карбюратора показана на рис. 2.32. Якщо в цилиндрі двигуна відкритий тільки впускний клапан у отвір 5 засмоктується повітря. Воно проходить навколо трубки 2, що з'єднана з поплавцевою камерою 6. В камері 6 знаходиться бензин, рівень якого підтримується поплавком 3 і відповідає висоті рівня в трубці 2. Однаковість рівнів забезпечується тим, що поплавок при натіканні бензину в камеру піднімається у верхнє положення, а зв'язана з ним голка 4 опускається донизу. В момент досягнення поплавком положення відповідного максимальному рівні в трубці, голка 4 зачиняє отвір 7 і тим припиняє подачу бензину в камеру. Повітря, проходячи із високою швидкістю поруч кінця трубки 2, засмоктує бензин і розпилує його. Таким чином утворюється паливо-повітряна суміш, подача якої до цилиндра регулюється дросельною заслінкою 1.

У 1895 р. Р. Бош (1861 - 1942 рр.) винайшов магнето високої напруги, що дозволило забезпечити надійне запалювання. У 1910 р. Ч. Кеттерінг (1876 - 1960 рр.) розробив електростартер для пуску двигуна. Бензиновий двигун удосконалювався конструктивно і став надійним.

Великий внесок у створення різноманітних ДВЗ зробив російський інженер Б.Г. Луцькой (1865 - 1920 р.), що працював у Німеччині. Під його керівництвом у 1910 - 1912 рр. Розроблялись та виготовлялись двигуни різних конструкцій потужністю до 6000 к.с.

У ХХ в. йшло безупинне конструктивне удосконалювання ДВЗ, пов'язане з розвитком авто- і літакобудування, створенням нових зразків військової техніки. З'явилися багатоциліндрові V-подібні і зіркоподібні двигуни, змінювалися конструкції карбюраторів. Будувалися двигуни як з водяним, так і з повітряним охолодженням. Збільшувався ступінь стиску в циліндрах. У 40-х рр. він досяг 6,5 - 6,8, а в теперішній час - 10...12. Зростає частота обертання колінчастого вала двигуна. Використовується електронне запалювання. На рис. 2.33 наведена діаграма енергетичного балансу автомобільного двигуна.

Вимоги екологічної чистоти ДВЗ, зменшення вмісту токсичних речовин у вихлопі привели до створення двигунів з верхнім розташуванням клапанів, упорскуванням палива в паливний колектор і форкамерно-смолоскиповим запалюванням. Починають використовуватися нагнітачі повітря. Це, крім всього іншого, дозволяє знизити витрати палива і збільшити потужність двигуна. Наприкінці 80-х рр. виникла тенденція використання в якості палива ДВЗ зрідженого газу. Одночасно з удосконалюванням двигунів зі зворотно-поступальним рухом поршнів ведуться пошуки кардинально нових конструктивних рішень.

У 1957 р. Ф. Ванкелем був розроблений роторно-поршневий ДВЗ. Будова двигуна Ванкеля показана на рис. 2.34. У ньому застосований обертовий ротор (поршень), розміщений в розточці – робочій камері корпусу, що має форму епітрохоїди. Ротор установлений на валу і жорстко з'єднаний із зубчастим колесом, що входить у зачеплення з центральною нерухомою шестірнею. Грані ротора скочують по поверхнях камери, відтинаючи змінні об'єми. Практичне застосування знайшли тригранні ротори з відношенням радіуса шестерні і зубчастого колеса 2:3. Двигун Ванкеля більш компактний, ніж ДВЗ звичайної схеми аналогічної потужності і дозволяє реалізовувати чотиритактний робочий цикл без механізму газорозподілу. Сумішоутворення, запалювання, охолодження і відведення газів, що відробили, здійснюються так само, як і у звичайному ДВЗ.

Одночасно з двигунами на газоподібних паливах (природний газ) та паливах, що легко випаровуються (бензини) розроблялися двигуни на важкому паливі, у тому числі на сирій нафті. У 1806 р. К. і Ж.Н. Ньепси розробили і виготовили перший нафтовий двигун, але запустити його не змогли. У період з 1884 по 1890 рр. в досить значних кількостях випускалися стаціонарні калоризаторні двигуни, що працювали на гасі і більш важких сортах пального, а також на сирій нафті. У них для запалення суміші палива і повітря використовувалися порожні калильні кулі - калоризатори, на розпечену поверхню яких і подавалося пальне. В Україні калоризаторні двигуни називали "нафтянками" і використовували до 20-х рр. ХХ в. Конструкція такого двигуна показана на рис. 2.35.

У 1892 р. з'явився двигун англійця Акройда, що працював на нафті. В циліндрі двигуна повітря стискувалося до високого тиску, а потім більша його частина випускалася в окрему камеру, стінки якої перед пуском двигуна розжарювалася паяльною лампою. Нафта подавалася в ту ж камеру, випаровувалася і займалася від розпеченої поверхні. Двигун Акройда відрізнявся від калоризаторного більш високим ступенем стиску повітря.

У 1892 р. німецький інженер Р. Дизель (1858 - 1913 рр.) висунув ідею "раціонального теплового двигуна", одержав патент на нього і у 1897р. побудував зразок ДВЗ із механічним розпилюванням і самозапалюванням від стиску. Компресорне розпилення палива стисненим повітрям Дизель реалізувати не зміг, але пізніше воно широко застосовувалося. Двигун за прізвищем винахідника одержав назву "дизель".

В дизелі (рис. 2.36) піддається стиску не паливна суміш, а чисте повітря. Застосовується 11 – 12 разовий стиск, в результаті якого температура повітря збільшується до 500 – 600 °С. Коли стиск завершується, в циліндр упорскується паливо. Робиться це за допомогою форсунки, що працює від стисненого повітря, яке нагнітається компресором, або потужним насосом. Запалювання палива здійснюється внаслідок високої температури повітря в циліндрі. Час горіння палива значно більший ніж час горіння суміші бензин – повітря в ДВЗ, поршень здійснює робочий хід, наприкінці якого відпрацьовані гази викидаються в атмосферу.

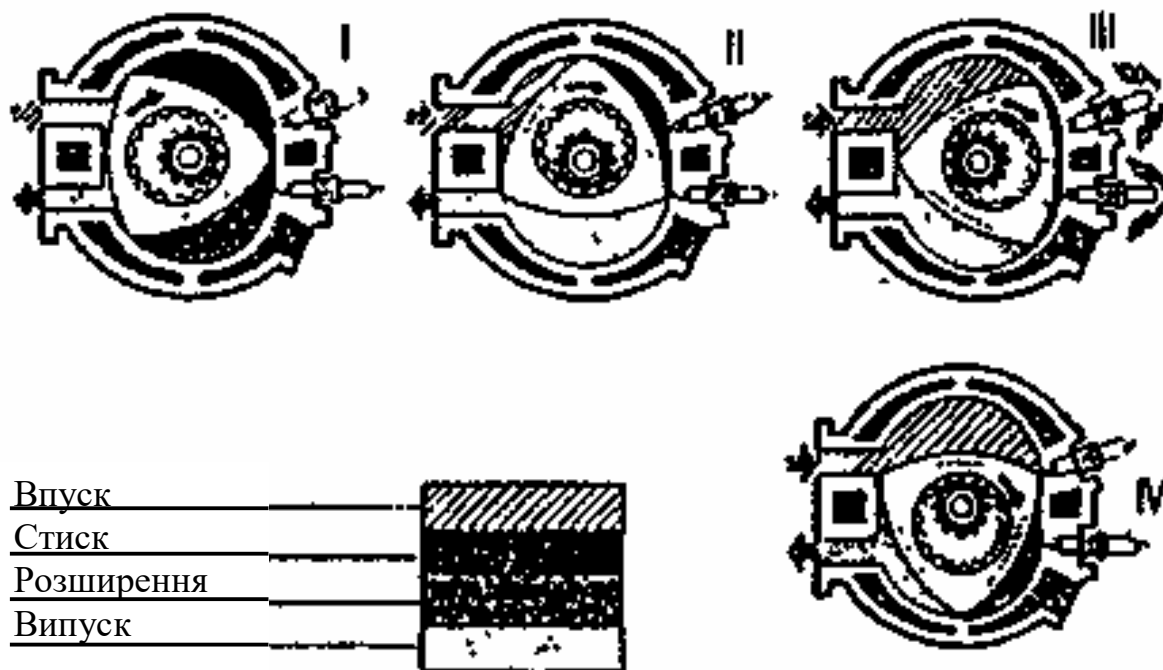


Рис. 2.34. Будова і робота двигуна Ванкеля

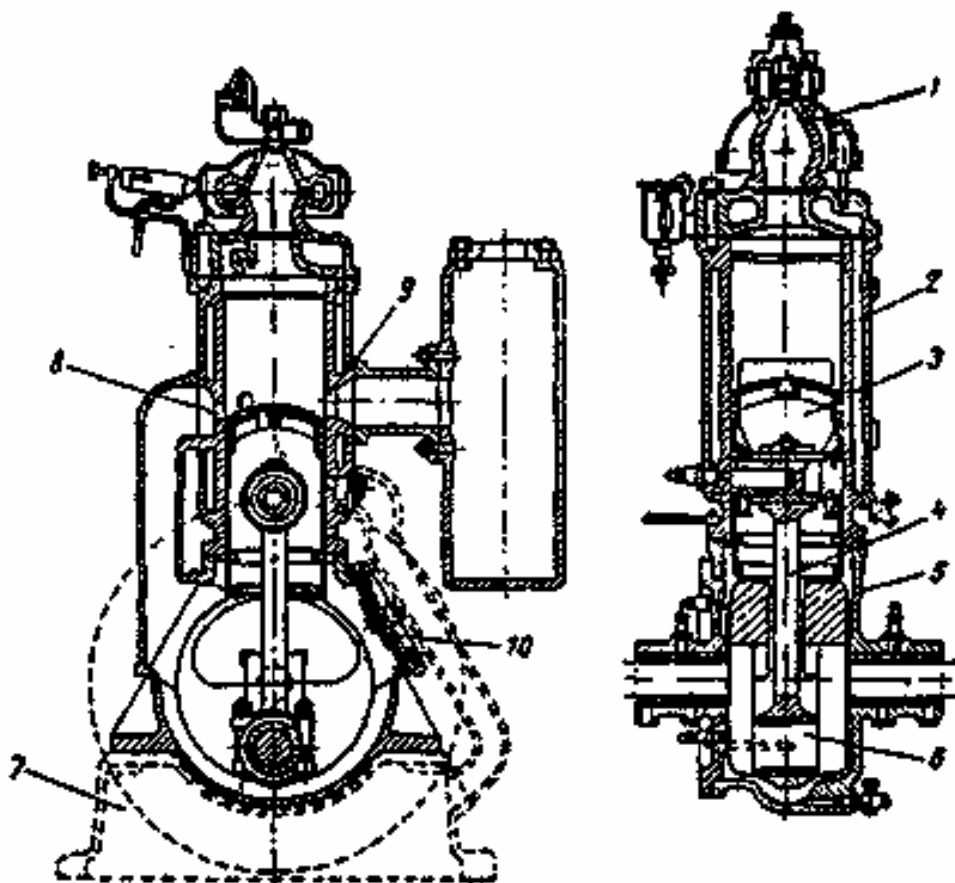


Рис. 2.35. Схема калоризаторного двигуна: 1 - калоризатор, 2 - циліндр, 3 - поршень, 4 - шатун, 5 - картер, 6 - вал, 7 - фундаментна плита, 8 - продувальні вікна, 9 - випускні вікна, 10 - випускний клапан

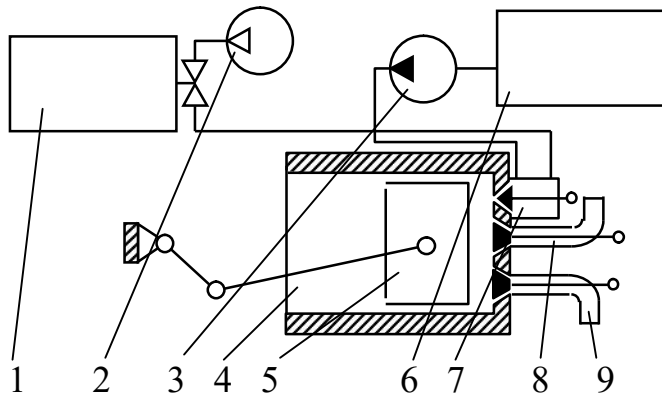


Рис. 2.36. Схема дизеля: 1 – балон стисненого повітря; 2 – компресор; 3 – паливний насос; 4 – циліндр; 5 – поршень; 6 – паливний бак; 7 – форсунка; 8 – випускання газів; 9 – впускання повітря

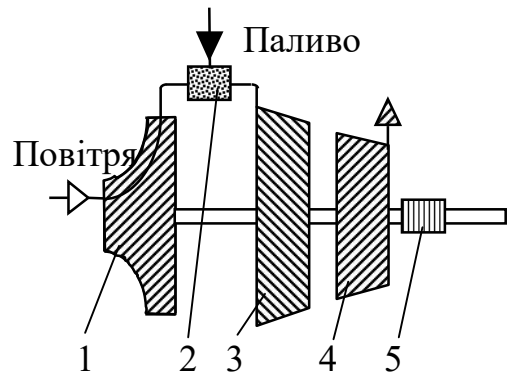


Рис. 2.37. Схема газотурбінного двигуна: 1 – компресор; 2 – камера згоряння; 3 – компресорна турбіна; 4 – тягова турбіна; 5 – редуктор

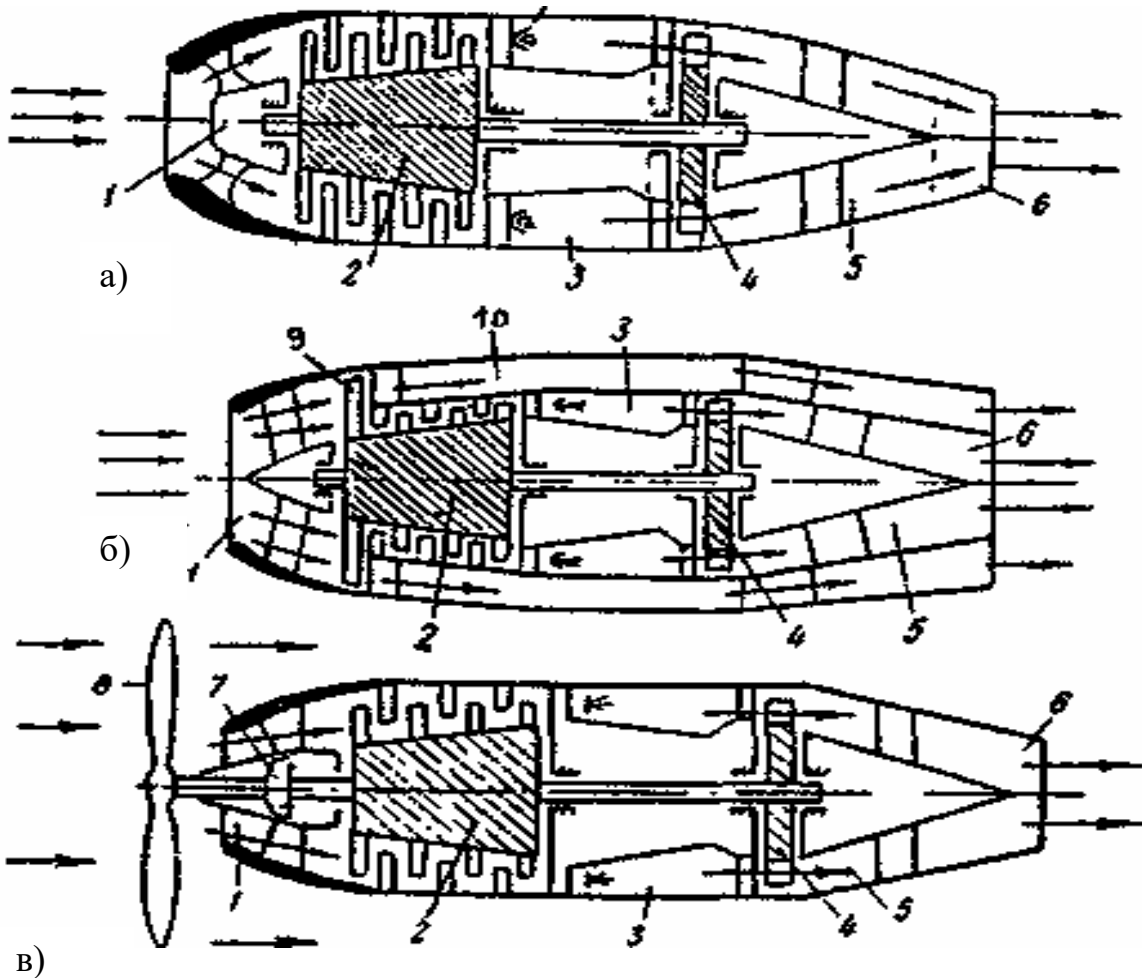


Рис. 2.38. Схеми турбореактивних двигунів: а – одноконтурного; б – двоконтурного; в – турбогвинтового, 1 – забірنا частина, 2 – компресор, 3 – камери згоряння, 4 – турбіна, 5 – конус, 6 – реактивне сопло, 7 – редуктор, 8 – повітряний гвинт, 9 – вентилятор, 10 тунель

Дизель виявився більш економічним двигуном, ніж бензиновий (див. рис. 2.33) – ККД біля 38%. Він може мати значно більшу потужність на одиницю маси.

У Росії перший дизель був побудований на Путиловському заводі в 1899 р. під керівництвом професора Г.В. Тринклера. Даний двигун, спроектований ще у 1897 р., був безкомпресорним з безпосереднім упорскуванням палива форсункою в циліндр. Методи теплового розрахунку дизелів розробив у 1906 р. В.І. Гриневицький (1871 -1919 рр.).

У 1903 р. на Сормовському заводі був побудований перший у світі теплохід "Вандал". На ньому установили три трициліндрових чотиритактних дизелі конструкції заводу Е. Нобеля по 120 к.с. кожний. У 1904 р. спущений на воду російський теплохід "Сармат", що оснащувався двома двигунами заводу Нобеля по 180 к.с. при 240 об/хв. У 1905 р. аналогічні двигуни були встановлені на канонерських човнах типу "Шквал". Перші суднові дизелі конструктивно практично не відрізнялися від стаціонарних, але були більш швидкохідними, з меншим ходом поршня і регульованою частотою обертання колінчастого вала.

У 1908 р. завод Е. Нобеля почав випуск перших у світі чотиритактних реверсивних дизелів для підводних човнів типу "Мінога". Їх потужність складала 120 к.с. при частоті 400 об/хв. У тому ж році американська фірма „Стандарт мотор конст” побудувала чотиритактний двигун подвійної дії потужністю 500 к.с.

Двигуни важкого палива розвивалися як дизелі і напівдизелі, двотактні і чотиритактні. Напівдизель відрізняється меншим, ніж у дизеля, ступенем стиску - до 21. Запалювання в ньому здійснюється від розпечених головок поршнів, що виконують ту ж функцію, що і калильні кулі в калоризаторному двигуні. Певний час спостерігалася тенденція відмови від компресора для розпилення палива. Помітне поширення одержали безкомпресорні системи живлення дизелів з насосом-форсункою, що розвиває тиск до 1700 атм. В потужних дизелях вантажних автомобілів упорскування палива здійснюється безпосередньо в циліндри, а в швидкохідних дизелях легкових машин - у передкамери або вихрові камери. Число клапанів на кожен циліндр збільшилось до 4...5.

Удосконалювання дизелів продовжується. У 1997 р. був випробуваний дизель з електронним керуванням форсунками і клапанами, призначений для легкових автомашин. При цьому використовуються клапани електричного або електрогідравлічного типу, а форсунки - електромагнітного або п'єзоелектричного, з тиском 1500 атм. Реалізоване двоступінчасте упорскування палива. Усе це дозволяє знизити шум і вібрації, підвищити швидкодію, економічність і екологічну безпеку двигуна.

Дизелі знайшли широке застосування як двигуни автомобілів, тепловозів, тракторів, танків, важких літаків, річкових і морських суден. Найбільший у світі судновий дизель швейцарської компанії "Зульцер бразерс" має потужність 41920 кВт при 96 об/хв.

2.7.5. Газотурбінні двигуни

В другій половині ХХ в. з поршневиими ДВЗ успішно конкурують газотурбінні (ГТД) і турбореактивні (ТРД) двигуни [25, 26]. Схема ГТД показана на рис. 2.37. Історія його створення нерозривно пов'язана з розвитком авіації.

У 1791 р. англієць Д. Барбер запатентував тепловий двигун, у якому пальна суміш повітря і газу нагніталася в камеру згоряння, а продукти згоряння подавались на лопаті колеса турбіни, викликаючи його обертання. Дана схема цілком відповідала принципу, реалізованому в сучасних ГТД. Барбер надовго випередив технічні можливості свого часу. Пізніше англієць В.Ф. Ферніхоу в 1850 р. запропонував конструкцію комбінованої парогазової турбінної установки, яку також в той час ще не можливо і не потрібно було удосконалювати та виготовляти.

Перший дослідний зразок ГТД був сконструйований та випробуваний у 1897 р. П.Д. Кузьминським (1840 - 1900 рр.). Двигун являв собою турбіну, що працювала на парогазовій суміші, утворюваній під постійним тиском у камері згоряння. Паливом служив гас. Ресурс турбіни був невеликим через відсутність жароміцних сталей.

Роботи зі створення ГТД велися й в інших країнах. У 1900 р. у Німеччині Штольц розробив і побудував газову турбіну постійного тиску її, але замість розрахункових 200 к.с. одержав близько 20 к.с. У 1902 р. у США Мосс створив ГТД з окремим повітряним компресором, що приводився паровою турбіною. У 1904 р. у Франції Арменго створив газову турбіну постійного тиску, але вона працювала тільки на холостому ході. Аналогічні досліди проводили в 1902 р. у Німеччині Хольцварт і у Франції Барбеза. Хольцварт одержав на своїй установці 200 к.с., Барбеза - 2 к.с. У 1909 р. російський інженер Н. Герасимов запропонував використовувати газову турбіну як авіаційний двигун. Однак забезпечити в той час тривалу роботу ГТД було неможливо через відсутність жаростійких сплавів, що можуть працювати при 500...600 °С. Не була розроблена теорія газових турбін. У 20-х рр. ГТД все ще вважали безперспективними. У 1924 р. В.І.Базаров удосконалив схему газотурбінної установки (ГТУ) і її конструкцію. Він запропонував конструкцію авіаційного двигуна, в якому потужність турбіни витрачалася на привод відцентрового компресора й обертання повітряного гвинта. Дана схема була через 13 років запатентована в Англії Ф. Уїтлом і в Німеччині П. фон Охайном [26, 68].

Таким чином, наприкінці 20-х рр. сформувалися основні положення щодо конструкції та робочих параметрів ГТУ: до складу установки входять компресори для стиску повітря, камери згоряння палива і газова турбіна, що працює на газах, які утворюються при згорянні палива. Температура газів на вході турбіни повинна бути не нижча 750°C. При цьому ККД складає 38%, а при температурі 1300°C - 55%. Значна частина потужності, одержана турбіною, витрачається на привод компресора. Конструктивна реалізація складових ГТУ повинна відповідати її призначенню. Для ство-

рення ГТУ необхідні міцні жаростійкі сталі, а також високоефективні компресори.

Перший одноступінчастий вакуумний компресор - вентилятор був створений А.А. Саблуковим у 1832 р. У 1854 р. Н. Теплов розробив і випробував осьовий багатоступінчастий повітряний компресор із ККД 83%. Приблизно на 30 років пізніше аналогічний компресор запропонував Парсонс. У 1929 р. Б.С. Стечкин розробив теорію і методи теплового розрахунку повітряно-реактивних двигунів.

Усе це створило передумови для реалізації ГТД у 30-х рр. Причиною їх розробки була криза поршневих авіаційних двигунів, з якими найбільш досконалі літаки того часу у горизонтальному польоті досягали максимальних швидкостей не більших 700 – 750 км/год. Для подальшого збільшення швидкості польоту необхідно було нарощувати потужності двигунів, а це приводило до багаторазового зростання їх маси та витрат палива. Наприклад, поршневий авіаційний двигун потужністю 12200 к.с. мав би масу 6 т. У зв'язку з цим, у Великобританії, Франції, США, СРСР, Італії і насамперед у Німеччині почалися строго секретні роботи зі створення ГТД.

Фірма „Хейнкель” (Німеччина) розробила і випробувала перший дослідний зразок ТРД HeS-1 вже в 1937 р. До його складу входив відцентровий компресор, одноступінчата доцентрова турбіна і випарна камера згоряння. Відпрацьовані гази виходили через реактивне сопло, створюючи реактивну тягу. Двигун мав масу 360 кг і забезпечував при частоті обертання 11300 об/хв тягу у 500 кгс. У 1939 р. літак He-178, оснащений HeS-1 зробив перший політ.

У 1941 р. піднялись у повітря англійський та італійський дослідні літаки з ТРД, а в 1942 р. - американський турбореактивний винищувач „Еркомет”.

У СРСР роботи зі створення ГТД велися КБ під керівництвом А.А.Микуліна, В.Я. Климова, А.М. Люлька і інших. Перший радянський авіаційний ГТД з рідинним охолодженням був спроектований у 1936 р. під керівництвом В.В. Уварова (1899 – 1977 рр.).

У 1941 - 1945 р. у Німеччині були розроблені серійні ТРД Jumo-004 і BMW-003 з тягою 1000 кгс. У Великобританії в роки Другої Світової війни серійно випускались ТРД "Дервент" і "Нін".

Пізніше з'явилися турбогвинтові двигуни (ТГД). В них турбіна обертає не тільки компресор, а і повітряний гвинт. Частина енергії газів, що залишилася створює реактивну тягу. Будова ТРД і ТГД показана на рис. 2.38. Потужність сучасних авіаційних ГТД доходить до 20 тис. к.с.

Одночасно з авіаційними з 30-х рр. розроблялись стаціонарні, а з 1945 р. - транспортні газотурбінні установки.

У 1930 р. у СРСР була організована газотурбінна лабораторія В.М.Маковського (1870 - 1941 рр.), в якій були створені теорія і методи ро-

зрахунку, що дозволили побудувати і випробувати в 1940 р. стаціонарну газову осьову двоступінчасту турбіну потужністю 1000 к.с.

У 1938 - 1941 рр. у Швейцарії під керівництвом А. Стодола (1859 - 1942 рр.) також велися активні роботи зі створення стаціонарних ГТУ і в 1939 р. фірмою "Броун Бовері" були виготовлені агрегати потужністю 2 і 4МВт для електростанції. У США перші стаціонарні ГТУ з'явилися в 1949р. А в 1956 р. сумарна потужність стаціонарних агрегатів досягла 1млн.кВт.

Збільшуються потужності енергетичних ГТУ, які використовуються в якості привода генераторів на електростанціях і будуються за єдиними типовими схемами (рис. 2.39). У 1981 р. фірма "Броун Бовері" (Швейцарія) виготовила стаціонарну енергетичну ГТУ типу LGT11/8 потужністю 220МВт.

Стаціонарні ГТУ застосовуються також в хімічній і металургійній промисловості. Зокрема, турбіни на доменному газі експлуатуються у Росії, Японії, Італії, Індії. Оскільки до їх ефективності не пред'являється особливо жорстких вимог, конструкція ГТУ досить проста. Вони працюють при відносно низьких температурах і тисках і тому мають підвищений ресурс.

Однак найбільше поширення одержали стаціонарні ГТУ, що використовуються як привод відцентрових нагнітачів газу на газоперекачувальних компресорних станціях. Дані станції входять до складу газоперекачувальних агрегатів (ГПА) магістральних газопроводів. У 1978 р. частка ГПА з ГТУ складала 73%, а загальна потужність ГПА досягла 11,5млн.кВт. ГПА з ГТУ безупинно удосконалюються. У 1982 р. виробниче об'єднання Невський завод ім. В.И. Леніна освоїло промисловий випуск ГТУ типу ГТН-25 потужністю 25000 кВт із температурою згоряння газу 1163 К, ККД - 29,4% і міжремонтним ресурсом 20 тис. год.

Один з перспективних напрямків розвитку ГТУ - створення станцій з газифікацією вугілля. Розробка таких ГТУ ведеться у Великобританії, Італії, Німеччині й інших країнах. Дослідно-промислова ГТУ "Келлерман" (Німеччина) такого типу забезпечує зниження питомих капітальних витрат у порівнянні з пилувугільною паросиловою установкою на 25%.

ГТУ великої потужності експлуатуються на парогазових електростанціях, ефективність яких внаслідок комбінованого використання енергії пари і продуктів згоряння палива значно вища, ніж у електростанцій, оснащених тільки ГТУ.

Суднові ГТУ одержали бурхливий розвиток в останні 20 років. На кораблях і суднах установлюються як важкі так і легкі ГТУ. ГТУ важкого типу застосовуються на потужних кораблях в якості привода гребних гвинтів. За конструкцією вони аналогічні промисловим ГТУ. Легкі установки авіаційного або близького до авіаційного типу експлуатуються на суднах на повітряній подушці та на підводних крилах.

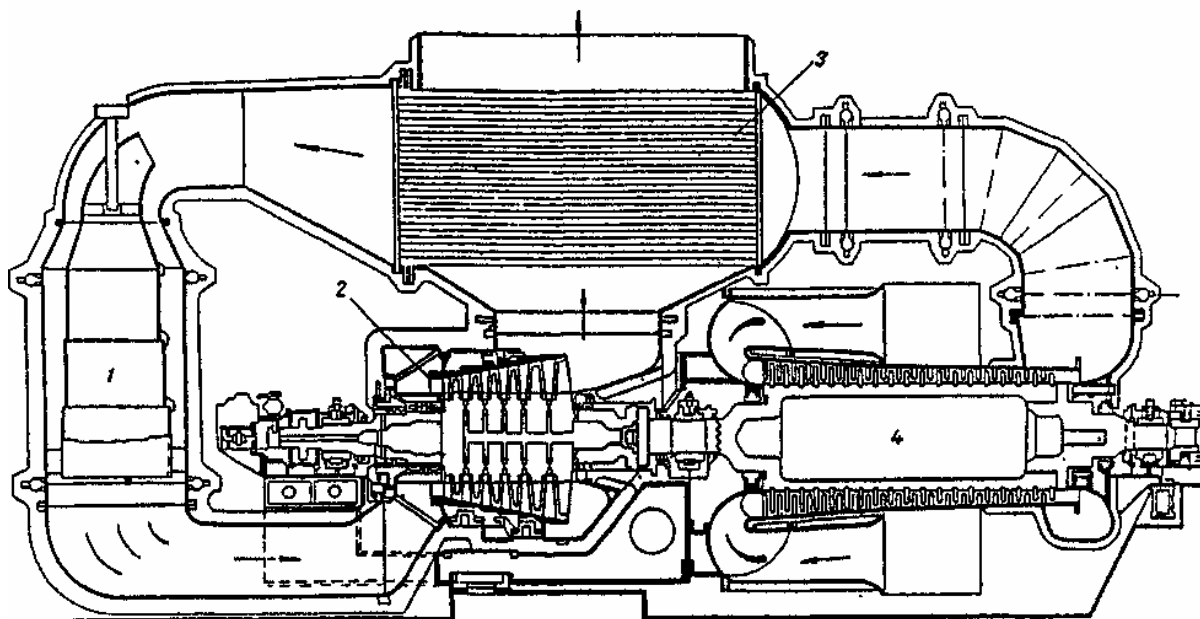


Рис. 2.39. Схема газотурбінної установки потужністю 7,5 МВт, 3000 об/хв.:
1 – камера згоряння, 2 – турбіна, 3 – регенератор, 4 – осьовий компресор

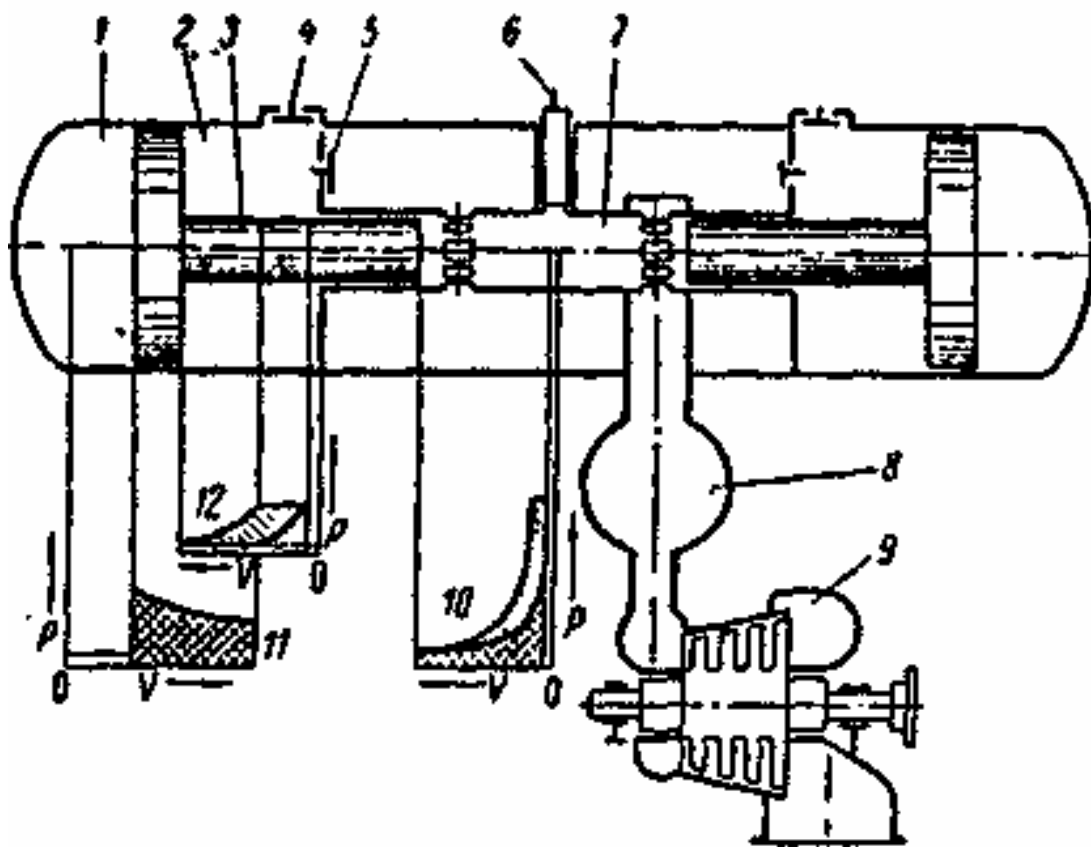


Рис. 2.40. Схема газотурбінної установки з вільнопоршневим генератором газу: 1 – повітряні амортизатори, 2 – компресори, 3 – поршні компресорів, 4 і 5 – впускні і випускні клапани, 6 – форсунка генератора газу, 7 – циліндри генератора газу, 8 – газозбірник, 9 – газова турбіна, 10, 11, 12 – діаграми робочих процесів в двигуні і компресорі

У 50-х рр. на суднах почали установлювати ГТУ з вільнопоршневими генераторами газу (ВППГ). ВППГ працює на важких, важкозаймистих паливах. Порівняно низька температура газів дозволяє використовувати в якості палива більш дешеві матеріали і забезпечити більший ресурс роботи турбіни. Будова ВППГ показана на рис. 2.40.

Вільнопоршневий компресор був винайдений Де Пескаром у 1922 р. На початку 30-х рр. у Великобританії, Франції і Німеччині проводилися дослідницькі роботи, що завершилася створенням у 1938 р. генератора газу.

Конструктивно він являє собою двотактний дизель з водяним охолодженням, але без елементів одержання механічної енергії – поршнів циліндрів. Звичайно ВППГ містить по два циліндри і компресори, розташовані в ряд. Повітря в порожнині між поршнем і кришкою компресора служить амортизатором, під дією якого на визначеному етапі робочого циклу поршень повертається до центра генератора. Газорозподіл у циліндрах двигуна щільний. Синхронний рух поршнів забезпечується легкими тягами між ними.

Працює генератор таким чином. Після запалювання в циліндрах 7 (див. рис. 2.40) чергової порції палива, поршні компресорів під дією тисків продуктів згоряння, створюваних на торцях штоків 3, розходяться у протилежні сторони, стискаючи повітря в амортизаторах 1. Одночасно в порожнинах 2 компресорів створюється розрідження, внаслідок чого відкриваються впускні клапани 4 і повітря з атмосфери заходить в компресори. На етапі падіння тиску в циліндрах 7, поршні під дією стиснутих амортизаторів 1 повертаються у вихідні положення до центру генератора. Під час їх повернення повітря з порожнин 2 витискається через впускні клапани 5 і щілини у порожнини циліндрів 7, де змішується з паливом, поданим форсункою 6. Внаслідок високого тиску (до 100 атм.) і температури (до 700°C) повітря забезпечується самозапалювання палива і більш повне його згоряння. Продукти згоряння проходять через газозбірник 8 і подаються на лопатки турбіни 9. Температура і тиск на вході турбіни не великі – відповідно 450...500°C і 3...4 атм, що дозволяє підвищити термін служби ГТУ навіть і при використанні менш дорогих матеріалів.

У 1950 р. був випробуваний перший легковий автомобіль із ГТД фірми "Бритіш Ровер" потужністю 150 к.с., пізніше з'явилась 10-тонна газотурбінна вантажівка. Автобуси і легкові автомобілі з ГТД виготовлялися в Італії, США і СРСР.

Перші залізничні локомотиви з ГТД - газотурбовози були побудовані в США на початку 50-х рр. компаніями "Дженерал електрик" і "Американ локомотив". У 1958 р. в США був випробуваний трисекційний газотурбовоз потужністю 8000 к.с. з ККД 18%. Паливом служив мазут, швидкість руху досягала 200 км/год. У СРСР перший газотурбовоз потужністю 3500к.с. був випущений у 1959 р. Сучасні газотурбовози розвивають швидкість до 290 км/год. Для підвищення ККД транспортні ГТД будують з

теплообмінниками, що підігрівають повітря, яке надходить у камери згоряння.

Світовий досвід використання ГТД на танках нараховує всього три приклади. Першим з них був шведський безбаштовий танк Strv-103 (1966р.). На ньому установили дизель К-60 "Роллс-Ройс" 240 к.с. з вертикальним опозитним розташуванням циліндрів і ГТД "Вольво" 330 к.с., що працювали спільно. У СРСР перший у світі великосерійний основний танк із ГТД Т-80БВ був прийнятий на озброєння в 1976 р. Розробки танкового ГТД велися з 1958 р. в ДКБ-29, ДКБ ЧТЗ і НВО ім. В.Я. Клімова. Двигун радянського танка ГТД-1000ТФ мав потужність 1100 к.с. Пізніше, у 1985р. на танку Т-80У був встановлений двигун ГТД-1250 потужністю 1250 к.с. Наприкінці 1979 р. у США почався серійний випуск танків М1 "Абрамс" із ГТД AGT-1500 потужністю 1500 к.с.

Робота зі створення великопотужних (до сотень тисяч кВт) газотурбінних агрегатів стимулюється їх високим ККД. При температурі 750°C ККД доходить до 38%, при 1200...1300°C - до 50%. Запуск газотурбінної установки може бути здійснений за 15 сек, а необхідні виробничі площі в два рази менші, ніж у паротурбінної аналогічної потужності. Основні напрямки удосконалювання ГТД - використання охолодження для лопатей турбіни і застосування жаростійких матеріалів, що дозволяють підвищити робочу температуру турбіни.

В даний час газотурбінні агрегати виготовляються для електростанцій, суден, потужних локомотивів залізниць, танків і великих автомобілів.

2.7.6. Двигуни зовнішнього згоряння

Поршневі двигуни зовнішнього згоряння з постійним робочим тілом у циліндрі і регенерацією теплоти називають двигунами Стірлінга (ДС або стірлінгами). Р. Стірлінг - шотландський пастор - винайшов цей двигун у 1816 р. Внаслідок ряду причин ДС спочатку не одержав поширення, однак у другій половині ХХ в. він знову став предметом досліджень і тепер розглядається як перспективний. Розробці Р. Стірлінга передують роботи ряду винахідників - Аментона 1699 р., Г. Вуда 1759 р., Глейзбрука 1797 р. Стірлінг винайшов двигун із незамкненим циклом і зовнішнім нагріванням у циліндрі атмосферного повітря для почергового одержання в ньому тиску або розрідження, що забезпечувало рух поршня.

ДС не могли конкурувати з паровими машинами, але, незважаючи на це, у ХІХ в. в невеликих кількостях будувались малопотужні (до 5 к.с.) зразки двигунів даного типу. ДС показав себе надійним і досить ефективним. Спроба зробити ДС більшої потужності (близько 200 к.с. при 9 об/хв.) виявилася невдалою, внаслідок великих розмірів двигуна - діаметр циліндра 4,2 м, хід поршня 1,5 м (розробка Д. Еріксона, 1853 р.). Поява ДВЗ на деякий час закрила питання про удосконалювання ДС.

У 40-і рр. ХХ в. фірма "Філіпс" почала розробку ДС на базі сучасних знань і досягнень техніки. Їй удалося створити двигун із замкненим циклом. Стірлінг фірми "Філіпс" має циліндр, у якому знаходиться гелій або водень під тиском 10...20 МПа. Під час роботи робоче тіло не замінюється, а лише змінює свій об'єм в результаті почергового нагрівання та охолодження. Корисна енергія виробляється за рахунок того, що на стиск холодного газу витрачається менше енергії, ніж на розширення гарячого. Регенератор розділює циліндр на гарячу (верхню) і холодну (нижню) зони. До гарячої зони іззовні підводиться теплота від нагрівача, у якому безупинно згоряє паливо, від нижньої зони теплота відводиться охолоджувачем, що має відповідний розмір. У циліндрі знаходяться два механічно зв'язані поршні - робочий і витискальний. Газ стискається в холодній зоні і надходить у гарячу. Тут він нагрівається, після чого подається у холодну зону, де розширюється і виконує корисну роботу. Регенератор відбирає частину теплоти при проходженні гарячого газу і віддає її газу при зворотному русі після охолодження і стиску. Поступальний рух поршнів перетворюється у обертальний за допомогою кривошипно-повзунного (або іншого) механізму. Внутрішній об'єм двигуна повністю герметизується для уникнення витоків робочого тіла, а обертання вала виводиться за допомогою герметичної муфти. Робочий цикл здійснюється за чотири такти. У зв'язку із тим, що паливо горить безупинно, токсичних речовин у вихлопних газах мало. Стірлінг працює тихо і плавно.

Проблема герметизації енергії і передачі обертання вала двигуна була вирішена у 50-х рр. за допомогою металевої діафрагми, що деформується. У 60-х рр. для ущільнення була використана діафрагма із високотемпературної гуми "вітон", що має ресурс 25000 год. при температурі 100°C. Можливо також використання магнітних герметичних муфт.

У 60-80-х рр. дослідження стірлінгів розпочали великі автомобільні та електротехнічні фірми - "Дженерал моторс", "Форд", "МАН", "Дженерал електрик" і інші. Були виконані розробки ДС з ядерним і сонячним джерелами енергії для космічних апаратів. Сучасні стірлінги за технічним ККД і ресурсом не поступаються дизелям, температурні навантаження в них нижчі ніж в газових турбінах. Крім того, в ДС при роботі на рідкому паливі використовується регенеративне нагрівання внутрішнього і зовнішнього регенераторів повітря, що надходить у камеру згорання.

Окрім циклу нагрівання та регенерації, можлива реалізація зворотного (холодильного) циклу Стірлінга. У 1834 р. Д. Гершель описав його теоретично, а в 1866 р. А. Кірк виготовив холодильну машину, в якій був реалізований зворотний цикл.

У 1953 р. згідно з принципом Стірлінга був створений зріджувач повітря, а пізніше – побудований ряд криогенних машин різної продуктивності (машини Колінза і Джиффорда - Мак-Магона).

Різновидом стірлінга є вільнопоршневий двигун У. Біла. Аналогічний двигун розроблявся для апарата штучного кровообігу, торпедного озброєння і т.д.

Застосування стірлінгів можливо у достатньо широкому діапазоні потужностей. Вони можуть бути використані в холодильній техніці, в якості двигунів автомобілів, енергетичних установок різного виду, криокомпресорів і т.д. Запропонований ряд перспективних проектів ДС різного призначення, однак поки не вдається зменшити їх розміри, спростити конструкцію і знизити вартість.

2.8. Атомна енергетика

Виникнення атомної енергетики було результатом розвитку фундаментальної ядерної фізики кінця ХІХ – початку ХХ вв.

Древні грецькі і римські філософи, такі як Демокрит (460 -370 рр. до н.е.), Епікур (341 - 270 рр. до н.е.), Л. Кар (99 - 55 рр. до н.е.) змогли стверджували, що все в природі складається з атомів. У ХVІІ – ХІХ вв. дане ствердження стало основою фізики і хімії. Кінець ХІХ в. ознаменувався рядом відкриттів, пов'язаних зі структурою речовини [22 - 24].

У 1895 р. В.К. Рентген (1845 - 1923 рр.) і одночасно та незалежно від нього українець І. Пулюй відкрили Х-промені, які пізніше почали називати рентгенівськими. В 1896 р. А. Беккерель (1852 - 1908 рр.) відкриває явище радіоактивності. У 1898 р. Д.Д. Томпсон (1856 - 1940 рр.) відкрив електрон і запропонував першу модель атома, що враховує наявність електронів в його структурі. У тому ж році М. Кюрі (1867 - 1934 рр.) і П. Кюрі (1859 - 1906 рр.) знайшли радіоактивні елементи полоній і радій. У 1902 р. Е. Резерфорд (1871 - 1937 рр.) запропонував планетарну модель атома й у 1903р. разом з Ф. Содді (1877 - 1956 р.) сформулював закон радіоактивного розпаду. П. Кюрі й А. Лаборд установили факт безупинного виділення теплоти радієм - приблизно 100 кал за годину кожним грамом речовини, що ознаменувало відкриття нового джерела енергії – атомної енергії.

У 1905 р. А. Ейнштейн (1879 - 1955 рр.) сформулював принцип еквівалентності маси й енергії. У 1911 р. Е. Резерфорд відкрив атомне ядро і в 1919 р. здійснив першу штучну ядерну реакцію, бомбардуючи α - частками атоми азоту. У 1913 р. Н. Бор (1885 - 1962 рр.) використовуючи квантову теорію М. Планка (1858 - 1947 рр.) і модель Резерфорда розробив теорію планетарного атома.

1919 - 1940 рр. були ознаменовані бурхливим розвитком ядерної фізики на основі досліджень Н. Бора, А. Ейнштейна, В. Паулі (1900 - 1958рр.), Е. Фермі (1901 - 1954 рр.), М. Планка, Д. Франка (1882 -1964 рр.), Г. Герца (1887 - 1975 рр.), П. Дірака, У. Гейзенберга (1901 - 1976 рр.), Л. Де Бройля (1892 - 1987 рр.), Е. Шредінгера (1887- 1961 рр.), Е. Резерфорда, П.Кюрі (1893-1981 рр.), Е. Лоуренса (1901 - 1958 рр.), І. Кюрі і Ф. Жоліо-Кюрі, Д.Д. Іваненко і багатьох інших учених різних країн. У 1920 р. Ф. Астон (1877 - 1945 рр.) створив маспектрометр і знайшов ізотопи неону, а

пізніше і ізотопи ряду інших елементів. У 1932 р. Дж. Кокрофт і Е. Уолтон експериментально підтвердили теорію Ейнштейна про відповідність маси й енергії. Дослідження ізотопів привело до відкриття в 1935 р. дейтерію (Г.Юрі, Ф. Бриквед, Г. Мерфі), а в 1935 р. урану-235 (А. Демпстер). У 1932р. Д. Чедвик (1891 - 1974 рр.) відкрив нейтрон, а К. Андерсон - позитрон. У тому ж році В. Гейзенберг і Д.Д. Іваненко (н. у 1904 р.) створили протонно-нейтронну теорію ядра.

У 1934 р. І. і Ф. Жоліо - Кюрі відкрили штучну радіоактивність, а Фермі почав досліди із впливом на важкі ядра нейтронами. У 1937 р. І.Кюрі спостерігала ділення урану під впливом повільних нейтронів. У 1938 р. було відкрите розщеплювання урану - О. Ган (1879 - 1968 рр.), Ф.Штрассман (1902 - 1980 рр.), Лизе Мейтнер (1878 - 1968 рр.). Теорія даного явища була дана Я. Френкелем (1894 - 1952 рр.), Н. Бором і Уіллером.

У 1939 р. Ф. Жоліо-Кюрі, Г. Хальбан і Л. Коварський показали можливість ланцюгової реакції в урані з виділенням при розподілі нейтронів. Їх висновки були такими: у зв'язку з тим, що при кожному діленні виділяється в середньому три нейтрони, реакція має ланцюговий вибуховий характер; загальна енергія, що звільняється при діленні ядер, величезна; імовірність ділення атома тим більша, чим повільніше переміщуються нейтрони; уповільнення нейтронів можна досягти введенням графіту, а затримки розвитку реакції - введенням карбиду бора, що поглинає нейтрони. Були виконані розрахунки і досліди, що підтвердили теоретичні висновки. Поразка Франції у війні з Німеччиною перешкодила продовженню робіт.

У СРСР дослідження з розщеплювання ядер проводили Я. Зельдович (1914 -1987 рр.) і Ю. Харитон (1904 - 1996 рр.). У 1939 р. Г. Фльоров і К.Петржак відкрили мимовільний розпад урану. І.В. Курчатов на нараді з ядерної фізики зробив повідомлення про можливість ланцюгової реакції.

До середини 1939 р. учені світу досягли рівня знань, що дозволяв почати роботи з оволодіння енергією атома. Друга світова війна розділила фізиків фронтами і на перший план вийшли військові аспекти. Наукові публікації з ядерної фізики припинилися. Зовнішня розвідка СРСР у 1939 - 1940 рр. одержала інформацію, що в Німеччині і Великобританії ведуться дослідження, що можуть привести до створення надпотужної зброї.

Роботи в Німеччині викликали занепокоєння фізиків- антифашистів. Вони інформували влади США про потенціал атомної зброї і небезпеку оволодіння нею фашистами. А. Ейнштейн знав про роботи в Німеччині і 2 серпня 1939 р. направив лист президенту США Ф.-Д. Рузвельтові про реальність створення нацистами потужної атомної бомби.

Восени 1939 р. провідні німецькі фізики Е. Шуман, В. Гейзенберг, К.-Ф. фон Вайцеккер, П. Гратек, О. Ган, В. Грот були об'єднані в "Уранове суспільство" при Управлінні армійських озброєнь Німеччини. Центром атомних досліджень став Берлінський фізичний інститут. Крім того, до роботи були залучені ряд фізико-хімічних інститутів і університетів. До 1940р. В. Гейзенберг і його група закінчили теоретичні розробки ядерного

реактора на урані і важкій воді. В 1940 р. було завершено будівництво першого дослідного реактора. Фірма "Ауергезельшафт" почала випуск металевого урану. Фірма "Сіменс" розробила технологію очищення графіту, який передбачалось використовувати в якості сповільнювача нейтронів. Проектувалося енергетичне забезпечення проекту. У 1941 р. німецький фізик Хоутерманс через Ф. Райхе, що емігрував передав фізикам США повідомлення про початок робіт у Німеччині зі створення атомної бомби.

У 1939 - 1941 рр. Німеччина мала всі умови для створення атомної зброї - потужну промисловість і достатні наукові кадри. Вайцеккер навіть подав заявку на конструкцію плутонієвої бомби. Був потрібний тільки час на розробку технологічних методів одержання урану-235, удосконалення реакторів і т.д. Однак німецькі вчені прийняли ряд невдалих теоретичних і технічних рішень, виправити які в Німеччині в 1942 - 1944 рр. уже не було можливості. Наприклад, німці використовували як сповільнювач важку воду, а не графіт. Теоретичні роботи в Німеччині не перейшли в практичні через труднощі із сировиною, помилки військових начальників - керівників проекту, недостатнього фінансування й інших причин, а головне - війна прийшла на територію Німеччини. Радянська армія врятувала Світ від німецької атомної бомби.

У Великобританії також проводили роботи з розробки атомної зброї. 16.09.41 р. британський військовий кабінет доручив концерну "Імперіал кемікал індастріз" ведення проекту „Трубний сплав” зі створення уранової бомби. Однак умов для його швидкої реалізації не було. Роботи відставали від американських і в 1942 р. припинилися. США не хотіли ділитися з англійськими союзниками атомними секретами.

Не було можливості оволодіти ядерною зброєю в 1940 - 1945 рр. і у Радянського Союзу. У 1940 р. в СРСР вважали, що створення атомної бомби в принципі можливо, але практично в найближчому майбутньому - нездійсненно. Саме такий висновок зробила комісія АН СРСР під головуванням академіка В.Г. Хлопіна (1890 - 1950 рр.). Вона рекомендувала лише стежити за відповідними публікаціями на Заході. Але з 1940 р. усі публікації з атомної проблеми припинилися - роботи стали засекретувати. Інформація надходила лише по лінії зовнішньої розвідки НКДБ.

Інша ситуація, ніж у країнах Європи, охоплених війною, склалася в США. З початком війни там опинилися А. Ейнштейн, Е. Фермі, Л. Сциллард, Е. Теллер, Х. Беті, Д. Франк, Ю. Вігнер, В. Вайскопф, П. Дебай і інші фізики. У 1943 р. у США приїхав Н. Бор. Після листа Ейнштейна був створений консультативний "Урановий комітет", що представив 1 листопада 1939 р. доповідь про реальність створення атомної бомби. 7 березня 1940р. Ейнштейн направив Рузвельтові повторний лист, але і далі продовжувалися лише обговорення та попередні дослідження проблеми. Тільки 13 серпня 1942 р. адміністрація США затвердила "Манхеттенський проект", як організацію, задачею якої були розробка і виробництво атомної бомби. Обсяг фінансування був колосальний. До реалізації проекту була залучена кіль-

кість людей, що перевищувала чисельність експедиційного корпусу Ейзенхауера, який висадився в Європі в 1944 р. Керівником проекту був призначений бригадний генерал Л. Гровс. Були побудовані "атомні" міста Оук-Рідж і Хенфорд, лабораторне місто в Лос-Аламосе. Розробка конструкції бомби була доручена Р. Оппенгеймеру (1904 - 1967 рр.), що працював у Каліфорнійському університеті в Берклі. Він став керівником Лос-Аламоської національної лабораторії.

2 грудня 1942 р. у Чікаго групою Е. Фермі (1901 – 1954 рр.) був пущений перший ядерний урано-графітовий реактор. Спочатку його потужність складала 0,5 Вт, але до 12 грудня вона досягла 200 Вт. У реакторі удалось здійснити керовану ланцюгову реакцію з природним ураном-235 і графітовим сповільнювачем нейтронів. Маса реактора складала 1250 т, з них графіт у блоках 106×106×418 мм - 425 т; 3200 уранових стержнів діаметром 56 мм мали масу 9 т, а 14500 елементів з окису урану - 45 т.

З початку 1943 р. у Хенфорді (штат Вашингтон) почалося будівництво заводів для розділення ізотопів урану і виробництва плутонію. Перший виробничий реактор був запущений у вересні 1944 р.

Уже після закінчення війни в Європі 16 червня 1945 р. на авіабазі Аламогордо в 5 год 30 хв був здійснений експериментальний атомний вибух - неконтрольована ланцюгова ядерна реакція, а 6 серпня 1945 р. на Хіросіму була скинута перша атомна бомба потужністю 20 кілотонн.

Бомба складалася з оболонки, у якій знаходився ядерний заряд, розділений на дві частини. Маса кожної частини була менша критичної, при якій відбувається ланцюгова реакція, що самопідтримується. З'єднання частин заряду за допомогою звичайної вибухівки з дистанційною запальною трубкою створювало критичну масу, що викликало ланцюгову реакцію ділення важких ядер вибухового характеру.

Оволодіння США атомною зброєю зробило необхідним створення в найкоротший термін радянської атомної бомби.

Ще в 1942 р. у відділенні науково-технічної розвідки держбезпеки СРСР була почата справа "Енормас", до якої збиралася розвідувальна науково-технічна інформація про ядерну зброю. Спочатку відомості про створення уранової бомби сприймалися недовірливо. Проте в жовтні 1942 р. Сталін прийняв академіків А.Ф. Йоффе і В.І. Вернадського з питання атомної проблеми. Приводом для цієї зустрічі був лист Сталіну Г. Фльорова, молодшого авіаційного техника - лейтенанта, а до війни - співробітника Курчатова. У 1942 - 1943 рр. П. Капіца кілька разів звертався до уряду з інформацією про початок робіт зі створення атомної бомби в США і Німеччині. У 1942 р. з наукових кіл, близьких до Р. Оппенгеймера, прийшла інформація про ядерний реактор Фермі в Чікаго. У зв'язку з цим, 11.02.43 р. Сталін підписав постанову про організацію робіт з військового використання атомної енергії. У квітні 1943 р. при АН СРСР була утворена Центральна лабораторія №2 з атомної проблеми. Керівником її став професор І.В. Курчатова. В 1944 р. інформація в „Енормас” показала, що в США

ведеться не тільки теоретична робота, але й інженерні розробки атомної бомби. 20.08.45 р. був створений Спеціальний комітет із проблеми №1 при ДКО (потім при РМ СРСР) на чолі із заступником голови РМ СРСР Л.П.Берія. Нарком боєприпасів СРСР Б.Л. Ванніков став начальником 1 ДУ при РМ СРСР. Їх задачею було створення науково-технічного забезпечення атомної зброї й атомної промисловості.

25 грудня 1946 р. о 18 год. під керівництвом Курчатова була реалізована керована ланцюгова реакція ділення ядер урану. 29 серпня 1949 р. на Семипалатинському полігоні був здійснений перший у СРСР атомний вибух, потужністю 22 кілотонни. Перша радянська атомна бомба РДС-1 була розроблена під керівництвом Ю.Б. Харитона (1904 - 1996 рр.).

При створенні РДС-1 був використаний науковий потенціал Заходу. Результати ряду атомних досліджень США й Великобританії були отримані радянською зовнішньою розвідкою. Крім цього, провідні західні фізики, у тому числі Р. Оппенгеймер, Н. Бор, Е. Фермі, Л. Сциллард і інші, тим чи іншим шляхом безкорисливо допомагали СРСР, вважаючи, що монополія США приведе до ядерної війни. Добута розвідкою інформація сприяла прискореній розробці радянської ядерної зброї, дозволила приймати однозначні рішення технічних проблем, а не перевіряти можливі варіанти. Однак основне - теоретична розробка проблеми з урахуванням отриманої інформації і технічна реалізація - були виконані радянськими вченими й інженерами. РДС-1 являла собою аналог першої американської атомної бомби. РДС-2 оригінальної конструкції була вдвічі потужніша, а за габаритами набагато менша РДС-1. Поява в 1949 р. радянської атомної бомби втримало США від спроби використання власного ядерного потенціалу проти СРСР.

Можливість керування швидкістю ланцюгової реакції розщеплення важких ядер наштовхнула на думку про використання теплоти, що виділяється для вироблення електроенергії. Енергія урану насправді велика: при розщепленні ядер 1 кг урану-235 виділяється 1 млрд. ккал теплоти, що еквівалентно 25 млн. кВт·год електроенергії.

Агрегат, у якому здійснюється регульована ланцюгова реакція називається атомним реактором. В графітових блоках реактора знаходяться стержні речовини, що розщеплюється. Маса її повинна бути не менша критичної для конкретного реактора – забезпечувати утворення в одиницю часу такої самої кількості нейтронів, яка поглинається в реакторі. При розщепленні урану випускаються швидкі нейтрони, що сповільнюються графітом і в результаті збуджують реакцію. Під час останньої виділяється теплота, що відводиться теплоносієм і використовується для вироблення пари. Пара приводить в рух турбогенератор.

27 червня 1954 р. у СРСР у м. Обнінську пущена перша у світі промислова атомна електрична станція (АЕС), потужністю 5000 кВт. Створення АЕС було складною задачею, яка була вирішена колективами вчених і інститутів під керівництвом І. Курчатова, Д. Блохінцева, А. Лей-

пунського, Н. Доллежала, А. Красіна, В. Малих.

Реактор станції працював на збагаченому урані із вмістом урану-235 5%. Активна зона реактора діаметром 1,5 м і висотою 1,7 м була заповнена графітом, у якому виконані 128 робочих каналів для тепловидільних елементів (ТВЕЛів). Завантаження реактора ураном складало 550 кг, добові витрати - 30 гр. Регулювання здійснювалося за допомогою 18 стержнів з карбіду бора, що поглинає нейтрони. Кожен з ТВЕЛів складався з 2 коаксіальних сталевих трубок, вставлених одна в одну. Трубка меншого діаметру служила для підведення води. Уран знаходився в проміжку між внутрішньою та зовнішньою трубками. Тиск води в трубках - 100 атм, температура 290°C. При таких умовах вода не кипить. У теплообміннику при протіканні по трубках води 1-го контуру утворюється перегріта пара тиском 12 атм із температурою 270°C, що надходить у турбіну. Теплова потужність реактора - 30000 кВт. Повний ККД АЕС - 19%.

Пуск першої АЕС послужив поштовхом до створення атомних енергоустановок різного призначення в усьому світі:

- 1955 р. - у США побудований перший атомний підводний човен "Наутилус" з потужністю силової установки 13,4 тис. к.с., а пізніше підводний човен "Морський вовк";

- 1957 р. - у СРСР спущений на воду атомний криголам "Ленін" з установкою потужністю 44 тис. к.с., пізніше атомоходи "Арктика", "Сибір", "Росія" і інші;

- 1958 р. - у СРСР встала до ладу перша черга АЕС потужністю 100 тис. кВт і т.д.

Атомні реактори будувались з різними теплоносіями: водою, вуглекислим газом, гелієм, рідким натрієм; одно-, дво- і триконтурними.

В даний час в основному використовують три типи реакторів:

- корпусні з водою під тиском типу ВВЕР - водо-водяної енергетичний реактор (на Заході їх позначають PWR);

- киплячі каналні уран - графітові типу РВПК (BWR) - реактор великої потужності киплячий;

- реактори на швидких нейтронах з натрієвим охолоджувачем типу ШН.

Принцип дії реакторів перших двох типів однаковий (рис. 2.41). У середині агрегату розташовуються ТВЕЛі. Кожен з ТВЕЛів являє собою цирконієву трубку, в якій знаходиться суміш урану-235 і урану-238. В сталевому корпусі ВВЕР знаходяться ТВЕЛі, а також вода першого контуру, яка є одночасно сповільнювачем нейтронів і теплоносієм. Контактуючи із ТВЕЛами, вода першого контуру нагрівається і стає радіоактивною, тому для безпосереднього вироблення електроенергії вона не використовується, а служить для нагрівання у теплообміннику води другого контуру. Пара, що утворюється в теплообміннику надходить і в турбоагрегат.

Перший ВВЕР був уведений до ладу на Нововоронезькій АЕС у 1964р. Пізніше у СРСР був освоєний серійний випуск енергоблоків з

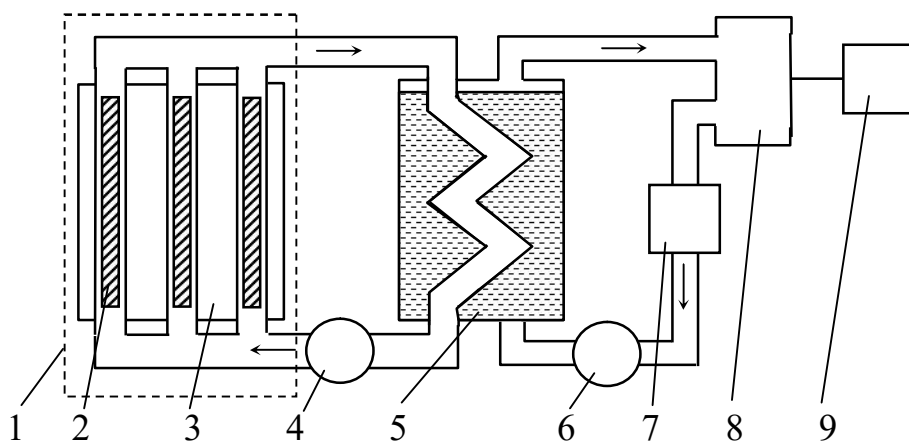


Рис. 2.41. Принципова схема атомної електростанції: 1 – реактор; 2 – управні стержні; 3 – уповільнювач; 4, 6 – насоси; 5 – теплообмінник; 7 – конденсатор пари; 8 – парова турбіна; 9 – генератор

реакторами ВВЕР-440 і ВВЕР-1000 електричною потужністю 440- і 1000 МВт. У теперішній час реактори даного типу є найбільш поширеними.

Корпус РБМК заповнюється графітними блоками. В блоках виконані канали, у яких розміщені цирконієві труби з ТВЕЛами усередині. У трубах циркулює вода під високим тиском. Вода нагрівається і частково випаровується. АЕС із РВПК є одноконтурними. На Обнінській АЕС був установлений реактор типу РВПК. В СРСР серійно випускалися енергоблоки з РВПК-1000 і 1500 потужністю 1000 і 1500 МВт.

У реакторах ШН сповільнювача нейтронів немає. ТВЕЛи охолоджуються рідким натрієм. У корпусі реактора розміщується обмінник, у якому натрій випаровує воду, що потім надходить у турбоагрегат. Робота на швидких нейтронах дозволяє використовувати в якості палива уран-238, запаси якого в природі достатні. Крім того, у ТВЕЛах утворюється плутоній-239, що також є ядерним паливом. Під час реакції плутоній використовується не повністю і після закінчення циклу вилучається. В зв'язку з цим, реактори ШН називають також розмножувачами (бридерами).

Перші досліди з бридерами були початі в 1956 р. в США, однак після аварії 1966 р., яка закінчилась розплавленням ТВЕЛів вони були тимчасово припинені. У Великобританії в 1963 р. була пущена експериментальна установка типу ШН потужністю 15 МВт. В 1975 р. у Франції почав виробляти електроенергію реактор ШН "Фенікс" потужністю 250 МВт.

У СРСР реактор ШН був уперше введений у виробничу експлуатацію на Шевченківській АЕС у 1972 р. На базі отриманого досвіду на Білоруській АЕС був запущений ШН-600 потужністю 600 МВт і розроблений ШН-1600 потужністю 1600 МВт.

У реакторах, окрім урану-235 і плутонію-239 може використовуватися також і природний торій-232. Теплоцінність атомного палива характе-

ризується такими даними: 14 см³ урану-235 рівноцінні за тепловиділенням 470 м³ нафти, 800 м³ кам'яного вугілля і 1 млн. м³ природного газу.

Атомна енергетика має, при безсумнівній ефективності і ряд недоліків. В реакторах утворюються радіоактивні нукліди, що довго живуть, таким чином можливі аварії реактора є досить небезпечними. Відходи роботи реакторів повинні бути похованими на довгий термін. Основною задачею удосконалення АЕС є підвищення надійності і безпеки їх обладнання, а також забезпечення замкненого паливного циклу. Для рішення паливної проблеми атомної енергетики необхідні реактори - розмножувачі. Кардинальним рішенням може стати перехід до термоядерної енергетики, над створенням якої працюють учені в багатьох країнах.

Фізичною основою термоядерної енергетики є реакції синтезу ядер. Практичний інтерес представляють реакції ізотопів водню - дейтерія і тритія. Одержувана при цьому енергія в 4 рази більша, ніж дає ділення важких ядер. Створення термоядерних реакторів вимагає рішення найскладніших задач, оскільки для реакції синтезу необхідний розігрів палива до температур порядку (10⁸...10⁹) К. Отриману плазму потрібно теплоізолювати від конструкції установки й утримати.

Намітилися два варіанти термоядерних установок: стелларатори і токамаки. Утримання плазми забезпечується магнітним полем в тороїдальних камерах. У стеллараторах магнітне поле створюється струмами, що проходять у зовнішніх котушках. У токамаках поле створюється струмами в самій плазмі. Більш перспективними вважаються токамаки (назва розшифровується як "Тороїдальна Камера з Магнітними Котушками"). Перші експерименти з ними були початі в Інституті атомної енергії ім. І.В. Курчатова ще в 1956 р. Зараз вони ведуться в Росії, США, Великобританії й інших країнах. Для розігріву палива використовують струми НВЧ і потужні лазери. Обмотки, що створюють поля, виконують надпровідними. Роботи з термоядерного синтезу ще далекі від завершення, але можна сподіватися на значні успіхи в даній галузі у ХХІ в.

2.9. Електроенергетика

2.9.1. Виникнення і розвиток електроенергетики

Наприкінці ХІХ в. виникла електроенергетика, задачами якої є виробництво, передача і розподіл між споживачами електричної енергії. Створення даної галузі привело до корінних якісних змін у виробництві. Зараз вона є основою сучасної техносфери, що визначає технічний прогрес всіх напрямків інженерної діяльності, впливає на продуктивність праці, технічний рівень машинобудування, якість життя людини.

Електроенергетика є результатом практичної реалізації досягнень електродинаміки - вчення про електрику і магнетизм.

2.9.1.1. Електродинаміка

На початку VI в. до н.е. грецький філософ Фалес Мілетський описав притягнення легких предметів - соломин, листів і інших, янтарем, натертим хутром. Янтар греки називали "електроном".

Через 20 сторіч дане явище стало предметом досліджень англійського лікаря У. Гільберта (1540 - 1603 рр.). Гільберт установив, що існує велике число тіл, які мають властивість притягати інші предмети. Дані тіла він назвав "електричними" і крім цього, ввів термін "електрика" (1600 р.). Для дослідження електричних взаємодій Гільберт створив перший електроскоп. Він описав також електризацію тіл тертям і експериментально дослідив властивості магніту.

Роботи Гільберта продовжив О. фон Герике. У 1650 р. він виготовив першу електричну машину - обертову кулю з сірки, яка електризувалась шляхом тертя її поверхні об руку, при цьому в результаті електризації вперше можна було спостерігати іскрові розряди. У 1675 р. досліди з електризацією описав Ньютон. У 1705 р. Хауксбі замінив сірчану кулю скляною. Дослідження електричних властивостей тіл привели С. Грея (1670 - 1736 рр.) у 1729 р. до відкриття електропровідності і електроізоляції, яка необхідна для збереження зарядів. Ш. Дюфе (1698 - 1739 рр.) розробив першу теорію електричних явищ і установив існування двох видів електричної взаємодії тіл з різними електричними властивостями - притягання і відштовхування. Використовуючи провідники й ізолятори, Х. Гаузен (1693 - 1743 рр.) і М. Бозе (1710 - 1761 рр.) виготовили для машини Хауксбі кондуктор, а І. Вінклер (1703 - 1770 рр.) застосував подушку як прокладку між кулею та диском. В результаті цих удосконалень машина почала давати розряди значно більшої інтенсивності, які можна було використовувати для дослідів. У 1745 - 1746 рр. Е. Клейстом (1700 - 1748 рр.) і П. Мушенбруком (1692 - 1761 рр.) був винайдений конденсатор - "лейденська банка".

У цей же час Б. Франклін (1706 - 1790 рр.) розробив свою теорію електрики (1749 р.). Він вважав, що "електрична субстанція складається з надзвичайно малих частинок", що проникають без опору в усі тіла, які подібно губці усмоктують електрику. Якщо кількість електрики в тілі більша деякого значення, вона витісняється на поверхню і тіло буде наелектризовано. Франклін стверджував, що електричні заряди не можна знищити, а можна лише перерозподілити. Він також висловив гіпотезу про електричний характер блискавки, запропонував громовідвід (1752 р.) і ввів поняття "провідник" та "непровідник".

Одночасно з Франклінім атмосферну електрику досліджували М.В.Ломоносов (1711 - 1765 рр.) і Г.В. Ріхман (1711 - 1753 рр.), що загинув від удару блискавки. Ріхман вивчав електризацію й електропровідність тіл, залежність їх електроємності від форми і маси, відкрив явище електростатичної індукції. Останнє було детально описано Д. Кантоном (1718 - 1772 рр.) і І. Вільке (1732 - 1796 рр.). У 1753 р. Ломоносов опублікував теорію атмосферної електрики, яку зв'язав з конвекцією повітряних мас. Він ви-

словив думку про електричну природу північного сяйва. Досліди, що доводять електризацію хмар, проводив також Ж. Далібар (1703 - 1799 рр.).

У 1759 р. академік Петербурзької Академії Ф. Епінус (1724 - 1802рр.) розвив теорію Франкліна, поширивши її на магнітні явища. Епінус описав роботу конденсатора, електричну поляризацію, дослідив силові лінії магнітів і силу взаємодії електричних і магнітних мас (але не сформулював це у вигляді закону).

У 1767 р. хімік Д. Прістлі (1733 - 1804 рр.) уперше висловив думку про існування кількісних співвідношень між силою взаємодії зарядів та їх величинами. Незалежно від нього до цього ж висновку прийшов Г. Кавендиш (1731 -1818 рр.), який дав у 1771 р. математичний опис залежності. Однак наука була лише хобі для Кавендиша, у зв'язку з чим його дослідження залишилось не опублікованим. Закон електричних і магнітних взаємодій був сформульований і опублікований у 1785 р. Ш. Кулоном (1736 - 1806 р.). Поява даного закону уможливила побудову математичної теорії електричних і магнітних явищ.

Таким чином, до початку ХІХ в. були розроблені основні положення теорії електрики і вивчена електростатика.

У 1786 р. лікар Л. Гальвані (1737 - 1798 рр.) випадково відкрив фізіологічну дію електрики і почав її вивчення. Гальвані висловив припущення про існування біострумів і електричних імпульсів мозку, що було підтверджено сучасною наукою. Фізик А. Вольт (1745 - 1827 рр.), відомий винаходами електрофора (1775 р.) і високочутливого електроскопа, здатного вимірювати малі напруги (1781 р.), у 1782 р. на основі аналізу дослідів Гальвані відкрив контактну різницю потенціалів і виникнення напруги при контакті різнорідних матеріалів. У 1800 р. Вольт винайшов джерело постійного електричного струму, що одержало назву "вольтов стовп". З його допомогою хіміки В. Нікольсон (1753 - 1815 рр.) і Карлейль (1768 - 1840 рр.) у 1800 р. здійснили електроліз води. Їх дослід повторили Г. Деві (1778 - 1829 рр.) і В.В. Петров (1761 - 1834 рр.), в результаті чого був зроблений висновок про хімічну дію струму. У 1803 р. Петров зібрав батарею з 4200 мідних і цинкових пластин і відкрив електричну дугу. За кілька років були вивчена фізико-хімічна, хімічна, теплова і світлова дія електричного струму.

У 1820 р. Х. Ерстед (1777 - 1851 рр.) відкрив магнітну дію провідника зі струмом - електромагнетизм. Використовуючи дане явище, І. Швейгер (1779 - 1857 рр.) і І. Поггендорф (1796 - 1877 рр.) створили покажчик струму. Закон дії струму на магнітний полюс був встановлений експериментально в 1820 р. Ж. Біо (1774 - 1862 рр.) і Ф. Саваром (1791 - 1841 рр.). Його математичну форму вперше дав П. Лаплас (1749 - 1827 рр.).

Найбільший внесок у вивчення електромагнетизму зробив А.М. Ампер (1775 -1836 рр.). Він сформував основи електродинаміки, дав поняття напруги, струму і електричного ланцюга, ввів термін "гальванометр", ви-

значив взаємодію струмів, еквівалентність соленоїда магніту. Молекулярна теорія магнетизму Ампера одержала підтвердження в ХХ в.

В історії створення електродинаміки перша половина ХІХ в. відмічена також і значними практичними досягненнями. Ф. Араго (1786 - 1853рр.) провів намагнічування металу струмом. У. Стерджен (1783 - 1850 рр.) в 1825 р. виготовив перші електромагніти. Д. Генрі (1797 – 1878 рр.) удалося створити електромагніт вантажопідйомністю 1 т. Він же запропонував перший електричний дзвоник. У 1821 р. Т. Зеєбек (1770 - 1831 рр.) відкрив термоелектричний ефект у контакті різнородних металів. Г. Ом (1787 - 1854 рр.) у 1826 р. експериментально установив закон опору електропровідників і ввів термін "електричний опір". Закон Ома відкрив можливості для вивчення й опису електричних явищ.

Електромагнітна індукція була відкрита М. Фарадеєм (1791 - 1867рр.) у 1831 р. Одночасно і незалежно від нього, це ж відкриття зробив Д. Генрі. Подальший розвиток вчення про індукцію струмів одержало в роботах Е.Х. Ленца (1804 – 1865 рр.) - правило Ленца (1833 р.). Фарадей розкрив зв'язки електромагнітних явищ з магнетизмом і хімічними процесами. В 1833 – 1834 рр. він установив закони електролізу, у 1835 - 1838 рр. провів дослідження діелектриків, у 1836 р. відкрив магнітне обертання площини поляризації. До 1851 р. Фарадей вивчав магнітні властивості різних речовин. Він висловив думку про скінченність швидкості розповсюдження електромагнітних взаємодій і описав поле як реальний об'єкт, в якому відбуваються фізичні процеси.

Продовжувачем робіт Фарадея став Д. Максвелл (1831 - 1879 рр.). Він розглянув багато проблем фізики. Одним з найважливіших його досягнень було створення теорії електромагнітного поля (1873 р.).

Відкриття середини ХІХ в. підготували підґрунтя для застосування теорії електрики і магнетизму в технічних пристроях кінця ХІХ - початку ХХ в. - електричних машинах та передачах, процесах електрозварювання, радіотехніці і т.д.

2.9.1.2. Електричні машини

Розвиток машинобудування у привів 80-х рр. ХІХ в. до необхідності зміни типу привода технологічних машин. Більш раціональним ніж паровий виявився електричний привод.

Єдиним джерелом електроенергії на початку ХІХ в. були гальванічні батареї. В зв'язку з цим, першою була створена машина постійного струму. Відкриття електромагнетизму - Х. Ерстед і Д. Араго, законів електродинаміки - А. Ампер (1822 р.) і електромагнітної індукції - М. Фарадей (1831р.) стали передумовами появи електродвигунів – машин, в яких електрична енергія перетворюється у механічну.

Вперше рух провідника з постійним струмом навколо магніту продемонстрував М. Фарадей у 1821 р. Рух мідного диска, через який пропускався постійний струм, у полі постійного магніту описав у 1824 р. П. Бар-

лоу. В 1833 р. У. Річчі (1790 - 1837 рр.) продемонстрував лабораторну модель електродвигуна з підковоподібним постійним магнітом й електромагнітом, в якому напрямок струму змінювався за допомогою комутатора.

Перший двигун постійного струму з електромагнітним збудженням, що використовувався практично, був створений Б.С. Якобі в 1834 р. Зовнішній вигляд двигуна показаний на рис. 2.42. Він мав торцеве виконання і складався з чотирьох П-подібних нерухомих і чотирьох П-подібних обертових роторних електромагнітів, обмотки яких були з'єднані послідовно (машина мала послідовне збудження). Полярність обертових магнітів періодично змінювалася комутатором, розташованим на валу двигуна. Постійний струм подавався від батареї гальванічних елементів. У 1838 р. машина Якобі була використана в приводі невеликого катера. Для цього були з'єднанні сорок двигунів конструкції 1834 р. (рис. 2.43). Двигун Якобі мав явнополюсне виконання якоря й індуктора, у результаті чого момент на валу був пульсуючим.

У 50 - 60-х рр. в приводі друкарських машин використовувався двигун Фромана (рис. 2.44), на якорі якого розміщалися сталеві пластини, що притягалися електромагнітами.

Електродвигун з неявнополюсним якорем і розподіленою обмоткою був сконструйований італійцем А. Пачинотті (1841 - 1912 рр.) у 1860 р. (рис. 2.45). Якір мав вид кільця з зубцями, яке установлювалось на валу за допомогою латунних спиць. Між зубцями на кільце намотувалися котушки, контакти яких з'єднувалися з торцевим комутатором - колектором. Число пластин колектора дорівнювало числу котушок якоря. Струм до колектора подавався роликками. Індуктор був виконаний у вигляді двох електромагнітів різної полярності, оснащених полюсними наконечниками. Машини Якобі і Пачинотті поширення не одержали через відсутність у той час дешевого генератора електроенергії.

Розвиток генераторів відставав від розвитку двигунів. Перший зміннополюсний генератор постійного струму з комутуючим випрямним пристроєм був побудований братами Піксі в 1832 р. У 1842 р. Якобі розробив магнітоелектричний генератор, у якому магніти були нерухомими, а котушки оберталися. Потім з'явився аналогічний магнітоелектричний генератор німецького електротехніка Е. Штерера. З 1856 по 1865 р. у Франції фірмою "Альянс" випускалися магнітоелектричні генератори потужністю від 6 до 10 к.с, розроблені Нолле (Бельгія), ван Мальдереном (Франція) і Холмсом (Великобританія). Найбільш потужний з них мав 24 магніти і колектор з 32 пластин, з яких роликками знімався струм (рис. 2.46, а).

Перший патент на машину з електромагнітним самозбудженням був узятий датським винахідником С. Хіортом (1801 - 1870 рр.) у 1854 р. Ідея самозбудження за рахунок залишкової намагніченості була висловлена у 1856 р. угорцем А. Йєдликком, який побудував у 1861 р. генератор, що працював на даному принципі. У 1863 р. Уайльд використовував електромагнітне послідовне збудження, запропоноване в 1851 р. Зінстеденом. Йо-

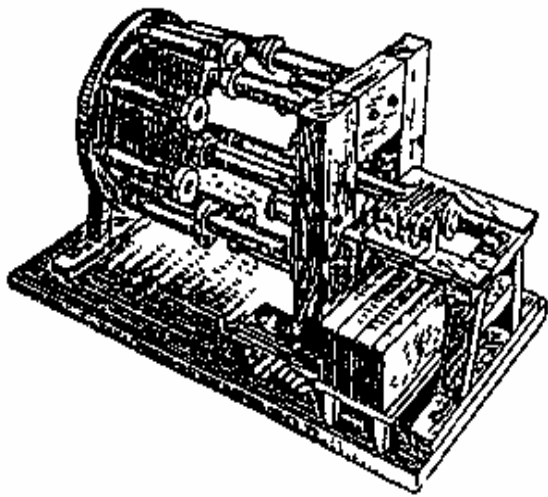


Рис. 2.42. Електродвигун Б.С. Якобі

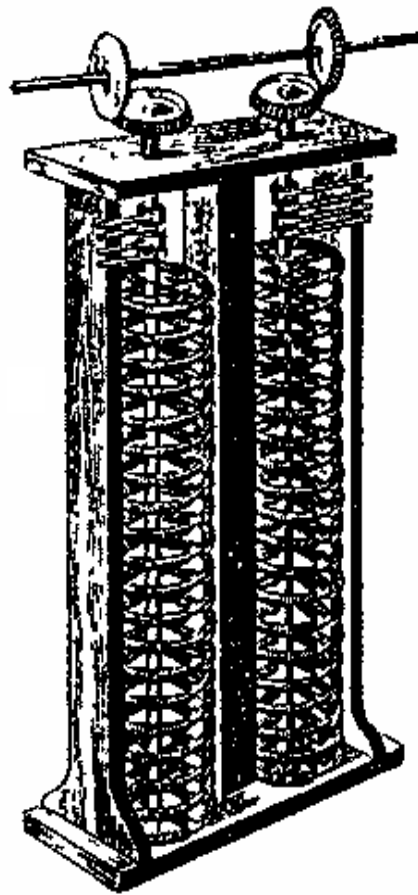


Рис. 2.43. Електродвигун Б.С.Якобі для катера

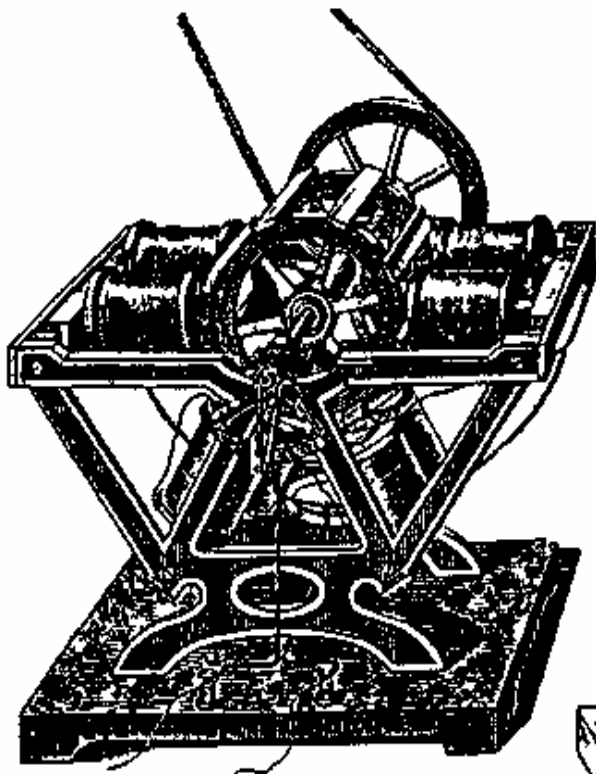


Рис. 2.44. Електродвигун Фромана

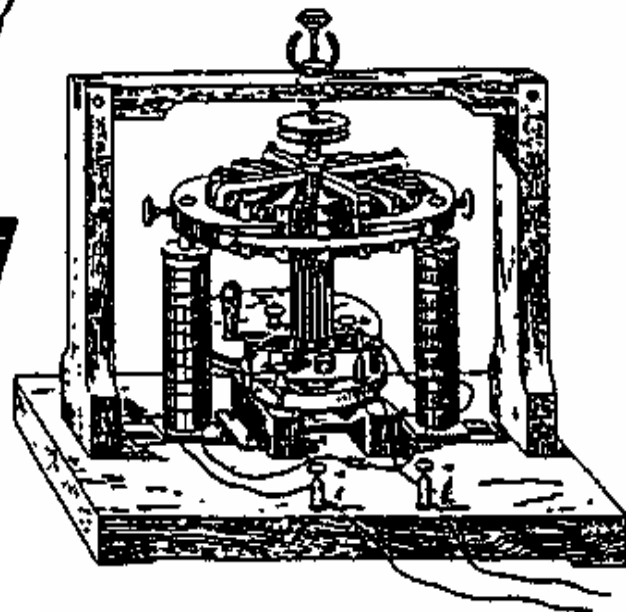
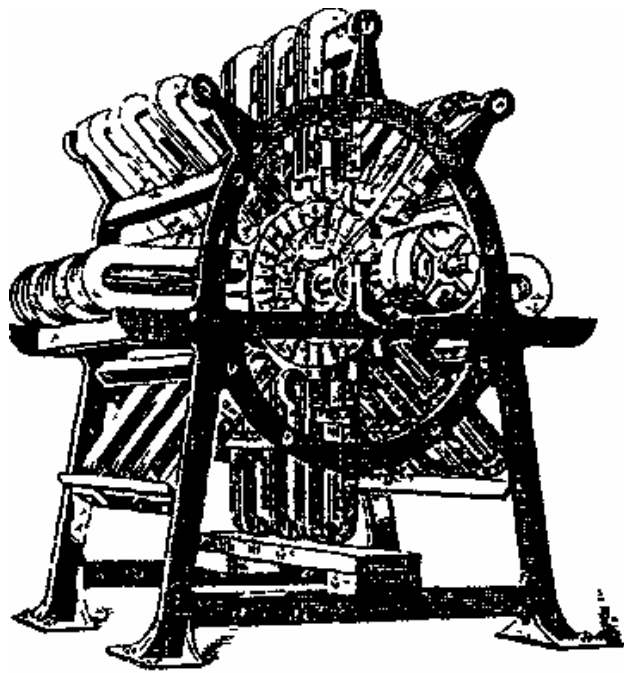
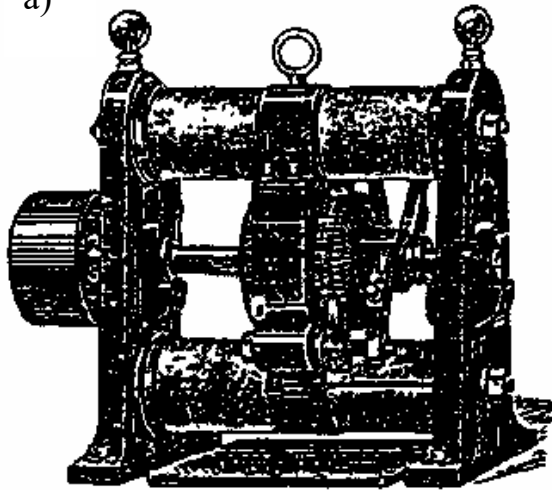


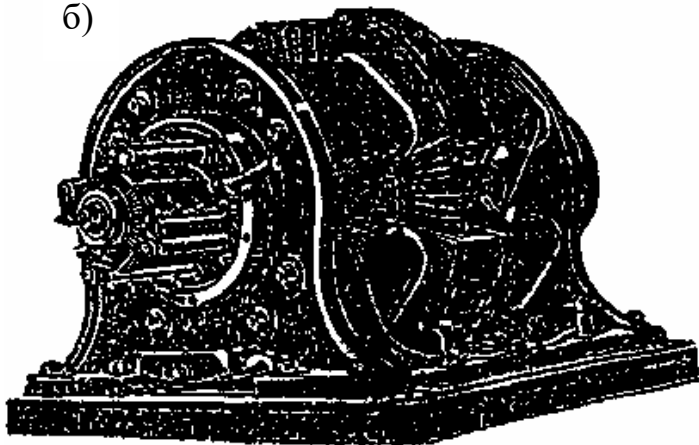
Рис. 2.45. Електродвигун А. Пачинотті



a)



б)



в)

Рис. 2.46. Електромашини другої половини XIX в: а – генератор „Альянс”; б – електромашинна З. Грама; в – генератор Гульшера

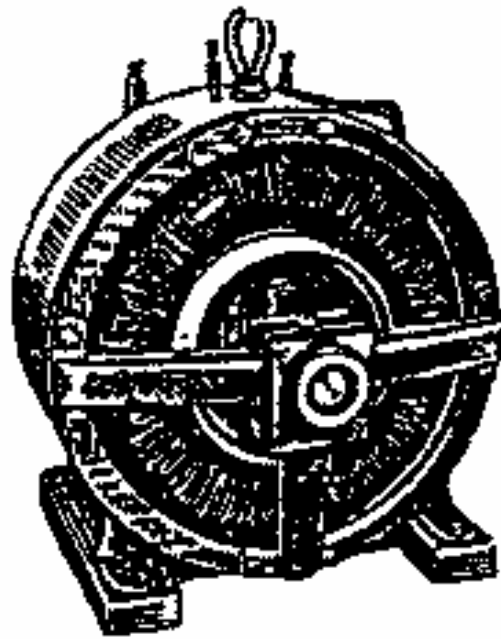


Рис. 2.47. Асинхронний трифазний електродвигун М.О. Доліво-Добровольського

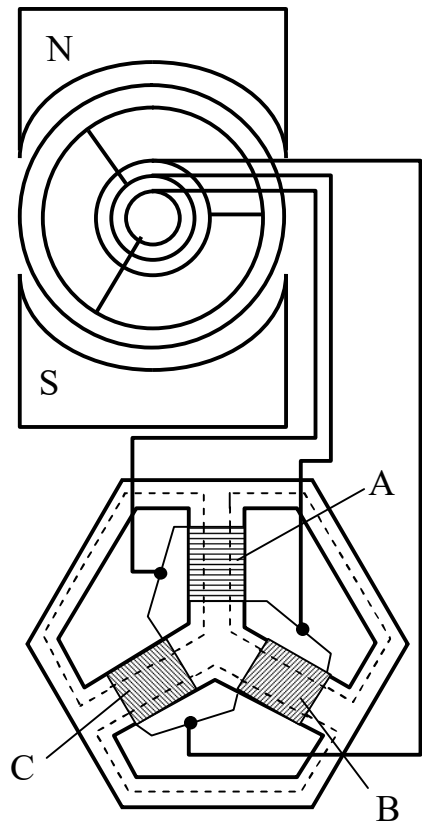


Рис. 2.48. Схема трифазного трансформатора М.О. Доліво-Добровольського

го генератор був виконаний у варіантах постійного і перемінного однофазного струмів. У 1867 р. одночасно Ч. Уїтстон (1802 - 1875 рр.) і В. Сіменс (1816 - 1892 рр.) запропонували генератор з паралельним самозбудженням. У 80-х рр. такі генератори витиснули генератори послідовного збудження. Пізніше Верлей, Брем і Депре розробили змішане збудження.

Промислове освоєння генераторів почалося після 1870 р., коли у Франції З. Грам (1826 - 1901 рр.) створив генератор з кільцевим якорем, тороїдальною обмоткою і колектором, який був практично аналогічний за конструкцією сучасним машинам (рис. 2.46, б). Магнітопровід якоря був виготовлений з пучка дроту, що знижувало вихрові втрати, але зубці на магнітопроводі були відсутні і це вело до збільшення опору магнітного ланцюга. Машина Грама одержала значне поширення і використовувалась і як двигун і як генератор.

У 1873 р. німці Ф. Гефнер-Альтенек (1845 - 1904 рр.) і В. Сіменс замінили кільцевий якір барабаним, а в 1878 р. запропонували виконувати магнітопровід зубчастим. У 1879 р. В. Сіменс використав генератор послідовного збудження для живлення залізниці на Берлінській виставці. У 1880 р. Т.А. Едісон запропонував виконувати магнітопровід якоря набраним з ізольованих сталевих пластин, що зменшило втрати і сили реакції. В 1883 р. Крег вперше виготовив набірне осердя. У 1884 р. була розроблена компенсаційна обмотка, а в 1885 р. - додаткові полюси для зменшення реакції якоря і поліпшення комутації - Менгес. Удосконалювалася конструкція обмоток якоря - Гефнер-Альтенек, Вестон, Мерон, Мордей, Е. Арнольд. Прикладом електрогенератора кінця ХІХ в. може служити машина Гульшера (рис. 2.46, в).

Одночасно з розробкою машин постійного струму йшло дослідження явищ, пов'язаних із змінними струмами. Принцип асинхронного двигуна вперше був установлений Д. Араго в результаті дослідження обертання мідного диска обертовим магнітом (1824 р.). Пояснення даного явища дав у 1831 р. М. Фарадей. У 1832 р. анонімний винахідник запропонував однофазний генератор змінного струму зі збудженням підковоподібними магнітами. Пізніше, поштовхом для розробки генераторів змінного струму стало створення в 1876 р. "свічі" П.Н. Яблочкова (1847 - 1894 рр.). На заводі Грама в цей час почався серійний випуск однофазних синхронних генераторів. У 1876 р. Яблочков разом із конструкторами заводу Грама розробив синхронний генератор для живлення роздільних груп свіч. Машина була багатофазною з електрично незв'язаними фазами. Полюси збудження розташовувалися на роторі і живились постійним струмом. До кінця 80-х рр. магнітопроводи виконувались суцільними, а для зменшення втрат їх виготовляли мінімально можливих розмірів. Перший двофазний синхронний генератор з електрично незв'язаними фазами був побудований у 1882 р. англійським інженером Д. Гордоном. Він розвивав потужність 115 кВт при частоті обертання 146 об/хв. У 1888 р. італієць Г. Ферраріс (1847 - 1897 рр.) і югославський учений Н. Тесла (1856 - 1943 рр.) показали, що

сумарне поле взаємно перпендикулярних котушок, які живляться синусоїдальними однофазними струмами, зсунутими по фазі на 90° , обертається, не змінюючись за амплітудою. Використовуючи дане явище, Ферраріс розробив електродвигун, що мав ротор у вигляді мідного циліндра, який знаходиться в обертовому полі, створеному двома котушками. Таким чином, Ферраріс запропонував двофазний двигун. Магнітна система була розімкненою, тому ККД двигуна був низьким. Ферраріс прийшов до помилкового висновку, що ККД асинхронного двигуна взагалі не може бути вищим 50%. Двофазні двигуни розробляв і Н. Тесла. Його машини випускала компанія "Вестингауз", однак їх характеристики також були незадовільними. У цей же час були зроблені спроби створення колекторних машин змінного струму - двигуни Ріхтера, Дері і Блаті.

Після знайомства з роботами Тесла і Ферраріса М.О. Доліво-Добровольський (1862 - 1919 рр.) запропонував систему трифазного струму й у 1889 р. побудував трифазний асинхронний двигун з обмоткою ротора у вигляді "білячої клітки" і статором з розподіленою трифазною барабанною обмоткою (рис. 2.47). У 1890 р. Доліво-Добровольський створив асинхронний двигун з фазним ротором і розподіленою трифазною обмоткою, що була введена на контактні кільця. В тому ж році він запропонував трифазний трансформатор (рис. 2.48), а у 1891 р. - синхронний генератор, спроектований у співробітництві з головним інженером фірми "Ерлікон" Ч. Броуном для передачі електроенергії по лінії Лауфен - Франкфурт. Генератор приводився гідротурбіною і мав потужність $230\text{кВ}\cdot\text{А}$, частоту 40 Гц і лінійну напругу 95 В, при частоті обертання 150об/хв. В конструкції генератора були використані барабанна обмотка, що знаходилась в пазах зубчастого шихтованого осердя, а також обмотка збудження, яка розташовувалася на полюсах ротора. Вказані конструктивні рішення збереглися і в сучасних машинах.

З кінця XIX в. синхронні генератори почали експлуатуватися на електростанціях. Спочатку їх привод здійснювався від швидкохідних поршневих машин, але вже в 1899 р. на станції м. Ельберфельд були вперше установлені багатоступінчасті турбіни Ч. Парсонса, що приводили в обертання синхронні генератори потужністю 1000 кВт кожний. Привод від турбін незабаром одержав повсюдне поширення. Зростання частоти обертання турбогенераторів (ТГ) викликало необхідність змін в їх конструкції - переходу від явно виражених полюсів до неявно виражених з розподіленою обмоткою збудження. Це відбулося в першому десятилітті ХХв. Потужність генераторів безупинно збільшувалася. У 1920 рр. були побудовані генератори на 25 і 60 МВт, у 30-х рр. – на 100 МВт, у 50-х рр. – на 200МВт, у 80-х рр. – на 1200 МВт.

Спочатку для охолодження ТГ використовувалось повітря, що продувається. Зі збільшенням потужності машин системи охолодження ускладнювалися. В наш час ТГ потужністю менше 30 МВ·А, як правило, мають непряме повітряне охолодження - повітря циркулює усередині маши-

ни і охолоджується у водяних теплообмінниках. При потужності до 100МВт з 1937 р. використовується водневе охолодження - уперше реалізоване в США. У 1959 р. форсоване водневе охолодження було застосовано у Великобританії в ТГ потужністю 200 МВт. При великих потужностях використовують рідинне охолодження обмоток статора і ротора - уперше реалізовано фірмою "Дженерал електрик" для генератора 260 МВт у 1955р., а також водневе охолодження магнітопровода - "Електросила", 1959 р. Можливі й інші варіанти.

Сучасні ТГ звичайно виконуються двополюсними. Число полюсів гідрогенераторів складає, як правило, від 8 до 120. Ротори явнополюсні з вертикальною віссю обертання. Охолодження водяне або змішане (обмотки статора охолоджуються водою, обмотки ротора – повітрям). Досягнуті потужності ТГ до 1200 МВт, гідрогенераторів - 600 МВт.

Таким чином, наприкінці ХІХ в. були створені основні типи електричних машин - двигуни і генератори постійного і перемінного струму, здатні забезпечити привод технологічних промислових установок. В результаті конструктивного удосконалювання електромашин був реалізований індивідуальний електропривод систем і механізмів у всіх галузях промисловості. Перехід до індивідуального привода створив передумови для корінних змін в технології виробництва: була досягнута висока гнучкість керування робочими операціями, зменшені втрати енергії, поліпшені умови праці, закладені основи для автоматизації процесів. Почала змінюватися і конструкція технологічних машин, в яких електродвигун став одним з основних елементів. На початку ХХІ в. в електроприводах часто використовуються по декілька паралельно- або послідовнопрацюючих двигунів, що значною мірою спростило конструкцію машин і забезпечило перехід до електричного керування технологічними процесами.

Потреби практики в ХХ в. сприяли створенню численних модифікацій електродвигунів. У 50-х рр. з'явилися крокові двигуни, що забезпечують точне дискретне переміщення робочого органу, моментні електродвигуни для безредукторних приводів, вентильні двигуни, двигуни з напівпровідниковою комутацією, екрановані герметичні двигуни, лінійні двигуни і різноманітні мікродвигуни систем керування. В теперішній час ведеться робота з оптимізації геометрії активної частини електродвигунів, пошуку нових магнітопровідних і ізоляційних матеріалів з поліпшеними заданими параметрами, удосконалювання охолодження машин.

2.9.1.3. Електростанції та передача електроенергії

Досягнення в техніці і електромашинобудуванні забезпечили можливість перетворення енергії первинних джерел в механічну роботу, а потім і в електричну енергію, яка легко передається і перетворюється в інші види. Починаючи з 90-х рр. ХІХ в. електромашини з'явилися в гірничодобувній, металообробній, текстильній, металургійній і інших галузях промисловості, виникли електрометалургія й електрохімія, реалізована елект-

ротяга на транспорті, електрика стала входити в побут людей.

Використання електрогенераторів і електродвигунів в приводах технологічного устаткування і електротехнологіях поставило задачі електропостачання промислових підприємств і передачі енергії. Спочатку дані задачі вирішувалися за допомогою малих електростанцій. Однак з економічної точки зору це було не вигідним. Електроенергію необхідно було виробляти централізовано і далі передавати споживачам. Рішення проблеми почалося у 80-х рр. XIX в. одночасно зі створенням електричного освітлення й удосконаленням електромашин.

Перша електропередача була продемонстрована в 1873 р. на Віденській міжнародній виставці І. Фонтеном. Він з'єднав дві машини Грама лінією довжиною в 1 км. Одна машина оберталася ДВЗ і виконувала функцію генератора, інша працювала як двигун і приводила насос. У 1874р. Ф.А. Піроцький (1845 - 1898 рр.) випробував аналогічну передачу в Петербурзі на Волховому полі. Створення електропередач було прискорено розвитком систем електричного освітлення.

Роботи над розробкою електричного освітлення велися У. Гровсом, Ч. Гебелем, Д. Сваном (1828 – 1914 рр.) і іншими. У 1873 р. А.Н. Лодигін (1847 - 1923 рр.) продемонстрував вакуумні лампи накаливання. У 1879 р. Едісон створив газонаповнену лампу з вугільною ниткою. У 1900 р. Лодигін запатентував лампу з вольфрамовою ниткою накаливання. У 1875 р. П.Н. Яблочков (1847 - 1894 рр.) створив дугову лампу, в якій вугільні електроди розташовувались паралельно і розділювались ізолюючим шаром, що вигорав із їх згорянням. Крім того, Яблочков установив, що робота лампи („свічки Яблочкова”) відбувається більш стабільно при перемінному струмі. Таким чином, виникла задача передачі електроенергії перемінним струмом, причому в системі живлення кожної окремої лампи був необхідний розділювальний пристрій, який би виключав вплив інших ламп на її роботу. У 1876 р. Яблочков використовував з цією метою найпростіший двообмотковий трансформатор з коефіцієнтом трансформації, рівним 1.

Індуктивний зв'язок між обмотками був виявлений М. Фарадеєм у 1831 р. Потім з'явилися індукційні котушки Якобі, Румкорфа й інших. Трансформацію перемінного струму вперше здійснив Яблочков.

У 1876 р. Яблочков реалізував першу електропередачу для електричного освітлення. У тому ж році в Парижі була споруджена перша електростанція з генератором постійного струму (блок-станція, - як тоді називали) для живлення групи свіч Яблочкова. У 1882 р. Едісон побудував першу електростанцію суспільного користування в Нью-Йорку. Станції того часу створювалися поблизу від споживача, оскільки напругу в 200 В було неможливо передавати на великі відстані. Так, для електричного освітлення Зимового палацу в Петербурзі в 1888 р. станція постійного струму була побудована безпосередньо у його будинку.

Можливість створення довгих електропередач досліджували Д.А.Лачинов (1842 - 1902 рр.) в 1880 р. і М. Депре (1843 - 1918 рр.) в

1881р. Вони прийшли до висновку про необхідність підвищення напруги передач. У 1882 р. на Мюнхенській виставці Депре демонстрував передачу на 57 км постійного струму напругою до 2000 В. Передача мала ККД 22%. Але безпосереднє отримання від генератора високої напруги було складним, так само як і використання енергії споживачем. У зв'язку із цим, виникла задача створення передачі перемінного струму з трансформаторами для підвищення напруги.

У 1882 р. Л. Голяр (1850 - 1888 рр.) і Д. Гіббс (1839 - 1903 рр.) запатентували багатообмотковий трансформатор, а в 1884 р. побудували в Турині передачу перемінного струму довжиною 40 км напругою 2000 В. У 1884 р. англійці брати Д. і Е. Гопкінсони запропонували трансформатор із замкненою магнітною системою, а в 1885 р. О. Блаті (1860 - 1939 рр.), М.Дері (1854 - 1938 рр.) і К. Циперовський (1853 - 1942 рр.) розробили модифікації економічних трансформаторів (броньові, кільцеві і стержневі трансформатори). Наприкінці 80-х рр. Д. Свінберн вперше використав масляне охолодження трансформаторів. Таким чином, до 90-х рр. склалися умови для будівництва довгих ліній електропередач (ЛЕП).

У 1885 р. у Детфорді (біля Лондона) З. Ферранті побудував першу електростанцію перемінного однофазного струму з лініями передач 10 кВ. Він же розробив і перші кабелі на 10 кВ, а також масляний вимикач. У 1887 р. в Одесі вперше у Росії була створена електростанція перемінного струму. У 1889 р. біля Портленда (США) була побудована ГЕС однофазного струму потужністю 720 кВт. В 1891 р. М.О. Доліво-Добровольський продемонстрував передачу трифазного струму у Франкфурті на Майне: гідроелектростанція на річці Лауфен потужністю 230 кВт давала трифазний струм напругою 95 В, яка підвищувалась трансформатором до 15 кВ; струм передавався на відстань 120 км, після чого напруга знижувалася; енергія використовувалася для живлення 1000 ламп накаливання й електродвигуна. ККД передачі складав 75,5%. Після цієї демонстрації передачі на трифазному струмі швидко витіснили всі інші типи і види передач. Слід зазначити, що трохи раніше, а саме, в 1896 р., стала до ладу перша ГЕС на Ніагарі, на якій були встановлені три гідрогенератори по 5000 к.с. кожен. Двофазна напруга 2 кВ підвищувалася трансформаторами до 50 кВ. Лінії електропередач мали довжину 550 км.

Створення електростанцій з лініями передач викликало появу апаратів захисту і комутації. Першими подібними пристроями були плавкі запобіжники, а також ртутні контактори для під'єднання ліній. У 90-х рр. з'явилися рубільники. У 1893 р. Доліво-Добровольський розробив один з перших автоматичних вимикачів з максимальним струмовим захистом. У цьому ж році почали застосовуватися трубчасті вимикачі з газогенеруючими вставками. В 1900 р. фірми "Вестингауз" і "АЕГ" розробили високовольтні вимикачі з повітряним охолодженням.

На початку ХХ в. почали будуватися численні теплові і гідравлічні електростанції для забезпечення енергією окремих районів. Збільшення

станцій робило їх більш економічними, сприяло підвищенню потужності обладнання. Станції почали об'єднувати лініями електропередач (ЛЕП). Людство вступило в епоху електроенергетики.

Електропередачі розподільної мережі від районних електростанцій напругою 6...35 кВ будувались ще на початку ХХ століття. У 1907 р. в США працювала ЛЕП 110 кВ. В Європі перша ЛЕП 110 кВ була побудована в Німеччині в 1912 р. В 1922 р. в США почала експлуатуватись ЛЕП 220 кВ, а до 1927 р. загальна довжина ЛЕП напругою 13...220 кВ складала вже 80 тис. км. Швидко зростало і виробництво електроенергії. У 1900 р. в усьому світі вироблено 15 млрд. кВт·год, в 1913 р. - 40, в 1930 р. - 456, в 1950 р. - 956, в 1954 р. - 1346, в 1975 р. - 6511 млрд. кВт·год.

Перша промислова ГЕС у Росії мала потужність 300 кВт і була побудована в 1896 р. В.Н. Чіколевим (1845 - 1898 рр.) і Р.Е. Классоном (1868 - 1926 рр.) для електропостачання Охтинського порохового заводу в Петербурзі. У цей же час була пущена ГЕС на ріці Нігра на Павловській копальні в Сибірі потужністю 98 кВт. У 1899 р. почала працювати ГЕС у Баку і на курорті Боржомі. У 1909 р. дала струм найбільша в Росії Гіндукушська ГЕС на ріці Мургаб потужністю 1350 кВт, а в 1914 р. у м. Богородськ (зараз м. Ногінськ) під Москвою за проектом Классона була побудована найбільша у світі ТЕС на торфі.

У 1919 р. Росія займала лише 15 місце у світі за виробленням електроенергії (2,0 млрд. кВт·год). У 1920 р. після громадянської війни виробництво енергії упало до 0,5 млрд. кВт·год.

Підйом господарства країни вимагав електрифікації всіх основних галузей. У 1920 р. за ініціативою В.І. Леніна була створена Державна комісія з електрифікації Росії (ГОЕЛРО), що розробила план перспективної реконструкції народного господарства країни на основі електрифікації. У роботі комісії брали участь найвидатніші інженери того часу - Г.М.Кржижановський (1872 - 1959 рр.), І.Г. Александров (1875 - 1936 рр.), Б.Е. Веденев (1885 - 1946 рр.) і інші. Передбачалось побудувати 30 районних електростанцій, у тому числі 10 гідравлічних, загальною потужністю 1,75 млн. кВт і річним виробітком електроенергії 8,8 млрд. кВт·год. Первістком ГОЕЛРО була Волховська ГЕС (1927 р.) побудована за проектом і під керівництвом Г.О. Графтіо (1869 - 1949 рр.).

Динаміка зростання встановлених потужностей на електростанціях СРСР має вигляд: 1937 р. - 8,2; 1940 р. - 11,2; 1950 р. - 19,6; 1960 р. - 66,7; 1977 р. - 240; 1986 р. - 300 млн. кВт.

Річне виробництво електроенергії зростало таким чином: 1940 р. - 48,0; 1950 р. - 91,0; 1961 р. - 327,0; 1970 р. - 740,9; 1974 р. - 1038; 1984 р. - 1493 млрд. кВт·год.

Дволанцюгова ЛЕП 110 кВ була побудована у СРСР в 1922 р. між Шатурською РЕС і Москвою. У 1926 р. споруджена ЛЕП 110 кВ від Волховської ГЕС до Ленінграду. З цього часу ЛЕП 110 кВ стали широко вико-

ристовуватися в СРСР. Енергія від Дніпровської ГЕС передавалася вже по ЛЕП 154 кВ. Перша ЛЕП 220 кВ з'єднала в 1933 р. Свірську ГЕС і Ленінград. На початку ХХІ століття ЛЕП великої довжини і потужності будуються на напругу 500 ... 1500 кВ.

Енергетичний потенціал України забезпечується спільною роботою теплових, гідравлічних і атомних електростанцій, об'єднаних у єдину енергосистему. До 1990 р. на території Радянського Союзу працювало 60 теплових, 9 атомних і 16 гідравлічних електростанцій з установленою потужністю більшою ніж 1 млн. кВт.

Якісне зростання електроенергетики супроводжувалось удосконаленням енергетичної техніки. Якщо в 1900 - 1910 рр. одинична потужність паротурбінного агрегату була не більша 10 МВт, то в 50-х рр. вона досягла 150 МВт, а в 80 - 90-х рр. – 300...800 і 1200 МВт. При цьому за рахунок підвищення тиску і температури пари отримане підвищення ККД із 4...5% на перших електростанціях до 38...42% - на сучасних станціях (при тиску пари 240 атм і температурі 540°C). Одночасно витрати палива (в умовному обчисленні – теплотвірна спроможність 7000 ккал на 1 кг палива) на 1 кВт·год знизилась з 1350 г у 1920 р. до 320 г у 1986 р.

2.9.2. Теплові електричні станції

Сучасні теплові електростанції (ТЕС) будуються за блоковою схемою - "котел - турбіна - генератор". Це дозволяє відмовитись від резервних парогенераторів і зробити паропроводи короткими. Робочі процеси блоків цілком автоматизовані. Енергоблоки на органічному паливі випускаються потужностями 300, 500, 800 і 1200 МВт.

Більшість ТЕС виробляють тільки електроенергію, а відпрацьована пара перетворюється у конденсаторі на воду з віддачею йому значної частини енергії палива. Одним з напрямків розвитку ТЕС є створення теплоелектроцентралей (ТЕЦ) (рис. 2.49), на яких реалізується комбіноване виробництво електричної та теплової енергії - пари або гарячої води для побутових чи виробничих потреб (опалення, підігрів). В результаті збільшується ККД: у ТЕЦ він складає 71%, у конденсаційних ТЕС - 42%.

Ідея комбінованого вироблення теплоти й електроенергії була висловлена в 1880 р. інженерами І. Тіме і В. Кирпичовим. Постачання теплою спочатку забезпечувалося окремими малопотужними установками, потім районними котельнями і, нарешті, ТЕЦ. Перша ТЕЦ була споруджена у 1924 р. в Ленінграді під керівництвом інженерів Дмитрієва і Гюнтера.

Одним з основних елементів ТЕЦ є теплофікаційна турбіна. Пара, що відпрацьовала в турбіні або в її частині, використовується для теплопостачання (безпосередньо або для підігріву води). Таким чином, корисне використання пари збільшується вдвічі у порівнянні з конденсаційною паротурбінною установкою.

Перша теплофікаційна турбіна потужністю 12 МВт була випущена Ленінградським машинобудівним заводом (ЛМЗ) у 1932 р. Пізніше ЛМЗ

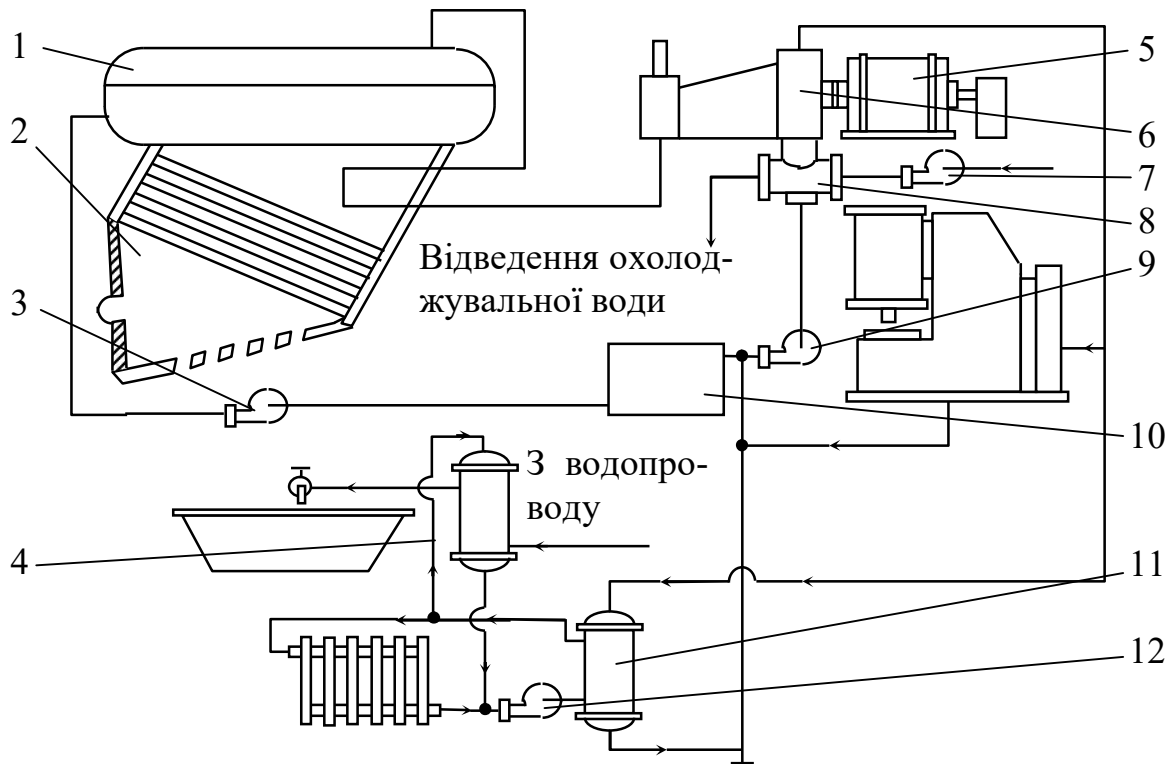


Рис. 2.49. Схема ТЕЦ: 1 – котел; 2 – топка; 3 – насос подачі води до котла; 4 – паропроводи; 5 – електрогенератор; 6 – турбіна; 7 – насос подачі охолоджувальної води; 8 – конденсатор; 9 – насос, що відсмоктує конденсат; 10 – збірник; 11 – підігрівач; 12 – мережний насос

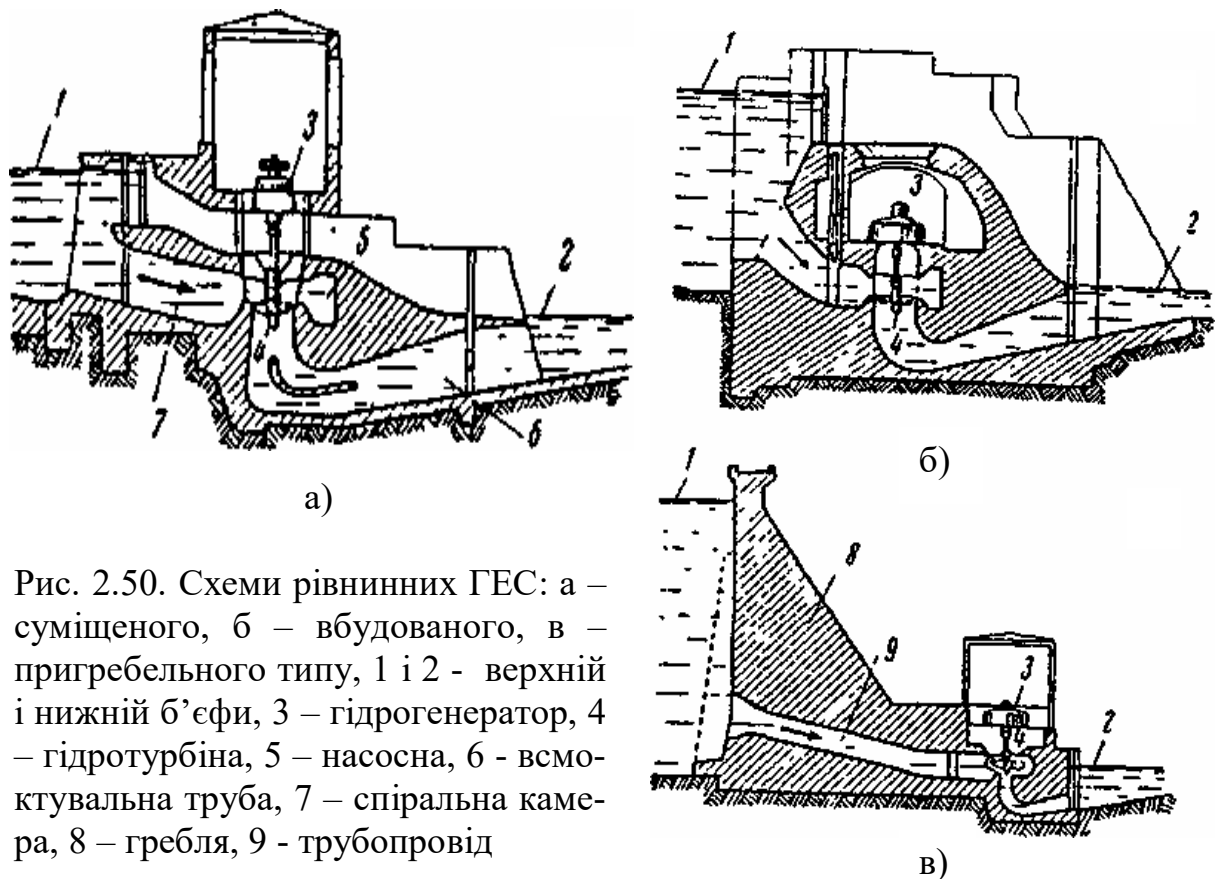


Рис. 2.50. Схеми рівнинних ГЕС: а – суміщеного, б – вбудованого, в – пригребельного типу, 1 і 2 - верхній і нижній б'єфи, 3 – гідрогенератор, 4 – гідротурбіна, 5 – насосна, 6 - всмоктувальна труба, 7 – спіральна камера, 8 – гребля, 9 - трубопровід

будував теплофікаційні турбіни потужністю 25 МВт (1933 р.), 50 і 100 МВт (50-і рр.). У 1971 р. на Уральському турбомоторному заводі була виготовлена перша теплофікаційна турбіна потужністю 250 МВт. У 1985 р. ТЕЦ СРСР виробили близько 16 млрд. ГДж теплоти. Їх електрична потужність дорівнювала 90 млн. кВт - близько 30% загальної електричної потужності ТЕС.

ТЕС і ТЕЦ складають основу електроенергетики України. Однак на станціях даного типу практично відсутні можливості для швидкої зміни продуктивності у випадку збільшення або зменшення навантаження в енергосистемі. Тому за кордоном (особливо в США) досить широке розповсюдження одержали енергетичні установки з газовими турбінами (ГТУ), що мають хорошу маневреність (запуск здійснюється за 1...1,5 хв.) при невеликих капітальних витратах на спорудження. Створюються також комбіновані парогазові установки (ПГУ), які включають газову турбіну і парогенератор. Вони більш економічні, але менш маневрені ніж ГТУ. В Україні експлуатуються ГТУ одиничної потужності 2,5...250 МВт. ГТУ з турбіною ГТ -100 працюють в піковому режимі 1200 год протягом року при 300 запусках. Пуск і навантаження ГТУ здійснюється автоматично. Паливом служить продукт вторинної перегонки нафти.

ПГУ експлуатуються з 1981 р. В них газова турбіна працює на газотурбінному рідкому паливі, а відпрацьовані гази викидаються в топку парового котла. В інших випадках паливо згоряє в топці парогенератора, а турбіна працює на топкових газах, при цьому автономна робота парової частини неможлива.

2.9.3. Гідравлічні електричні станції

Поряд з ТЕС і ТЕЦ, розвиваються і гідроелектричні станції (ГЕС). Їх будівництво, обумовлено такими факторами:

- собівартість гідроенергії в 10 разів нижча собівартості енергії ТЕС;
- гідроресурси постійно природно відновляються;
- висока маневреність ГЕС (малий час пуску в дію).

Поряд з цим ГЕС мають і недоліки:

- висока вартість та велика тривалість спорудження зі значним об'ємом земляних бетонних робіт;
- вплив на навколишнє середовище (затоплення земних територій і утворення водоймищ);
- залежність продуктивності від водності потоку і її сезонних змін.

Незважаючи на вказані недоліки, ГЕС будуються в усьому світі.

Потенціальна енергія рік території колишнього СРСР складала близько 3338 млрд. кВт·год у рік (найвищий потенціал серед країн світу). 82% цих запасів гідроенергії зосереджені в Сибірі і на Далекому Сході.

Величезний гідроенергетичний потенціал Росії до 1917 р. практично не використовувався. Потужність усіх ГЕС в цей час складала усього 16 тис. кВт.

Широке будівництво ГЕС почалося з Волховської станції (1927 р.) - потужність 66 МВт, напір води 13,5 м. Потім була споруджена Нижнє - Свірська ГЕС (110 МВт), а в 1932 р. - Дніпрогес (558 МВт). Далі почалося створення Волзького каскаду ГЕС - Іваньковської (30 МВт), Углічської (110 МВт), Рибінської (330 МВт) станцій. Будувалися ГЕС і у Вірменії, Грузії, Узбекистані та Таджикистані. У 1940 р. загальна потужність ГЕС СРСР досягла 8200 МВт. Після Великої Вітчизняної війни спорудження ГЕС набрало ще більший розмах.

Із середини ХХ в. загальною тенденцією гідроенергетики є збільшення потужності ГЕС (потужності агрегатів, довжини греблі і напору води). Створені Льюїстонська ГЕС на Ніагарі (2170 МВт), ГЕС Даллес на ріці Колумбія (1716 МВт). В СРСР закінчено спорудження каскаду Волзьких ГЕС загальною потужністю 7150 МВт, цілком або частково побудовані каскади на ріках Камі, Дніпрі, Чирчике (Узбекистан), Раздані (Вірменія), Ниві та Ковді (Кольський півострів), Свірі, Ріоні (Грузія), Ангари і Єнісеї (Іркутська - 660 МВт, Братська - 4500 МВт, Усть-Ілімська - 4320 МВт, Красноярська - 6000 МВт, Саяно-Шушенська - 6400 МВт).

Перші ГЕС будувалися з розташуванням машинної зали на греблі (рис. 2.50, а). З 1946 р. проектується ГЕС з гідрогенераторами у тілі греблі (рис. 2.50, б), а також при гребельного типу (рис. 2.50, в).

ГЕС споруджуються в різних геологічних і кліматичних умовах і мають різну висоту і довжину. Наприклад, Токтогульська ГЕС має греблю висотою 215 м і довжиною 239 м, Братська – відповідно 125 м і 1967 м, Красноярська – 124 м і 1065 м, Усть-Ілімська – 105 м і 1477 м, Саяно-Шушенська – 220 м і 1066 м, Нурекська - 300 м і 753 м.

Великі розміри гребель обумовлюють необхідність виконання великих об'ємів земляних і бетонних робіт при їх спорудженні. Таким чином, будівництво ГЕС вимагає значних витрат часу та коштів.

Одночасно зі створенням великих ГЕС існує очевидна доцільність використання енергії малих і середніх рік. У період з 1946 по 1953 рр. у СРСР було побудовано більше 6000 малих ГЕС загальною потужністю близько 500 МВт. Вони під'єднувались до конкретних споживачів за допомогою коротких ЛЕП. Розвиток великої енергетики і створення мережі ЛЕП привели до ліквідації або консервації малих ГЕС. Аналогічний процес відбувався в США, Франції, Японії, Австрії й інших країнах. З початком наприкінці ХХ століття паливної кризи знову виник інтерес до "малої" енергетики на базі уніфікованого та автоматизованого устаткування.

Крім річкових ГЕС, будуються і гідроакumuлюючі станції (ГАЕС). Їх призначення - покриття піків навантажень в енергосистемах. ГАЕС має оборотні гідроагрегати, що можуть працювати як насоси і як гідрогенератори. У період малого навантаження в енергосистемі вони накачують воду у верхній б'єф (басейн), а під час піків навантаження - спрацьовують, віддаючи енергію в систему. За рубежом ГАЕС почали створювати в 60-х рр. В СРСР перша подібна станція пущена в 1972 р. - ГАЕС з напором 70 м у

складі Київського гідровузла. Потужність Київської ГАЕС - 225 МВт. На ній встановлено 6 гідроагрегатів по 33 МВт. Нижній б'єф - Київське водоймище, верхній - штучний басейн об'ємом 3 млн. м³. Час роботи на повну потужність - 3 год., час пуску - 1...1,5 хв.

Перше у світі місце за запасами річкових гідроенергоресурсів займає Росія (див. даний розділ вище). Інші країни мають менші запаси: США - 685, Бразилія - 657, Канада - 218 млрд. кВт·год за рік. В ряді країн, наприклад, в Італії, Швеції, Норвегії, Франції, Швейцарії, Канаді на частку ГЕС припадає значна частка вироблюваної електроенергії. У Норвегії і Швеції вона перевищує 90%. У США в 1974 р. використовувалось близько 40% запасів річкової гідроенергії, в Канаді - 74%, Франції - 70%, у середньому в країнах Європи - близько 40%. В Україні можливості для нарощування гідроенергетичного потенціалу практично вичерпані.

Поряд з експлуатацією гідроресурсів рік, існують можливості для використання припливної енергії морів і океанів. З цією метою споруджуються припливні гідроелектростанції (ПЕС). Гребля ПЕС під час припливу і відливу по чергово пропускає воду в затоку і назад у море. Гідроагрегати станції виробляють електроенергію як під час припливу, так і відливу.

Перша у світі велика ПЕС потужністю 240 МВт була побудована у 1967 р. у Франції біля устя ріки Ранс. Вартість виробленої енергії станції в 2,5 рази вища енергії звичайної ГЕС аналогічної потужності. В СРСР у 1968 р. пущена дослідна Кислогубська ПЕС потужністю 400 кВт біля м. Мурманська. У 1983 р. побудована ПЕС Аннаполіс у Канаді потужністю 20 МВт. ПЕС проектується в США, Канаді, Великобританії, Індії, Росії.

2.9.4. Атомні електричні станції

Пуск у 1954 р. першої у світі АЕС в Обнінську потужністю 5 МВт ознаменував початок історії розвитку атомної енергетики. Була доведена можливість вироблення електроенергії при розщеплюванні ядер.

У 1955 р. у всіх країнах працювало вже 18 АЕС загальною потужністю 200 МВт. У 1962 р. потужність АЕС у Великобританії склала 2183, в США - 1128, у Франції - 769, в Італії - 510, в Канаді - 220, в Японії - 163 МВт. У 1964 р. АЕС стали конкурентноспроможними з ТЕС на вугільному пилу. У 60-70-х рр. будівництво АЕС йшло зростаючими темпами. До 1970 р. АЕС мали 14 країн, а їх сумарна потужність досягла 22 ГВт. Найбільшими АЕС 70-х рр. були Оконі (США, 1974 р., 2760 МВт), Зайтон (США, 1973 р., 2200 МВт), Піккерінг (Канада, 1974 р., 2160 МВт), Ленінградська (СРСР, 1975 р., 2000 МВт). До 1990 р. АЕС сумарною потужністю 260 ГВт працювали вже в 26 країнах.

Необхідність будівництва АЕС в Україні обумовлена повним засвоєнням гідроенергетичного потенціалу рік країни. Принципово АЕС відрізняється від ТЕС лише тим, що паровий котел замінений атомним реактором, який дає пару турбоагрегату. На відчизняних АЕС використовуються в основному енергоблоки ВВЕР - 440 і 1000 потужністю відповідно

440 і 1000 МВт. Крім ВВЕР в СРСР серійно будувалися й реактори РВПК-1000 і 1500 потужністю 1000 і 1500 МВт, а також реактори ШН. Перший такий енергоблок ШН - 600 почав експлуатуватись з 1980 р. на Білоярській АЕС. ККД АЕС досяг 32%. Станції, що працюють зараз в Україні призначені для постійної роботи з установленою потужністю протягом 6500 - 7000 год за рік. У подальшому частка електроенергії, виробленої на ТЕС, повинна зменшуватись завдяки більш інтенсивному будівництву АЕС.

В даний час ведуться роботи зі створення атомних енергоблоків з теплофікаційним відбором пари. Це дозволить вирішити задачу постачання тепла в житловий, промисловий та аграрний сектори. Вперше одержання на АЕС одночасно електроенергії і тепла було реалізовано в 70-х рр. на Білібінській АЕС, на Чукотці.

Основним напрямком розвитку АЕС є збільшення одиничної потужності ядерних паропродуктивних установок, парових турбін, турбогенераторів і іншого устаткування, а також АЕС в цілому.

Важливою задачею є також підвищення ККД і надійності АЕС. Останнє може бути досягнуте шляхом удосконалення елементів захисту й більш широким впровадженням на АЕС автоматизації. Розвиток АЕС повинний зупинити зростання споживання органічного палива для одержання електроенергії. У перспективі в енергетиці буде здійснений перехід на термоядерні установки.

Атомні енергоагрегати використовуються і для оснащення великих морських суден. У 1957 р. був спущений на воду перший атомохід "Ленін". Потужність головних двигунів криголама складала 44 тис. к.с., а добові витрати палива вимірювались грамами. Маса енергоустановки - 3017 т. У США в 1960 р. розпочата експлуатація атомного вантажопасажирського судна "Савана" водотоннажністю 21 тис. т. Будувалися й інші надводні судна з атомними енергоустановками, а також підводні човни.

2.9.5. Електричні мережі та енергосистеми

З початком створення на початку ХХ в. електростанцій змінилася схема розподілу електроенергії. Замість ліній, що з'єднували одну станцію й одного споживача, з'явилися електричні мережі, які об'єднували велике число паралельно працюючих електростанцій в енергетичну систему (ЕС). Від ЕС енергію одержували безліч споживачів. Передумовою їх створення було будівництво електростанцій і ЛЕП [28, 29]. Зі збільшенням потужності ЛЕП почали організовуватись окремі регіональні ЕС, а потім здійснювалось їх об'єднання у єдину ЕС (ЄЕС).

Забезпечення нормальної роботи ЕС вимагає дотримання визначених технічних правил. Загальне зростання їх потужності, а також числа паралельно працюючих електростанцій, ускладнення режимів роботи, - приводять до зниження запасу статичної і динамічної стійкості ЕС.

Для усталеної роботи ЕС необхідно, щоб ЛЕП мали достатню пропускну спроможність за потужністю, а станції - достатній запас потужностей

для покриття пікових навантажень і виключення перевантаження агрегатів та виходу їх із синхронізму. Особливе значення при рішенні вказаної задачі отримує диспетчерське оперативне керування ЕС, якому підпорядковується весь черговий персонал електростанцій, подстанцій і лінійних служб. Головною задачею диспетчерського керування є забезпечення стійкості ЕС. Диспетчерські пункти керування електростанціями оснащуються мнемосхемами ЕС, приладами для вимірювання та контролю, сигналізацією і, головне, - системами зв'язку, що дозволяють керувати ЕС та підстанціями. У 40-х рр. почало впроваджуватись телекерування ЕС.

В наш час потужні ЕС експлуатуються в Німеччині, Великобританії, Франції, США, Росії, Україні й інших країнах.

У 1936 - 1937 рр. у Великобританії сформувалася єдина високовольтна мережа "Грід" з ЛЕП довжиною 8 тис. км і електростанціями загальною потужністю 9 млн. кВт. У 1946 р. у "Грід" входило 142 електростанції потужністю 11,6 млн. кВт, у 1957 р. - 289 станцій потужністю 14,5млн. кВт.

Велика різниця в структурі виробництва енергії в країнах Західної Європи при значній загальній потужності електростанцій біля 700 млн. кВт (1980 р.) обумовили необхідність створення розвиненої системи міждержавних електричних мереж напругою 400 кВ. Єдиного диспетчерського центра в даній ЕС немає. Зв'язок ЕС Великобританії і континенту здійснюється передачами постійного струму.

США не мають єдиної ЕС. Експлуатуються кілька ЕС, загальною потужністю 600 млн. кВт. В енергетиці США існують чотири сектори - приватні й акціонерні компанії (77% потужностей), федеральні компанії (10%), муніципальні компанії (10%) і кооперативи (3%). У 1980 р. вироблено 2321 млрд. кВт·год електроенергії. Частки потужностей електростанцій основних типів такі: ТЕС 69,2% від загальної, ГЕС - 12,4%, АЕС - 9,2%, ГТУ - 8,3%, дизельних - 0,9%. ТЕЦ у США не будують. В ЕС країни використовуються два ряди напруг - 69, 230, 500 кВ і 138, 345, 765 кВ.

ЕС Південної Америки мають загальну потужність 60 млн. кВт, Африки - 40 млн. кВт (з них 50% припадає на частку ПАР і 10% - Єгипту).

Потужність ЕС Азії складає приблизно 280 млн. кВт, з яких на частку Японії припадає 137,9 млн. кВт. 69% цієї потужності дають ТЕС, 20% - ГЕС (приблизно третина з них ПЕС) і 11% - АЕС. До 1980 р. у Японії була сформована ЄЕС. ЕС островів Хонсю і Хоккайдо мають частоту 50 Гц, а інші - 60 Гц. Зв'язок між ними здійснюється ЛЕП постійного струму.

У СРСР до 1941 р. склалися ряд регіональних ЕС: Московська, Уральська, Ленінградська, Донбаська, ЕС кавказьких союзних республік, Сталінградська, Ташкентська, Харківська, Азово-Чорноморська, Дніпровська, Новосибірська й інші. У період 1941-1945 рр. утворилося 6 нових ЕС: Омська, Томська, Красноярська, Уфимська, Барнаулська й Оренбурзька. Процес створення ЕС стимулювався зростанням потужності споживачів, різноманітням графіків навантажень і відіграв важливу роль

в електрифікації країни - широкому використанні електроенергії в промисловості, сільському господарстві, на транспорті і в побуті. ЕС склалися з мереж довжиною до 100 км і напругою 35...100 кВ. Основні ЛЕП довжиною до 200 км мали напругу до 220 кВ.

У 60 - 65-х рр. було зроблене збільшення ЕС і утворено 11 об'єднаних ЕС із сумарною потужністю 198011,4 МВт. Зі зростанням централізації енергопостачання поліпшувалися економічні показники енергетики, знижувалися непродуктивні витрати і необхідний резерв потужностей.

У 1965 р. у Єдину Європейську систему (ЄЄЕС) були об'єднані 43 ЕС і 4 енергорайони із сумарною потужністю 54 млн. кВт і виробництвом 292 млрд. кВт·год за рік. У 1966 р. була споруджена ЛЕП від Калінінської ЕС до Ленінграда і до ЄЄЕС приєдналася об'єднана ЕС Півночі - Заходу. У 1969 р. до ЄЄЕС приєдналася Закавказька об'єднана ЕС. У цей же час формувалися об'єднані ЕС Сибіру, Середньої Азії і Далекого Сходу.

У 80-х рр. в результаті будівництва магістральних ЛЕП, що поєднали регіональні об'єднані ЕС (ОЕС) Півночі - Заходу, Півдня, Північного Кавказу, Закавказзя, Середньої Волги, Уралу, Казахстану, Сибіру (84 ЕС), утворилась ЄЕС СРСР. У 1984 р. її потужність складала 248 млн. кВт із виробленням 1260 млрд. кВт·год електроенергії. В ЄЕС не увійшли об'єднані ЕС Середньої Азії і Сходу.

Основою ЄЕС є мережа ЛЕП довжиною від 200 до 1200 км і напругою 220 і 500 кВ. Між ОЕС Центра, Заходу й іншими ОЕС діють ЛЕП 750кВ. При великих відстанях і потужностях між ОЕС використовуються ЛЕП довжиною 2000 км і напругою 1150 і 1500 кВ. Передача по ним електроенергії вимагає спорудження підстанцій з потужною апаратурою комутації.

Керування ЄЕС здійснюється центральним диспетчерським управлінням, якому підпорядковуються оперативно-диспетчерські управління ОЕС і великі ЕС міжсистемного значення.

Останнім часом по магістральним ЛЕП довжиною від 1500 км і більше енергія передається постійним струмом напругою до 1500 кВ.

Вище вже згадувалося про перші ЛЕП постійного струму, випробувані у 1873 - 1882 рр., про досліди Піроцького (1885 р.). В той період аналогічні ЛЕП будувалися в США, Великобританії і Франції. Для одержання високої напруги в ЛЕП використовувалася схема Тюрі - послідовне з'єднання низьковольтних генераторів. Наприклад, у Франції в 1906 р. була побудована ЛЕП постійного струму довжиною 180 км, напругою 57 кВ і потужністю 4,6 МВт (пізніше її напруга була підвищена до 125 кВ). Система Тюрі була менш надійна ніж трифазна система Доліво - Добровольського і тому розвитку не одержала.

ЛЕП постійного струму знов почали будувати у 60 – 80-х рр. Застосування їх стало можливим завдяки створенню потужних випрямних і інверторних установок.

У передачах постійного струму практично відсутні втрати. Кабельні лінії на постійному струмі більш надійні і мають у 2...4 рази більшу пропускну спроможність, ніж на перемінному. Але головним є можливість з'єднання ЕС, що працюють у несинхронному режимі, а також підвищення стійкості роботи ОЕС. Це має велике значення, тому що порушення синхронного режиму ЕС приводить до важких аварій і її розвалу. З 1965 по 1982 рр. у різних країнах відбулося 9 великих аварій тривалістю до 25 год і сумарною потужністю відключених споживачів до 40 млн. кВт у кожній. Дві такі аварії мали місце у Нью-Йорку в 1966 і 1977 рр.

У США ЛЕП постійного струму 800 кВ і довжиною 1370 км була введена до ладу в 1970 р. у штаті Орегон. У Канаді побудована ЛЕП напругою 900 кВ довжиною 900 км. Реалізований ряд аналогічних проектів в інших країнах (у Європі - 7, Азії - 3, Північній Америці - 8, Африці - 2).

Електрифікація, що базується на виробництві і розподілі електроенергії, значною мірою створює економічний потенціал країни. Структура споживання електроенергії визначається історичними особливостями і промисловим розвитком країни, а також її потребами і досконалістю використовуваних технологій. Для порівняння наведемо структуру споживання електроенергії в США і СРСР у 1989 р.

Таблиця 2.3

Структура споживання електроенергії у 1989 р.
в США і СРСР у % від загального виробництва

№	Галузь	США	СРСР
1	Промисловість	39,5	58,6
2	Транспорт	0,2	7,2
3	Сільське господарство	4,2	5,2
Усього по трьох галузях		43,9	71,0
4	Сфера обслуговування і побуту	44,5	13,5
5	Втрати	11,6	15,5

Літэратура

1. Симоненко О.Д. Сотворение техносферы: проблемное осмысление истории техники. - М.: Аргус, 1994.
2. Блок М. Апология истории или ремесло историка. - М.: Наука, 1973.
3. Зворыкин А.А. и др. История техники. - М.: Изд. соц-эконом. литературы, 1962.
4. Кефели И.Ф. История науки и техники: Учеб. пособие. - СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 1995.
5. Гутнер Л.М. Философские вопросы научно - технического познания и инженерной деятельности. - СПб.: СЗПИ, 1993.
6. Теория механизмов и машин. Терминология. - М.: Наука, 1978.
7. Чутко И. Мост через время. - М.: Политиздат, 1989.
8. Современная научно - техническая революция/ Под ред. С.В. Шухардина. - М.: Наука, 1970.
9. Проников А.С. Надежность машин. - М.: Машиностроение, 1978.
10. Хазов Б.Ф., Дидусиев Б.А. Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования. - М.: Машиностроение, 1986.
11. Сандлер Дж. Техника надежности систем. - М.: Наука, 1966.
12. Сомов Ю.С. Композиция в технике. - М.: Машиностроение, 1987.
13. Мировая энергетика: прогноз развития до 2020 г./ Пер. с англ. под ред. Ю.Н. Старшинова. - М.: Энергия, 1980.
14. Технический прогресс энергетики СССР/ Под ред. П.С. Непорожного. - М.: Энергоатомиздат, 1984.
15. Карцев В.П., Хазановский П.М. Тысячелетия энергетики. - М.: Знание, 1984.
16. Кудрявцев П.С., Конфедератов И.Я. История физики и техники. - М.: Учпедгиз, 1960.
17. Экология и политика/ Под ред. Кондратьева К.Я. - СПб.: РАН, 1993.
18. Канаев А.А. От водяной мельницы до атомного двигателя. - М.: Mashgiz, 1957.
19. Конфедератов И.Я. История теплотехники. Начальный период (17-18 вв.). - М.- Л.: ГЭИ, 1954.
20. Хотеев В.Ф. Все о технике. - М.: Дрофа, 1996.
21. Из истории отечественной техники. - Л.: Ленгиз, 1950.
22. Иойрыш А.И., Морохов И.Д., Иванов С.К. А-бомба. - М.: Наука, 1980.
23. Содди Ф. История атомной энергии. - М.: Атомиздат, 1979.
24. Атомная энергетика сегодня и завтра/ Под. ред проф. Т.Х.Маргуловой. - М.: Высш.школа, 1989.
25. Витт П. Газовые турбины. - М.: Машиностроение, 1965.
26. Кулагин И.И. Теория авиационных газотурбинных двигателей. - Л.: ЛКВВИА, 1954.

27. Флоренсов В.Я. Динамо-машины для токов постоянного направления. - СПб, 1890.
28. Тиходеев Н.Н. Передача электрической энергии. - Л.: Энергоатомиздат, 1984.
29. Управление мощными энергообъединениями/ Под ред. С.А. Соколова. - М.: Энергоатомиздат, 1984.
30. Загорский Ф.Н. Очерки по истории металлорежущих станков. - Л.: Л.О. изд. АН СССР, 1960.
31. Металлорежущие системы машиностроительных производств/ О.В. Таратынов, Г.Г. Земсков, И.М. Баранчукова и др.; под ред. Г.Г. Земскова, О.В. Таратынова. - М.: Высш.школа, 1988.
32. Оптиц Г. Современная техника производства: состояние и тенденции/ Сокр. пер. с нем. - М.: Машиностроение, 1975.
33. Шаумян Г.А., Кузнецов Г.Г., Волчкевич Л.И. Автоматизация производственных процессов/ Под ред Г.А. Шаумяна. - М.: Высш.школа, 1967.
34. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Проблемы системологии. - М.: Сов. радио, 1976.
35. Маталин А.А. Технология машиностроения. - Л.: Машиностроение, 1985.
36. Ратмиров В.А. Основы программного управления станками. - М.: Машиностроение, 1978.
37. Ратмиров В.А. Управление станками гибких производственных систем. - М.: Машиностроение, 1987.
38. Капустин Н.М. Разработка технологических процессов обработки деталей на станках с помощью ЭВМ. - М.: Машиностроение, 1976.
39. Мясников В.А., Вальков В.М., Омельченко И.С. Автоматизированные и автоматические системы управления технологическими процессами. - М.: Машиностроение, 1978.
40. Вальков В.М., Вершин В.Е. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. - Л.: Политехника, 1991.
41. Белянин П.Н. Промышленные роботы. - М.: Машиностроение, 1975.
42. Устройство промышленных роботов/ Е.И. Юрьевич, Б.Г. Аветиков, О.Б. Коротко и др. - Л.: Машиностроение, 1980.
43. Гибкие производственные комплексы/ Под ред. П.Н. Белянина, В.А. Лещенко. - М.: Машиностроение, 1986.
44. Многоцелевые системы ЧПУ с гибкой механообработкой/ В.Н. Алексеев, В.Г. Воржев, Г.П. Гырдымов и др.; под ред. В.Т. Колосова. - Л.: Машиностроение, 1984.
45. Гибкие автоматизированные производства в отраслях промышленности/ И.М. Макаров, П.Н. Белянин, Л.В. Лебиков и др.; под ред И.М. Макарова. - М.: Высш. школа, 1986.

46. Гибкие производственные системы сборки/ П.И. Алексеев, А.Г. Герасимов, Э.П. Давыденко и др.; под ред. А.И. Федотова. - Л.: Машиностроение, 1989.
47. Хартли Дж. ГПС в действии. - М.: Машиностроение, 1987.
48. Раков В.А. Локомотивы отечественных железных дорог 1845 - 1955. - М.: Транспорт, 1995.
49. Дубовской В.И. Автомобили и мотоциклы в России (1896 -1917 гг.). - М.: Транспорт, 1994.
50. Шугуров Л.М., Шершов В.П. Автомобили страны советов. 2-е изд. - М.: ДОСААФ, 1983.
51. Долматовский Ю.А. Автомобиль за 100 лет. - М.: Знание, 1986.
52. Генриот Э. Краткая иллюстрированная история судостроения. - Л.: Судостроение, 1974.
53. Белкин С.И. Голубая лента Атлантики. - Л.: Судостроение, 1990.
54. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины. - М.: Высш. школа, 1985.
55. Евневич А.В. Грузоподъемные и транспортирующие машины на заводах строительных материалов. - М.: Изд. машиностр. литературы, 1962.
56. Кроссер П. Диалектика военной техники и ее последствия/ Пер. с англ. - М.: Прогресс, 1975,
57. Оружие Победы/ Под ред. В.Н. Новикова. - 2-е изд. - М.; Машиностроение, 1987.
58. Жук А.Б. Винтовки и автоматы. - М.: Воениздат, 1987.
59. Выставка "Автоматы Калашникова". Каталог. - СПб.: В-ИМА,И, В и ВС, 1994.
60. Болотин Д.Н. Советское стрелковое оружие. - 2-е изд. - М.: Воениздат, 1986.
61. Яковлев А.С. 50 лет советского самолетостроения. - М.: Наука, 1968.
62. Авиация в России. Справочник/ Келдыш М.В. и др. 2-е изд. - М.: Машиностроение, 1988.
63. Шавров В.Б. История конструкций самолетов в СССР до 1938 г. - М.: Машиностроение, 1969.
64. Шавров В.Б. История конструкций самолетов в СССР 1938 - 1950 гг. - М.: Машиностроение, 1978.
65. Изаксон А.М. Советское вертолетостроение. - М.: Машиностроение, 1978.
66. Зуенко Ю., Коростылев С. Боевые самолеты России. - М.: Элакос, 1994.
67. Современные боевые самолеты: Справ. пособие. - Минск: Элайда, 1997.
68. Соболев Д.А. История самолетов. 1919 - 1945 гг. - М.: РОССПЭН, 1997.

69. Бауэрс П. Летательные аппараты нетрадиционных схем. - М.: Мир, 1991.
70. Пономарев А.Н. Авиация настоящего и будущего. - М.: Военное издательство, 1984.
71. Вараксин Ю.Н. и др. Бронетанковая техника СССР (1920 - 1974). - М.: ЦНИИ информации, 1981.
72. Дютиль Л. Танки. - М.: ДОСААФ, 1973.
73. Косарев Е.А., Орехов Е.М., Фомин Н.Н. Танки - М.: ДОСААФ, 1973.
74. Основные боевые танки/ Под ред. Сафонова Б.С. и Мураховского В.И. - М.: Арсенал-Пресс, 1993.
75. Боголюбов Н. История корабля. В 2-х т. - М.: Судостроение, 1987.
76. Морской энциклопедический справочник. В 2-х т. - Л.: Судостроение, 1987.
77. Цветков И.Ф. Линкор "Октябрьская Революция". - Л.: Судостроение, 1983.
78. Горшков С.Г. Морская мощь государства. - М.: Воениздат, 1970.
79. Невский бастион. Военно-исторический сборник. 1.1996. - СПб.: ТОО "Пика лтд".
80. Гагин В. В. Советские атомные подводные лодки. - Воронеж: Полиграф, 1995.
81. Гэтленд К.Х. Развитие управляемых снарядов. - М.: ИЛ, 1956.
82. Карпенко А.В. Российское ракетное оружие 1943 - 1993 гг.; Справочник. - СПб.: Пика, 1993.
83. Глушко В.П. Развитие ракетостроения и космонавтики в СССР. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1987.
84. Космонавтика. Энциклопедия/Гл. ред. В.П. Глушко. - М.: Сов. энциклопедия, 1985.
85. Гильзин К.А. Электрические межпланетные корабли. 2-е изд. - М.: Наука, 1970.
86. Циолковский К.Э. Исследование мировых пространств реактивными приборами. - Калуга, 1914.
87. Кондратюк Ю.В. Завоевание межпланетных пространств. - М.: Оборонгиз, 1947.
88. Лиллис. Люди, машины и история. - М.: Прогресс, 1970.
89. Виргинский В.С. Очерки истории науки и техники XVI - XIX вв. - М.: Просвещение, 1984

Додаток
Основні фізичні ефекти, що використовуються
в інженерній діяльності

1. Закон Ома.

Струм у провіднику прямо пропорційний прикладеній напрузі.

2. Закон Джоуля-Ленца.

При протіканні через провідник електричного струму виділяється теплота, пропорційна квадрату сили струму, опору провідника і часу протікання струму.

3. Ефект Зеебека.

Виникнення ЕРС в електричному ланцюзі, що складається з послідовно з'єднаних різнорідних провідників, контакти між якими мають різні температури.

4. Ефект Томсона.

Виділення або поглинання теплоти (крім виділення джоулевої теплоти) у провіднику зі струмом, уздовж якого має місце градієнт температури.

5. Ефект Пельтьє.

Виділення або поглинання теплоти при протіканні електричного струму через контакт різнорідних провідників.

6. Закон Біо – Савара - Лапласа.

Виникнення навколо провідника магнітного поля при протіканні по ньому електричного струму.

7. Надпровідність.

Стрибокподібне зменшення (практично до нуля) електричного опору ряду металевих провідників і сильнолегованих напівпровідників при охолодженні їх нижче критичної температури, характерної для даного матеріалу.

8. Тензорезистивний ефект.

Зміна електричного опору твердих провідників під дією механічної напруги розтягу або стиску.

9. Вторинна електронна емісія.

Випускнення вторинних електронів твердими і рідкими тілами при їх бомбардуванні первинними електронами.

10. Ефект Ганна.

Генерація високочастотних коливань електричного струму в напівпровідниках з N - подібною вольт-амперною характеристикою (CdTe, InSb, InAs, і інших).

11. Другий закон Ньютона.

Виникнення під дією механічної сили (або рівнодійної сил), прикладеної до тіла (матеріальної точки), прискорення, пропорційного силі і спрямованого за напрямком її дії.

12. Магніторезистивний ефект.

Зміна електричного опору твердих провідників під дією магнітного поля.

13. Ефект Гопкінсона.

Різке збільшення магнітної проникності феромагнетика в слабкому магнітному полі поблизу точки Кюрі. У безпосередній близькості до точки Кюрі проникність падає (феромагнетик стає парамагнетиком).

14. Катодолюмінесценція.

Випромінювання світла, що виникає при збудженні люмінофора електронним пучком.

15. Піроелектричний ефект.

Виникнення електричних зарядів на поверхні деяких кристалічних діелектриків (піроелектриків) при їх нагріванні або охолодженні.

16. Закон Ампера.

Виникнення механічної сили, що діє на провідник, розташований у зовнішньому магнітному полі, при протіканні через нього електричного струму.

17. Електрокалоричний ефект.

Зміна температури піроелектричного кристала під впливом електричного поля.

18. Термоелектронна емісія. Випуск електронів нагрітими тілами.

19. Ефект Холла.

Виникнення різниці потенціалів між боковими гранями пластини з металевого провідника або напівпровідника, уздовж якого протікає електричний струм, під дією перпендикулярного до неї магнітного поля.

20. Магнітострикція.

Зміна форми і розмірів тіла при його намагнічуванні.

21. Ефект Ейнштейна-де Хааза.

Поворот вільно підвішеного феромагнітного зразка в зовнішньому магнітному полі.

22. Автоелектронна емісія.

Випуск електронів провідними твердими і рідкими тілами під дією зовнішнього електричного поля високої напруженості біля їх поверхні.

23. Ефект Вілларі (магнітопружний ефект). Вплив механічних деформацій (розтягу, крутіння, вигину і т.д.) на намагніченість феромагнетика.

24. Електролюмінесценція.

Люмінесценція, що збуджується електричним полем.

25. Ефект Магнуса.

Виникнення поперечної сили, що діє на тіло, яке обертається в потоці рідини (газу), що набігає на нього.

26. Природна оптична активність.

Обертання площини поляризації оптичного випромінювання при проходженні через деякі речовини.

27. Ефект Баркгаузена.

Стрибкоподібна зміна намагніченості феромагнітного зразка при безперервній зміні зовнішнього магнітного поля.

28. Ефект Барнетта.

Зміна намагніченості феромагнетика при його обертанні у відсутності зовнішнього магнітного поля.

29. Закон Брюстера.

Повна поляризація природного (неполяризованого) світла при його падінні на границю двох діелектриків під кутом Брюстера.

30. Закон всесвітнього тяжіння.

Дія на тіло, що знаходиться в довільній точці гравітаційного поля сили гравітації, величина якої залежить від маси цього тіла і від напруженості гравітаційного поля.

31. П'єзоелектричний ефект.

Зміна поляризації деяких кристалічних діелектриків (п'єзоелектриків) при механічній деформації.

32. Зворотний п'єзоелектричний ефект.

Поява механічної деформації в анізотропних кристалічних діелектриках під дією електричного поля.

33. П'єзوماгнітний ефект.

Виникнення в речовині намагніченості під дією зовнішнього тиску.

34. Закон Кулона.

Два точкових заряди взаємодіють один з одним із силою, пропорційною добутку їх зарядів і зворотно пропорційною квадрату відстані між ними.

35. Сила Лоренца.

Дія на заряджену частинку, що рухається в магнітному полі, сили, яка перпендикулярна вектору магнітної індукції даного поля і вектору швидкості частинки.

36. Електромагнітна індукція.

Виникнення ЕРС індукції в провідному контурі при зміні магнітного потоку через обмежену контуром поверхню.

37. Електростатична індукція.

Утворення під дією зовнішнього електричного поля на поверхні провідника або діелектрика рівних і протилежних за знаком зарядів.

38. Самоіндукція.

Виникнення ЕРС індукції в провідному контурі при зміні сили струму в ньому.

39. Фотоелектронна емісія.

Випускнення у вакуум або інше середовище електронів твердими тілами і рідинами під дією електромагнітного випромінювання.

40. Терморезистивний ефект.

Зміна електричного опору провідних тіл при зміні їх температури. У металевих провідників опір зі зростанням температури збільшується, у рідких електролітів і напівпровідників - зменшується.

41. Ефект Мейснера.

Витиснення магнітного поля з товщі провідника при його переході з нормального стану у надпровідне.

42. Ефект Поккельса.

Зміна показника переломлення світла в кристалах, поміщених в електричне поле.

43. Вихрові струми (струми Фуко).

Виникнення замкнених електричних струмів у масивному провіднику при зміні магнітного потоку, що його пронизує.

44. Гальванопружний магнітний ефект.

Зміна електричного опору феромагнетика, поміщеного в магнітне поле, на який діють односторонні механічні пружні напруження розтягу або стиску.

45. Діелектричний гістерезис.

Неоднозначна залежність електричної поляризації сегнетоелектрика від електричного поля. При циклічній зміні поля крива, що характеризує зміну поляризації зразка, утворює петлю діелектричного гістерезиса.

46. Магнітоелектричний ефект в антиферомагнетиках.

Намагнічування антиферомагнітного діелектричного кристала зовнішнім електричним полем при певних типах симетрії розташування магнітних іонів в елементарному осередку кристала.

47. Магнітоелектричний ефект в антиферомагнетиках.

Електрична поляризація антиферомагнітного діелектричного кристала зовнішнім магнітним полем при певних типах симетрії розташування магнітних іонів в елементарному осередку кристала.

48. Акустомагнетоелектричний ефект.

Виникнення різниці потенціалів у напівпровіднику, поміщеному в поперечне магнітне поле, у напрямку, перпендикулярному магнітному полю і напрямку поширення звукової хвилі при пропусканні через нього ультразвуку.

49. Дія магнітного поля на контур зі струмом.

Поворот рамки зі струмом, поміщеної в однорідне магнітне поле, під дією обертового моменту, що виник в цей ж самий момент.

50. Акустичний парамагнітний резонанс.

Резонансне поглинання енергії ультразвукової хвилі певної частоти при проходженні через парамагнітний кристал, що знаходиться в постійному магнітному полі.

51. Магнітний гістерезис.

Неоднозначна залежність намагніченості феромагнітного зразка від напруженості зовнішнього магнітного поля. При циклічній зміні напруженості магнітного поля крива, що характеризує зміну намагніченості зразка, утворює петлю магнітного гістерезиса.

52. Поляризація діелектриків.

Утворення об'ємного дипольного моменту діелектрика під дією електричного поля. На поверхні діелектрика з'являються зв'язані (поляризовані) заряди.

53. Іонізація газу під дією електричного поля.

Утворення додатних і від'ємних іонів і вільних електронів з електрично нейтральних атомів і молекул газу під дією сильного електричного поля.

54. Пробій діелектриків.

Різде зменшення електричного опору діелектрика при деякому критичному значенні напруженості прикладеного електричного поля.

55. Вибухова електронна емісія.

Випуск інтенсивного електронного потоку, обумовлене переходом речовини катода з конденсованої фази в щільну плазму в результаті розігріву локальних областей катода сильним електричним полем.

56. Триболомінесценція.

Виникнення люмінесценції при розтиранні, роздавлуванні або розколюванні деяких кристалів.

57. Дуговий розряд.

Самостійний квазістаціонарний розряд у газі, що горить практично при будь-яких тисках газу і при постійній або мінливій з низькою частотою (до 1000 Гц) різниці потенціалів між електродами.

58. Тліючий розряд.

Один з видів стаціонарного самостійного електричного розряду в газах. Має місце при низьких тисках і характеризується порівняно малою щільністю струму на катоді і великим (порядку сотень вольт) катодним падінням потенціалу.

59. Іскровий розряд.

Нестійкий електричний розряд у газах, що виникає при їх іонізації по всій довжині міжелектродного простору. Характеризується проходженням електричного струму по зигзагоподібних розгалужених каналах.

60. Ефект Кікоїна-Носкова.

Виникнення електричного поля в напівпровіднику, що знаходиться в магнітному полі, при освітленні його світлом, що сильно поглинається. Електричне поле перпендикулярно магнітному полю і напрямку розповсюдження світла.

61. Термоелектретний ефект.

Утворення стійкої поляризації в діелектрику при його охолодженні в присутності постійного електричного поля.

62. Термолюмінесценція.

Виникнення люмінесценції при нагріванні деяких речовин, попередньо збуджених світлом або рентгенівським випромінюванням.

63. Намагнічування.

Виникнення або зміна намагніченості речовини при дії на неї зовнішнього магнітного поля. Діамагнетики намагнічуються проти поля, пара- і ферромагнетики - у напрямку поля.

64. Безелектродний кільцевий розряд.

Розряд у розрідженому газі, викликаний високочастотним магнітним полем.

65. Звуковий радіаційний тиск.

Постійний за значенням і напрямком тиск, що діє на поверхню перешкоди, яка знаходиться на шляху розповсюдження звуку.

66. Електрострикція.

Деформація діелектрика під дією зовнішнього електричного поля, пропорційна квадрату напруженості поля.

67. Ефект Фарадея.

Обертання площини поляризації лінійно поляризованого світла, що розповсюджується в ізотропній речовині уздовж постійного магнітного поля, у якому знаходиться ця речовина.

68. Ефект Коттона-Мутона.

Подвійна променезаломлюваність світла в ізотропній речовині, поміщеній у сильне магнітне поле, перпендикулярне світловому променю.

69. Ефект Доплера в оптиці.

Зміна частоти коливань, що сприймається спостерігачем при русі джерела електромагнітного випромінювання і спостерігача відносно один одного.

70. Ефект Керра.

Виникнення подвійної променезаломлюваності в оптично ізотропних речовинах під дією однорідного електричного поля.

71. Теплопровідність ізотропних тіл.

Виникнення теплового потоку в ізотропному тілі під дією градієнта температури. Щільність теплового потоку пропорційна градієнту температури.

72. Фотопластичний ефект.

Збільшення міцності пластично деформованого зразка під впливом світла.

73. Основне рівняння динаміки обертального руху твердого тіла.

Результуючий момент зовнішніх сил, що діють на тіло, яке має вісь обертання, створює кутове прискорення, пропорційне моменту сил.

74. Гальмове рентгенівське випромінювання.

Виникнення електромагнітного випромінювання суцільного спектра в результаті гальмування швидких заряджених частинок при взаємодії з атомами металевої мішені.

75. Ефект Доплера в акустиці.

Зміна частоти коливань звукової хвилі, що сприймається спостерігачем, при русі джерела коливань і спостерігача відносно один одного.

76. Акустоелектричний ефект.

Виникнення за певних умов різниці потенціалів у провідному середовищі в напрямку поширення ультразвукової хвилі, при її проходженні через середовище.

77. Подвійна променезаломлюваність.

Роздвоєння світлових променів при проходженні через анізотропне середовище. При падінні світлової лінійно поляризованої хвилі на анізотропне середовище в ній виникає дві хвилі з взаємно перпендикулярними площинами поляризації.

78. Ефект Нернста.

Виникнення подовжнього градієнта температури в провіднику зі струмом, що знаходиться в магнітному полі.

79. Теплове розширення.

Зміна розмірів тіла при його нагріванні. Характеризується коефіцієнтом лінійного (для твердих тіл) або об'ємного (для рідких і газоподібних тіл) теплового розширення.

80. Фотопружність (п'єзооптичний ефект).

Виникнення оптичної анізотропії в первинно ізотропних твердих тілах під дією механічної напруги, що приводить до подвійної променезаломлюваності світлової хвилі.

81. Фотопровідність (фоторезистивний ефект).

Збільшення електропровідності напівпровідника під дією електромагнітного випромінювання.

82. Поглинання звуку.

Зменшення інтенсивності акустичної хвилі, що проходить через речовину, у результаті необоротного переходу енергії хвилі в інші види енергії, зокрема в теплову.

83. Поглинання світла.

Зменшення інтенсивності електромагнітного випромінювання при проходженні через речовину.

84. Повне внутрішнє відбиття.

Повне відбиття енергії електромагнітної хвилі, що падає на границю розподілу двох прозорих середовищ із середовища з великим показником заломлення.

85. Фотолюмінесценція.

Виникнення люмінесценції, що збуджується дією на речовину оптичного випромінювання.

86. Закон Кюрі.

Зворотна пропорційність температурі питомої магнітної сприйнятливості деяких парамагнетиків.

87. Вентильний фотоефект.

Виникнення ЕРС в системі, що містить контакт двох різних напівпровідників або напівпровідника і металу, при поглинанні оптичного випромінювання.

88. Довгохвильовий фотовольтаїчний ефект.

Виникнення фото ЕРС у контакті напівпровідника з металевим електродом при поглинанні фотонів світла, енергія яких менша необхідної для переходу ширини забороненої зони напівпровідника.

89. Випромінювання Черенкова - Вавілова.

Випромінювання світла електрично зарядженою частинкою при її русі в середовищі з постійною швидкістю, що перевищує фазову швидкість світла в цьому середовищі.

90. Гідростатичний тиск.

Тиск, що створюється в полі сил ваги верхніх шарів рідини і діє на нижні шари. Величина цього тиску визначається на вільній поверхні рідини.

91. Закон Архімеда.

Утворення виштовхувальної сили, яка діє на тіло, занурене в рідину або газ. Виштовхувальна сила дорівнює вазі витиснутої тілом рідини (газу), спрямована по вертикалі вверх і прикладена до центра ваги витиснутого об'єму.

92. Ефект Етінгсхаузена.

Виникнення градієнта температури у твердому провіднику зі струмом під дією магнітного поля в напрямку, перпендикулярному струму і полю.

93. Акустоелектронна емісія (ефект Лучнікова - Сігова).

Аномальне збільшення виходу потоку електронів з поверхні радіоелектрета, отриманого опроміненням діелектриків електронами, при збудженні ультразвуком.

94. Пластична деформація під впливом ультразвуку.

Збільшення пластичності твердого тіла, що знаходиться під механічною напругою, при впливі на нього ультразвукових коливань.

95. Вплив упорядкування сплавів на їх електричний опір.

Наявність різко виражених мінімумів на кривих концентраційної залежності електричного опору подвійних сплавів типу заміщення з необмеженою розчинністю компонентів у точках, що відповідають стехіометричному складу.

96. Ефект перемикання.

Оборотний перехід напівпровідника з високоомного стану в низькоомний під дією електричного поля, що перевищує граничне значення.

97. Розряд Пеннінга.

Стаціонарний самостійний електричний розряд у газах у подовжньому магнітному полі.

98. Коронний розряд.

Високовольтний самостійний електричний розряд у газах під тиском, що перевищує 10 Па. Виникає в різко неоднорідному електричному полі поблизу електродів з великою кривизною поверхні.

99. Тихий розряд.

Несамостійний електричний розряд у газі, що виникає при малій різниці потенціалів між електродами, під тиском газу порядку 10 Па.

100. Іонізація газу рентгенівськими променями.

Утворення позитивних і негативних іонів газу і вільних електронів з електрично нейтральних атомів і молекул газу під дією електромагнітного випромінювання рентгенівського діапазону.

101. Залежність модуля пружності металів від температури. Плавне зменшення модуля пружності металів зі збільшенням температури.

102. Вплив легування на модуль пружності металів.

Лінійна залежність модуля пружності металів від концентрації легуючого елемента. Легування може як зменшувати, так і збільшувати модуль пружності.

103. Деформаційне зміцнення металів (наклеп).

Зміцнення металів при пластичній деформації. Межа міцності зростає зі збільшенням ступеня пластичної деформації.

104. Вплив пластичної деформації на електричний опір металів.

Зростання питомого електричного опору металів при збільшенні ступеня їх пластичної деформації.

105. Вплив нагрівання на механічні властивості деформованого металу (рекристалізаційні процеси).

Зменшення межі міцності, поліпшення пластичності і зниження твердості при нагріванні попередньо пластично деформованого металу або сплаву.

106. Залежність межі текучості металів і сплавів від температури.

Зменшення межі текучості металів і їх сплавів зі збільшенням температури.

107. Залежність межі текучості металів і сплавів від швидкості деформації.

Збільшення межі текучості металів і сплавів за степеневим законом зі зростанням швидкості деформації (при зменшенні тривалості навантаження).

108. Залежність густини металів від температури при переході через точку плавлення.

Стрибокподібне зменшення густини металу при збільшенні температури до температури плавлення.

109. Термічна іонізація.

Розпад атомів і молекул нейтрального газу на заряджені частинки в результаті зіткнень внаслідок теплового руху при досить високій температурі.

110. Ефект Нернста - Еттінгсхаузена.

Виникнення електричного поля у твердому провіднику при наявності градієнта температури і перпендикулярного до нього магнітного поля.

111. Звуколюмінесценція.

Світіння в рідині під дією інтенсивної акустичної хвилі (при акустичній кавітації). Світлове випромінювання дуже слабе і стає видимим тільки при значному підсиленні або в повній темряві.

112. Закон Блоха.

Зменшення мимовільної намагніченості феромагнетиків зі зростанням температури (для діапазону температур значно нижчих точки Кюрі).

113. Звукокапілярний ефект.

Підйом рідини в капілярі на аномально велику висоту під дією ультразвукової хвилі.

114. Залежність температури плавлення твердого тіла від зовнішнього тиску.

Зміна температури плавлення кристалічних речовин при збільшенні зовнішнього тиску. Якщо питомий об'єм рідкої фази більший, ніж твердої, то температура плавлення зростає.

115. Залежність електричного опору твердого тіла від тиску.

Зміна електричного опору твердого тіла при зміні зовнішнього тиску в діапазоні високих тисків. У більшості речовин електричний опір зі зростанням тиску знижується.

116. Ефект Дембера.

Виникнення ЕРС електричного поля в однорідному напівпровіднику при його нерівномірному висвітленні. Зокрема, ЕРС виникає між освітлюваною і неосвітлюваною поверхнями напівпровідника при сильному поглинанні світла в ньому.

117. Закон Бугера – Ламберта – Бера.

Ослаблення пучка монохроматичного світла при його проходженні через поглинальну речовину. Інтенсивність пучка на виході з поглинального шару зменшується за експонентним законом в порівнянні з первинною інтенсивністю.

118. Ефект Ригі – Ледюка.

Виникнення вторинної різниці температур у провіднику з перепадом температур, поміщеному в магнітне поле, перпендикулярне тепловому потоку. Напрямок вторинної різниці температур перпендикулярний первинному тепловому потоку і магнітному полю.

119. Залежність показника заломлення газів від густини.

Зростання показника заломлення газу зі збільшенням його густини. Залежність носить складний квадратичний характер.

120. Залежність показника заломлення газів від тиску.

Зростання показника заломлення газу зі збільшенням його тиску. Залежність показника заломлення від тиску в широкому діапазоні зміни тиску може бути виражена поліномом деякого степеня.

Навчальне видання

Р.Д.Іскович-Лотоцький, І.В.Севостянов

ІСТОРІЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Навчальний посібник Ч.І

Оригінал-макет підготовлено автором І.В.Севостяновим
Редактор В.О.Дружиніна
Коректор З.В.Поліщук

Науково-методичний відділ ВНТУ
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001 р.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ

Підписано до друку
Формат 29,7x42¼
Друк різнографічний
Тираж 75 прим.
Зам. №

Гарнітура Times New Roman
Папір офсетний
Ум. друк. арк.

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі Вінницького національного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001 р.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ