

ЕНЕРГЕТИКА

ВІД ВОГНЮ ТА ВОДИ ДО ЕЛЕКТРИКИ



історія, сучасність і майбутнє

Бог проявив щедрість, коли подарував світу таку людину...

*Світлані Плачковій
присвячується*

Енергетика: **історія, сучасність і майбутнє**

ВІД ВОГНЮ ТА ВОДИ
ДО ЕЛЕКТРИКИ

Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Від вогню та води до електрики – Київ, 2013. – 264 с.

ISBN 966-7317-98-6

Видання «Енергетика: історія, сучасність і майбутнє» являє собою розлогий, всеохоплюючий виклад одержання і використання енергії людиною від давнини до наших днів. У першій книзі видання «Від вогню та води до електрики» висвітлено передумови використання вогню та води людиною, характеризується викопне паливо (вугілля, нафта, газ, уран) як джерело енергії. Наведено відомості про їх відкриття і походження, фізичні та хімічні властивості, класифікацію, історію та напрямки використання, географію родовищ і видобування, у тому числі в Україні.

Для працівників енергетичної сфери, державних службовців, вчених, викладачів, студентів і школярів, усіх тих, хто цікавиться природничо-науковими, економічними, соціальними, організаційними та іншими питаннями виробництва енергії, енергоспоживання, енергозбереження, охорони навколишнього середовища.

НАУКОВЕ РЕДАГУВАННЯ

Карп І.М., академік НАН України

Ландау Ю.Н., д-р техн. наук

Сігал І.Я., д-р техн. наук

Авторський колектив

Бондаренко В.І. (ч.2, 7.6, 7.7), Варламов Г.Б. (ч.1, розділ 2), Вольчин І.А. (післямова), Карп І.М. (ч.2, 8.2.4), Колоколов О.В. (ч.2, 7.6, 7.7), Кравченко Т.Г. (ч.2, розділ 8), Кузьменко О.М. (ч.2, 7.6, 7.7), Ландау Ю.О. (вступ, ч.1, розділи ~~Х~~ ~~З~~ післямова), Лук'янчиков В.С. (ч.2, розділ 6), Мойсеєнко О.В. (ч.2, 7.3-7.5), Півняк Г.Г. (ч.2, 7.6, 7.7), Подгуренко В.С. (ч.1, розділи 1, 3-5, 7.1(Агрікола)), Сігал І.Я. (ч.2, розділ 6), Скляр П.Т. (ч.2, 7.1-7.5), Чернявський М.В. (ч.2, 7.1, 7.2, 7.6), Широков С.В. (ч.2, розділ 9).

ISBN 966-7317-98-6

© Бондаренко В.І., Варламов Г.Б., Вольчин І.А., Карп І.М., Колоколов О.В., Кравченко Т.Г., Кузьменко О.М., Ландау Ю.О., Лук'янчиков В.С., Мойсеєнко О.В., Півняк Г.Г., Подгуренко В.С., Сігал І.Я., Скляр П.Т., Чернявський М.В., Широков С.В., 2006

© ТОВ «Редакція видання «Енергетика: історія, сучасність і майбутнє», 2013

ЧАСТИНА 1

ЕВОЛЮЦІЯ
УЯВЛЕНЬ ПРО
ЕНЕРГЕТИЧНУ СУТЬ
ПРИРОДНИХ ЯВИЩ.
ІСТОРІЯ
ВИКОРИСТАННЯ
ПРИРОДНИХ
ЕНЕРГОРЕСУРСІВ

Розділ 1

Сонце.

**Земля та
її еволюція.**

Вода і вітер

Сучасний світ важко зрозуміти, не знаючи, яким він був раніш.

Ми сприймаємо Сонце як належне. Як і наші праотці, ми кажемо, що Сонце «сходить і заходить», щодня проходячи своє коло по небосхилу, хоча і знаємо, що це наша не дуже велика Земля обертається довкола Сонця.

Так що ж таке Сонце? Чому для давніх народів воно було богом?

Коли і як народилася Земля? Яким чином вона розвивалася на ранніх стадіях своєї еволюції?

Коли і як з'явилася вода?

Що таке вітер і як він виникає? Які фізичні сили визначили історію Землі?

Яку роль у цих процесах грають Сонце, вода і вітер? Яку користь людству принесла енергія Сонця, води і вітру? Як «людина розумна» опанувала світ природи і коли перетворилася в «людину могутню»? Коли почався перехід від «живої енергетики» до нових джерел енергії – води і вітру? Коли і де з'явилися перші гідро- і вітроагрегати? Як вони поширювалися світом, як удосконалювалися і розвивалися?

Відповіді на ці та інші питання читач зможе одержати, зробивши короткий екскурс у віддалену і недавню історію.

1.1. Сонце – об'єкт поклоніння людства

Якщо порівняти час життя Сонця з віком людства, можна вважати, що Сонце існує вічно, даючи Землі свою життєтворчу силу.

Сонце – центральне тіло Сонячної системи – являє собою розпечену плазмову кулю. Сонце – найближча до Землі зірка. Світло від нього доходить до нас за $8\frac{1}{3}$ хв. Сонце вирішальним чином вплинуло на утворення усіх тіл Сонячної системи і створило умови, що привели до виникнення і розвитку життя на Землі.

Сонце, ймовірно, виникло разом з іншими тілами Сонячної системи з газопилової туманності приблизно 5 млрд. років тому. Спочатку його речовина сильно розігрівалася через гравітаційне стиснення, але незабаром температура і тиск у надрах настільки збільшилися, що доволіно почали відбуватися ядерні реакції. При цьому дуже сильно зросла температура в центрі Сонця, а тиск у його надрах підвищився настільки, що зміг зрівноважити силу тяжіння і зупинити

гравітаційний тиск. Так виникла сучасна структура Сонця, підтримувана повільним перетворенням водню в гелій, яке відбуваєть-



Мал. 1.1. Сонцепоклонник у квітці лотосу

ся в його надрах. За 5 млрд. років існування Сонця вже біля половини водню в його центральній частині перетворилося на гелій. У результаті даного процесу виділяється та кількість енергії, яку Сонце випромінює у світовий простір.

Велику частину випромінювання Сонця розсіює і поглинає атмосфера, особливо хмари, і тільки третина його досягає земної поверхні. Вся енергія, що випромінюється Сонцем, більша тієї частини, що одержує Земля, у 5 млрд. разів. Але навіть така «незначна» величина в 1600 разів більша енергії, яку дають всі інші джерела, разом узяті.

Діаметр Сонця дорівнює 1 392 000 км, що в 109 разів більший земного діаметру. Відстань від Землі до Сонця в 107 разів перевищує його діаметр.

Для давніх народів Сонце було богом. У Верхньому Єгипті, культура якого бере свій початок з четвертого тисячоріччя до н.е., вірили, що рід фараонів веде своє походження від Ра – бога Сонця. Напис на одній з пірамід подає фараона як намісника Сонця на Землі, «який зціляє нас своєю турботою, коли виходить, подібно Сонцю, яке дає зелень землям. Кожен погляд лякається, коли бачить його в образі Ра, що постає понад обрієм».

Своєю життєтворчою силою Сонце завжди викликало в людей почуття поклоніння і страху. Народи, тісно пов'язані з природою, чекали від нього милостивих дарунків – врожаю і достатку, гарної погоди і свіжого дощу – або кари – негоди, буревію, граду.

Сонце, яке завжди було об'єктом поклоніння для людства, породило безліч традицій, культів, філософських течій, витворів мистецтва. Наприклад, на барельєфі, що зберігається нині в Індійському музеї в Калькутті, круговий орнамент, що зображує лотос



а



б

Мал. 1.2. Поклоніння Сонцю (а) і сонячному богу (б)

у повному цвіті, присвячений золотому світилу – джерелу життя. Фігура в центрі, безсумнівно, сонцепоклонник (мал.1.1). Цей барельєф колись прикрашав портал великої ступи Бхархута (Індія), яка датується II ст. до н.е. (ступа – монументальне спорудження для збереження реліквій).

Зважаючи на те, що життя на нашій планеті залежить від сонячних променів, не дивно, що багато культур протягом історії людського роду оцінювали цей фундаментальний факт, виражаючи його через різні форми духовного поклоніння.

Поклоніння Сонцю і сонячним богам виявлено у всіх районах світу з незапам'ятних часів (мал. 1.2).

Майже всі джерела енергії зобов'язані своїм походженням Сонцю. Це теж люди зрозуміли здавна, про що свідчить гравюра на титульному листі трактату, виданого в Любеку в 1492 р. (мал. 1.3).



Мал. 1.3. Гравюра на титульному листі трактату «Virdung Practica»

За рік земна куля отримує від Сонця $1330 \cdot 10^{27}$ Ккал тепла. Більша частка цього тепла затримується в атмосфері, але тільки 2,5% його перетворюється в енергію вітру. 25,5% сонячних променів, які проходять крізь атмосферу, падають на водні простори нашої планети, але тільки 0,04% стають гідроенергією.

14,5% сонячних променів падають на тверду поверхню материків і островів, але тільки 0,12% перетворюється в хімічну енергію.

За рік земна куля випромінює в космічний простір майже стільки ж енергії, скільки отримує від Сонця.

1.2. Еволюція Землі. Роль Сонця, води і вітру в розвитку життя на Землі

1.2.1. Планета Земля, розвиток знань про Землю

Спочатку світ був нічим:
Не було ні неба, ні землі, ні космосу.
Він був ніщо й тому подумав:
Я буду і вивергнув жар.

(З давньоєгипетського тексту)

Згідно з сучасними космогонічними гіпотезами Земля, подібно іншим планетам Сонячної системи, утворилася шляхом гравітаційної конденсації з розсіяної в навколосонячному просторі газопилової речовини. Її вік оцінюють в 4,5–4,6 мільярди років.



Мал. 1.4. Видляд Землі з космосу
(фотографія зроблена з борту «Аполлона»)

Земля рухається по еліптичній орбіті, в одному з фокусів якої знаходиться Сонце. Притягання Сонця утримує Землю на її орбіті, разом з тим тяжіння Місяця і Сонця викликає припливи і відливи в гідросфері, атмосфері та у твердій оболонці Землі. Гравітаційний вплив Сонця, планет і Місяця викликає тривалі періодичні зміни ексцентриситету орбіти і нахилу вісі Землі, що є однією з причин зміни клімату на Землі.

Найбільш могутній вплив на земні процеси чинить випромінювання Сонця, яке є головним джерелом енергії для них.

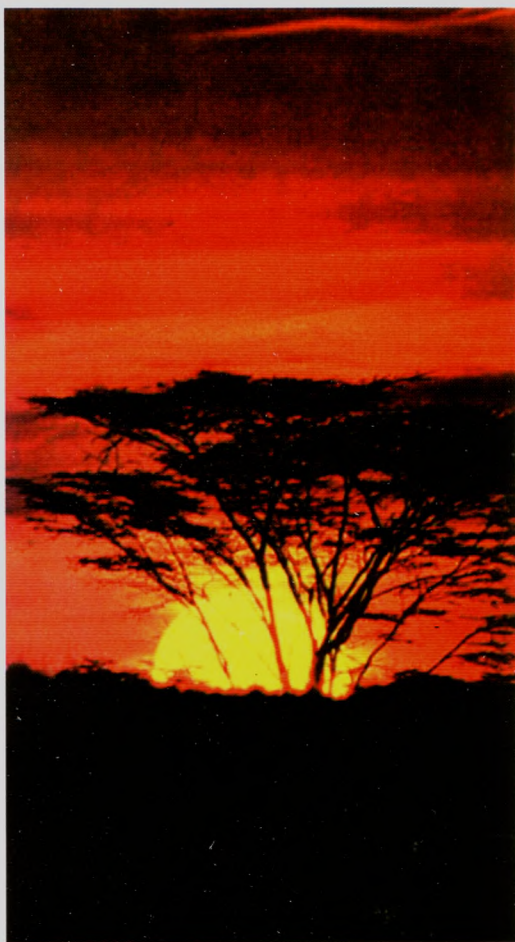
Відстань від Сонця до Землі, що складає біля 150 млн. км, є оптимальною для виникнення життя на Землі.

Земля має дуже складну кулясту форму, трохи сплюснену на полюсах і названу геоїдом (мал. 1.4, 1.5). Першими про кулястість Землі заговорили стародавні греки (Піфагор, VI ст. до н.е.). Арістотель (384–322 до н.е.), спостерігаючи місячні затемнення, відзначив, що тінь, яку Земля відкидає на Місяць, завжди приймає округлу форму. Виходячи з цього, Арістотель зробив висновок, що Земля має форму кулі.

Давньогрецький астроном Арістарх Самоський вже в III ст. до н.е. учив, що Земля і планети обертаються довкола Сонця, але пізніше Птолемей Клавдій у II ст. до н.е. розвинув геоцентричну систему світу, що протрималася 1,5 тисячі років.

Розвиток науки, географічні відкриття привели до значного прогресу в уявленнях про місце Землі у світовому просторі, її походження. Багато визначних здогадок про будову і розвиток Землі знаходимо у Леонардо да Вінчі (1452–1519).

У 1543 р. була опублікована книга М. Коперника (1474–1543) «Про обертання небес-



Мал. 1.5. Земля і Сонце

них сфер», що містить науково розроблену геліоцентричну систему світу. В ній встановлено справжнє місце Землі в Сонячній системі.

Геологія, що вивчає склад, будову та історію розвитку Землі, особливо земної кори, сформувалася в XVII–XVIII ст., але корені її губляться в глибокій давнині, коли люди почали добувати корисні копалини з надр Землі.

М.В. Ломоносов (1711–1765) зробив великий внесок у розвиток геології і встановив ряд важливих закономірностей розвитку Землі. Далі у XIX ст. геологія досягла значних успіхів у вивченні будови Землі. У результаті наукових досягнень XX ст. сформувалися уявлення про будову Землі та глобальні процеси, які відбуваються в її надрах і в космосі.

Земля складена твердими, рідкими і газоподібними речовинами, що розташовуються у певній послідовності, утворюють внутрішнє ядро та оболонки планети. Основна маса Землі (більше 99%) розміщена під

твердою земною поверхнею, за межами якої знаходяться зовнішні геосфери – гідросфера та атмосфера.

Земля має гравітаційне, магнітне, електричне і геотермічне поля.

Водяна оболонка Землі, що включає води морів і океанів, води суші, льодовики, називається гідросферою.

Зовнішня газова оболонка – атмосфера, густина якої швидко падає у міру віддалення від поверхні Землі. Вона не має чітко вираженої верхньої границі, не враховується при визначенні форми і розмірів планети. 19% маси атмосфери зосереджено в її нижньому шарі – тропосфері товщиною 7–12 км.

Основні параметри Землі дорівнюють: середній радіус – 6371 км, екваторіальний радіус – 6378 км, полярний радіус – 6357 км; площа поверхні – 510 млн. км², маса – $5,976 \cdot 10^{24}$ кг.

Суша складає 29,2% поверхні Землі, а інші 70,8% – водяна поверхня морів і океанів.

1.2.2. Внутрішня будова Землі

Всередині Землі виділяють зони (внутрішні геосфери), які відрізняються за складом, будовою і фізичними властивостями.

Верхня частина твердої оболонки планети – земна кора – має змінну товщину: у середньому 33 км на континентах і 6 км в океані.

Проміжна оболонка – мантія – залягає на глибині від 33 до 2900 км.

Ядро – найбільш щільна центральна частина Землі – знаходиться на глибині більше 2900 км.

У літосферу зазвичай включають земну кору і розташований під нею верхній (твердий) шар мантії.

Чим більше глибина, тим вище температура Землі. У центрі ядра температура зростає, ймовірно, до 5000°C. До джерел внутрішньої теплоти Землі відносять тепло, що виділяється при радіоактивному розпаді, а також звільняється при хімічних реакціях та ін. Але самим достовірним з цих джерел є енергія розпаду радіоактивних елементів, що «...не тільки покриває всі нам відомі видимі геоморфологічні зміни планети, але і покриває усе випромінювання тепла в космічні простори», – писав академік В.І. Вернадський. З надр Землі назовні надходить безупинний

Як повідомляє журнал «Наука и жизнь» (2003, № 12, с.28), згідно з результатами досліджень за допомогою американо – франко – канадського космічного телескопу, 2,5 мільярда років тому наше Сонце випромінювало вдвічі більше ультрафіолетових променів, ніж зараз (оцінку зроблено за вимірами ультрафіолету від молодих зірок сонячного типу).

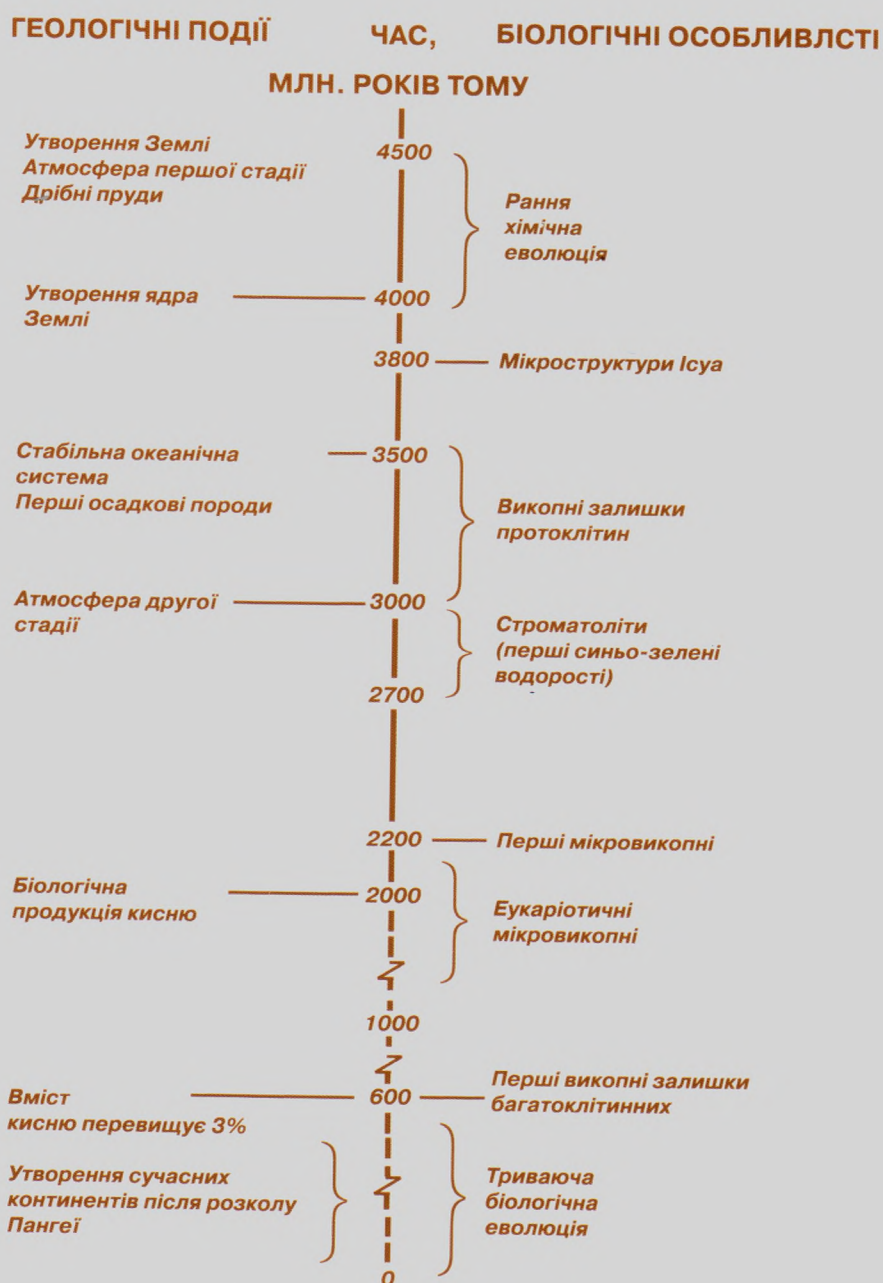
потік теплової енергії, що у кілька тисяч разів менший енергії, яку одержує поверхня Землі від Сонця.

1.2.3. Стадії еволюції Землі

Земля як небесне тіло, що є частиною космосу, протягом своєї історії зазнала безліч перетворень.

Ці два таїнства природи діють в одному напрямку, в найдавнішому, яке отримане життям у спадщину з часів утворення Землі.

Космічні явища поширюються на неї у вигляді всесвітнього тяжіння, сонячної радіації й ін. і в значній мірі визначають розвиток життя, мають найбільш безпосереднє відношення до процесів, що відбуваються на Землі, до її будови. Разом з тим Землі влас-



Мал. 1.6. Еволюція Землі за однією і тією ж часовою шкалою

тиві й суто земні процеси, що тісно пов'язані з космічними процесами й у сукупності створили Землю такою, якою вона є, з бурхливо кипучим життям, з її минулим, що губиться в неозорих просторах Всесвіту, з її майбутнім.

Багато сотень мільйонів років на Землі відбуваються процеси енергетичного обміну, перетворення і нагромадження різних форм енергії. Земля з усіма її оболонками – єдиний організм, в якому зберігається певна динамічна рівновага між окремими частинами, у тому числі між живою і неживою речовиною.

**Процес еволюції Землі, як і розвиток життя на ній, іде від простого до складного.
Російський поет Микола Заболоцький писав:**

*Природи вековечная давяльня
Соединила смерть и бытие
В один клубок, но мысль была бессильна
Соединить два таинства ее.*

На мал. 1.6 схематично представлені головні події еволюції Землі на одній і тій же часовій шкалі. Згідно з існуючими уявленнями, вченими розглядаються три основні стадії структурних перетворень примітивної Землі. Перша, яка передувала формуванню земного ядра, названа стадією гарячих первинних вулканів, друга – післяядерною стадією вулканів гавайського типу і третя, остання, – біологічною.

У ході першої стадії внутрішня частина планети піддавалася швидкій і значній структурній перебудові. Вулканічна діяльність, грози, падіння метеоритів, високоенергетичне ультрафіолетове випромінювання Сонця були дуже інтенсивними. Це випромінювання було у вищій мірі важливе для виникнення й еволюції життя в ході перших 2,5 млрд. років. Іншими джерелами енергії були електричні розряди, теплота, радіоактивність.

В атмосфері були присутні головним чином азот, оксид вуглецю, водень, водяна пара і сірководень.

Саме в цьому періоді на Землі з'явилася вода. Вважають, що первинна гідросфера виникла в результаті виділення з мантиї Землі рідких легкокорухомих розчинів і газів.

Виділяючись у вигляді пару, вода конденсувалася і випадала величезними і майже безупинними зливами. На поверхні земної кори формувалися дрібні озера прісної дощової води з вулканічним попелом.

Сьогодні водяна оболонка Землі – гідросфера – включає всю воду планети, що знаходиться в рідкому, твердому (лід) і газоподібному (водяна пара) станах.

Загальний обсяг води на планеті залишається практично незмінним і складає порядку 1,5 млрд. км³. Світовий океан – головна складова частина гідросфери. На його частку припадає біля 94% об'єму вод. Далі ідуть підземні води, льодовики, поверхневі води (озера, ріки, болота, ґрунтові води).

Під впливом сонячного випромінювання вода в природі робить безупинний круговорот. Випаровуючись з поверхні рік, озер і морів, з вологого ґрунту, трави, листя дерев і чагарників, вона піднімається вгору у вигляді водяної пари, згущається в хмари, переноситься ними, а потім випадає на земну поверхню, стікає в ріки і моря, всмоктується ґрунтом, поглинається рослинами і знову випаровується. Система світового круговороту води, просторова безперервність Світового океану, спільність походження вод свідчать, що гідросфера єдина.

Для другої стадії характерне утворення ядра Землі. Біля 4000 млн. років тому, після того, як внаслідок розпаду короткоживучих радіоактивних елементів і гравітаційного стиснення внутрішня температура Землі зросла, напіврозплавлена внутрішня частина планети піддалася різкій перебудові. Утворення її ядра, котре, як вважає більшість дослідників, є в основному залізонікелевим, відбулося внаслідок безупинного плавлення глибоких внутрішніх зон. Після його формування внутрішня будова нашої планети залишалася по суті без змін, а мінеральний склад мантиї і земної кори зберігається таким самим аж до наших часів.

Друга стадія еволюції Землі продовжувалася приблизно 1500–2000 млн. років і завершилася біологічним утворенням кисню.

У ході цього тривалого періоду фізичні умови поступово змінювалися: вулканічна активність знижувалась, частота падінь метеоритів зменшувалась, солоність океанів збільшувалась. Але продовжувало надходити

високоенергетичне ультрафіолетове випромінювання Сонця. У таких умовах виникло життя.

До цього часу належать найдавніші осадові породи, що говорить про формування постійних океанів. Перші з відомих осадових порід, знайдені в Ісуа (Гренландія), мають вік біля 3800 млн. років. Більш давні відкладення представлені тільки кристалічними породами.

Третя стадія еволюції планети, названа біологічною, характеризується утворенням вільного кисню в атмосфері біля 2000 млн. років тому, коли у фотосинтезуючих організмів розвилася здатність використовувати видиме світло як джерело енергії і воду як донора електронів.

Нагромадження вільного кисню в атмосфері відбувалося до часу в 600 млн. років тому, коли виникли складні багатоклітинні форми життя. Після того, як в атмосфері нагромадився вільний кисень фотосинтезного походження, який став поглинати ультрафіолетове випромінювання Сонця, утворився озоновий шар. У результаті сонячне ультрафіолетове випромінювання перестало досягати поверхні Землі. Формування озонового екрану стало однією із самих значних подій в історії природного середовища, оскільки воно дозволило розвинути земним біологічним системам.

Кисень у земній атмосфері, складаючий 21%, знаходиться в стані динамічної рівноваги завдяки постійному поповненню за рахунок життєдіяльності рослин, тобто за рахунок життя на Землі. Цей феномен з усією наочністю показує, як розвиток життя на Землі приводить до космічних наслідків.

Еволюція Землі, процеси формування її атмосфери і біосфери відбувалися спільно і в постійному взаємозв'язку.

Ці процеси йшли в нерозривному зв'язку з еволюцією континентальних масивів, які тривалий час земної історії складали єдиний давній материк, так звану Пангею. Приблизно 200 млн. років тому почали утворюватися сучасні континенти.

1.2.4. Геологічні процеси, основні риси геологічної історії Землі

Ми звернулися до первісної історії Землі,

до часів, коли тільки ще створювалися материки, щоб усвідомити роботу Сонця, води і вітру (в теперішній термінології відновлюваних джерел енергії), на благо людства. Протягом мільярдів років над формуванням земної кори безупинно працювали і зараз продовжують працювати невідомі трудівники – Сонце, вітер і вода.

На часовій шкалі еволюції Землі (див. мал. 1.6) ми прояснили появу на Землі води, про яку Антуан де Сент-Екзюпері писав: *«Вода...ти не просто необхідна для життя, ти є життя...»* Як відзначав В.І. Вернадський, *«...вода стоїть окремо в історії нашої планети. Немає природного тіла, котре могло б зрівнятися з нею за впливом на хід основних, найбільш грандіозних процесів...»*

А як же вітер?.. (Пригадуються слова О. Блока: «Вітер, вітер на всім божім світі»).

Сонячне тепло нерівномірно впливає на земну поверхню. Внаслідок цього в шарах атмосфери, які знаходяться поблизу земної поверхні, виникають різниці температур та нерівномірний розподіл атмосферного тиску, що викликає рух повітря. Такий рух повітря, який поза тим залежить від обертання Землі та рельєфу поверхні, й називають вітром.

Ми живемо на дні повітряного океану, у світі вітрів. Люди давно це зрозуміли, вони постійно відчували на собі вплив вітру. Спостереженням за вітрами займалися ще в Стародавній Греції. Вже в III ст. до н.е. було відомо, що вітер приносить ту чи іншу погоду. Для визначення напрямку вітру в Афінах біля 100 р. до н.е. побудували так звану «Вежу вітрів» з укріпленою на ній «трояндою вітрів» (вежа існує і сьогодні). В Японії і Китаї також були відомі «троянди вітрів», виготовлені у вигляді драконів, вони вказували напрямок вітру. Але їх головним призначенням було відлякувати злих духів – чужі вітри.

Вітер характеризується напрямком, швидкістю в м/с і силою вітру в балах за шкалою Бофорта (від 0 до 12), яка визначається баричним градієнтом, тобто зміною тиску на одиницю відстані.

Вся історія Землі пов'язана з двома глобальними процесами: внутрішніми (ендогенними), що відбуваються за рахунок внутрішньої енергії Землі, яка виділяється в результаті розвитку матерії в глибинних над-

рах, і зовнішніми (екзогенними), які діють за рахунок тісної взаємодії атмосфери, гідросфери, біосфери і літосфери із сонячною енергією і полягають в обміні речовини та енергії.

Сферична куля, у межах якої взаємно проникають і взаємодіють чотири названі геосфери, характеризується наступними особливостями: наявністю речовини в трьох агрегатних станах; проникненням в неї сонячної радіації; впливом на неї людського суспільства, для якого вона є життєвим середовищем.

До внутрішніх процесів відносяться: рух земної кори (тектонічні рухи), що включає її підняття й опускання, утворення в ній розломів, змінання гірських порід у складки й ін.; підняття розплавлених глибинних мас (магматизм); зміна осадових порід під впливом високих температур і тисків (метаморфізм).

До зовнішніх процесів належать: вивітрювання – фізичне і хімічне розкладання гір-

ських порід під впливом коливань температур, дії повітря, води, хіміко-біологічних процесів; перенос пухкого чи розчиненого матеріалу, який утворився, з височин у знижені місця проточною водою, хвилями, вітром, льодовиками; відкладення і нагромадження в западинах (переважно зайнятих морськими й озерними басейнами) принесених продуктів, руйнування з наступним утворенням нових осадових порід. Інша частина осадових порід утворилася з матеріалу, що безпосередньо випадав на дно водоймищ у вигляді раковин і кістяків різних організмів.

В осадових породах зосереджені поклади вугілля, нафти, газу й інших викопних джерел енергії. Їх походження пов'язано з нагромадженням і перетворенням у надрах Землі органічних речовин.

Внутрішні і зовнішні процеси, знаходячись у постійній взаємодії, визначають формування земної кори, зміни рельєфу її поверхні. У порівнянні з цими процесами

Таблиця 1.1

Геохронологічна шкала

Зони Еонотеми		Ери Ератеми	Періоди Системи	Тривалість, млн. років
Фанерозойський (тривалість 570 млн. років)		Кайнозойська (тривалість 66 млн. років)	Четвертинний (антропогеновий) Неогеновий Палеогеновий	0,7* 25 41
		Мезозойська (тривалість 169 млн. років)	Крейдовий Юрський Тріасовий	66 53 50
		Палеозойська (тривалість 335 млн. років)	Пермський Кам'яновугільний (карбон) Девонський Силурійський Ордовіцький Кембрійський	45 65 55 35 65 80
Криптозойський (тривалість більше 3000 мільйонів років)	Протерозой (тривалість більше 2000 млн. років)	Пізнюпротерозойська	Венд Рифей	80–110 1100
		Раннюпротерозойська		950
	Архей (тривалість більше 1000 млн. років)			

* Тривалість четвертинного періоду за різними даними від 0,6 до 3,5 млн. років.

існування людства видається миттю в історії Землі. Судити про ці процеси можна за їх результатами, що виявляються, наприклад, в утворенні різних порід, геологічних структур, різних типів рельєфу та ін.

При вивченні питань розвитку Землі необхідно прочитати і відтворити її минуле. У тривалій історії Землі прийнято виділяти дві стадії: догеологічну, пов'язану з формуванням Землі як окремого космічного тіла, і геологічну – по суті стадію формування земної кори.

Земна кора складається з осадових, вивержених і метаморфічних порід. По заляганню гірських порід, їх структурі та складу викопних залишків організмів, що містяться в них, своєрідному «літопису» розвитку життя на Землі, геолог міркує щодо процесів, які відбувалися в Землі, послідовності утворення гірських порід і їх віку, відновлює історію її розвитку. Для вивчення глибоких частин Землі застосовуються геофізичні методи (з використанням сейсмології, гравіметрії, магнітометрії, геотерміки, електрометрії). Для визначення абсолютного віку Землі та різних земних шарів застосовуються радіоактивні методи. Геологічне літочислення (геохронологія) охоплює послідовність формування і вік гірських порід, що складають земну кору, з підрозділами на зони, ери, періоди і т.д. Однак поки не існує єдиної загально визнаної геохронологічної шкали. Одну з останніх геохронологічних шкал наведено в таблиці 1.1. Протягом геологічної історії Землі відбувалися зміни будови і складу земної кори, рельєфу її поверхні, фізико-географічних умов, органічного світу, зовнішніх і внутрішніх геологічних процесів. Розвиток Землі відбувався не монотонно, а циклічно. Сліди циклів різної тривалості прослідковуються в геологічних відкладеннях усіх ер.

У найдавніший архей з'являється органічне життя, але в результаті перекристалізації порід в них практично не збереглися органічні залишки.

У породах протерозою вже є залишки органічного життя.

У палеозойську еру розвивалася багата фауна безхребетних, з'явилися нижчі хребетні, котрі пройшли складну еволюцію. У другій половині палеозою спостерігався

сильний розвиток наземної флори (розквіт папоротникоподібних, поява голонасінних рослин).

Рослинні і тваринні організми стають важливим фактором у розвитку Землі, впливаючи на зовнішні геологічні процеси і приймаючи участь в утворенні органогенних гірських порід (вапняків).

Пишний розвиток наземної флори і сприятливі умови в кам'яновугільний період сприяли могутньому вуглеутворенню. У карбоні у всіх частинах світу утворилися поклади кам'яного вугілля, які складають біля 21% світових запасів і місцями сягають величезних розмірів. До цього періоду належать також родовища вугілля в Україні в Донецькому басейні. З карбоном пов'язані родовища нафти і газу.

У пермський період утворилися поклади кам'яного вугілля, що складають біля 27% світових запасів.

У мезозойську еру органічний світ значно змінився, з'явилися птахи і перші давні ссавці, спостерігався розквіт голонасінних рослин (хвойних та ін.), поява покритонасінних рослин, утворювалися родовища кам'яного вугілля, нафти, газу. У мезозойських відкладеннях сконцентровані основні запаси нафти.

У юрський період наземна рослинність досягає пишного розквіту. Цей період характеризується значним вугленакопиченням, що відбувалося переважно в озерно-болотних умовах. На частку викопного вугілля юрського періоду припадає біля 15% світових запасів. У Росії значні запаси кам'яного і бурого вугілля, що належать до цього періоду, знаходяться в Сибіру і на Далекому Сході.

До крейдового періоду відноситься 16,7% світових запасів вугілля.

Для палеогенового і неогенового періодів кайнозойської ери характерні розвиток і панування ссавців, птахів, костистих риб, розквіт покритонасінних рослин (злаки, квіткові, листяні рослини).

Палеогеновий період і початок неогену характеризуються інтенсивним вугленакопиченням. На їх частку припадає 17% світових запасів вугілля, значна частина якого представлена бурими і рідше кам'яними вугіллями. Великі родовища цього вугілля є в

В.І. Вернадський (1863–1945) – всесвітньо відомий вчений, визначний мислитель, засновник геохімії, біогеохімії, радіогеології і вчення про біосферу, голова комітету, скликаного для створення Національної бібліотеки Української держави в м. Києві (1918, нині Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського), організатор і перший президент Української академії наук (1919–1921). Багато уваги приділяв вивченню хімічного складу земної кори, океану та атмосфери.

Дослідив роль радіоактивних елементів в еволюції Землі та передбачив значення радіоактивних речовин.

Україні в Дніпровському басейні. У неогеновий період закінчилося формування сучасних материків і морів, а також сучасного рельєфу поверхні Землі.

У першій половині четвертинного періоду відбувалися великі зміни клімату, у зв'язку з чим мінялися флора і фауна. Північна Америка, Європа і Північна Азія пережили ряд льодовикових епох, що чергувалися з більш теплими. До цього часу належать і перші етапи розвитку людства. Друга половина цього періоду (10 – 20 тис. років) наближається до сучасних фізико-географічних умов.

Ми усвідомлюємо глобальний характер кліматичної системи Землі, яка змінюється, а також той факт, що власна діяльність людини, набуваючи планетарного розмаху і роблячи величезний вплив на біосферу, може також впливати на клімат.

1.2.5. Роль Сонця, води та вітру в розвитку життя на Землі

Природні механізми нашої планети, в основі яких лежать енергетичні процеси, мільярди літ безупинно діяли, створюючи Землю і життя на ній.

Речовина й енергія – от дві основи життя. Жива речовина Землі як рухомо-рівноважна система безупинно обновлюється за рахунок надходження енергії.

Розвинене життя є могутнім фактором, що перетворює біосферу, вчення про яку як активну оболонку Землі створено академіком В.І. Вернадським. Біосфера включає зовнішні шари Землі (частину кори) починаючи з глибини 3 км під її поверхнею, майже всю гідросферу і нижню частину атмосфери. Із загальної маси живої речовини на Землі, що складає більш 2420 млрд. т, основна частина зосереджена в зелених рослинах (більше 99%).



Пам'ятник В.І. Вернадському у м. Кременчук

Уся біосфера, життя існує завдяки сонячній енергії, котра також має першорядне значення в біохімічних процесах, які відбуваються на Землі.

Викопні природні ресурси, що ховають законсервовані запаси енергії у вигляді покладів вугілля, торфу, нафти й ін., – результат життєдіяльності організмів, так само, як ґрунт, – результат їх взаємодії з гірськими породами.

Ці невідновлювальні джерела енергії – найцінніша спадщина, що дісталася людству

завдяки роботі Сонця, води і вітру, життєдіяльності організмів за багато мільйонів років.

Сонце, вітер і вода, за рахунок енергії яких відбуваються екзогенні процеси, що змінюють вигляд Землі, є також тими відновлювальними джерелами енергії, які людина використовувала з давніх часів.

Робота Сонця, води і вітру сприяла розвитку життя на Землі задовго до появи на ній людини, і благами цієї роботи людство користується повсякденно й понині.

Згадаємо Павла Антокольського:

*В твоей упряжке четверной
Земля, Огонь, Вода и Воздух
Несутся в молниях и звездах
Дорогу вытянул струной.*

З миті появи на Землі людей ними пройдено довгий шлях до сучасної цивілізації. Оглянемо поглядом цей шлях, акцентуючи увагу в

першу чергу на тому, як людина стала не тільки homo sapiens – «людиною розумною», – але і homo forsabilis – «людиною могутньою», як опановувала енергію, якими законами керувалася, як створювала світ енергетичної техніки.

Століття за століттям, тисячоліття за тисячоліттям людина проникала у таємниці природи, осягала одну загадку за іншою. Довгий і тяжкий був цей шлях. Змінилася незліченна кількість поколінь, поки люди навчилися добувати вогонь, використовувати енергію води і вітру.

Спостережливість, пам'ять і розум багатьох поколінь – от основний закон удосконалювання наших предків.

У наступних розділах читач зможе знайти докладні відомості про пізнання природи людиною, про використання енергії Сонця, води і вітру в давні та середні віки й у новий час, простежити за історією створення і розвитку механізмів для перетворення відновлюваної енергії.

Розділ 3

Використання енергії води. Історія створення і застосування водяних коліс та їх розвиток

3.1. Використання води – найважливіший фактор розвитку цивілізації

В усі часи вода були найважливішим фактором, що визначає життя людей і розвиток продуктивних сил (мал. 3.1). Археологічні дослідження і стародавні письмові джерела свідчать, що греблі та водоймища будувалися ще на зорі цивілізації в Єгипті, Месопотамії, Індії, Китаї й в інших країнах за 4000–3500 років до н.е.

Найдавнішою в світі вважається гребля Кошиш (Kosheish) висотою 15 м, побудована в Єгипті при фараоні Менесі (приблизно 3000 років до н.е.).

Дамба Сад ель-Кафара в Єгипті побудована біля 4600 років тому. Цікаво, що вона не була призначена для іригації. На думку вчених, за

допомогою насипу було створене водоймище, для обслуговування місцевого мармурового кар'єру.

У ті далекі часи успішне використання води для зрошення, організації водопостачання, судноплавства, боротьби з паводками мало найважливіше значення для розвитку цивілізації.



Мал. 3.1. Водоспади уособлюють в собі могутність енергії води

При асирійському царі Сеннахерибі (705–681 рр. до н.е.), який багато і успішно займався використанням водних ресурсів, було збудовано кілька гребель і канал довжиною 35 миль для забезпечення водою столиці – міста Ніневія. На скалі біля одного з акведуків було викарбовано напис: «Цар молився великим богам і вони дослухалися до його молитов...По сердешному зволенню богів він відвів воду і почав керувати її силою».

3.2. Водяні колеса та їх еволюція

Для піднімання води в зрошувальні канали служили водяні колеса (перші найпростіші гідравлічні двигуни), що використовують її енергію. Перші водяні колеса почали застосовуватись більш ніж за 3000 років до н.е. у Єгипті, Китаї, Індії й інших країнах (мал. 3.2). Свідчення про їх використання наводяться в таких давніх джерелах, як «Географія» Страбона (63 р. до н.е. – 24 р. н.е.) у сімнадцятих книгах, «Десять книг про архітектуру» Вітрувія (друга половина I століття до н.е.).

Вітрувій так описує водяне колесо: «Довкола валу встановлюється колесо, за своїми розмірами відповідне висоті, на яку повинна бути доставлена вода, довкола нього, по зовнішньому колу, встановлюються кубічні ящики, що робляться водонепроникними за допомогою смоли і воску. Коли колесо шляхом наступання приводиться в рух, ящики наповнюються водою, піднімаються догори і на зворотному шляху виливають її у водосховище».

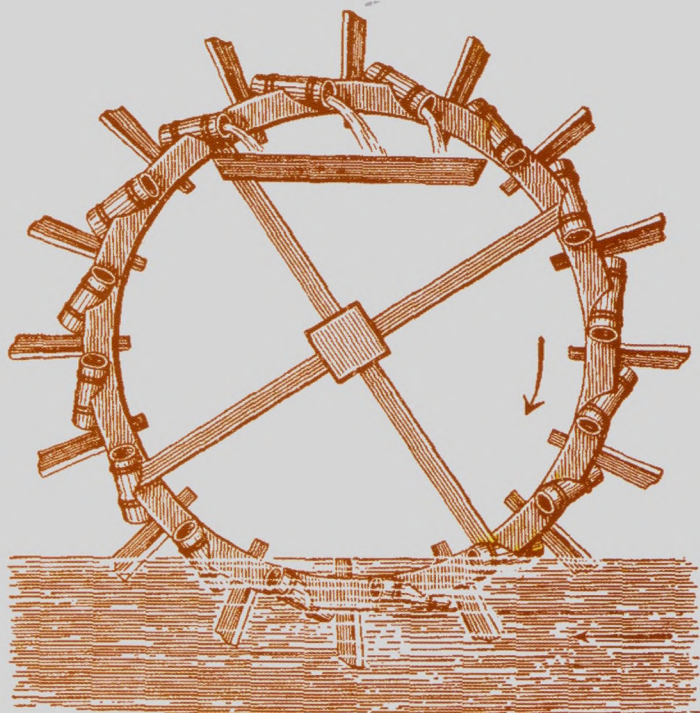
Якщо течія ріки досить сильна, то вона сама може обертати колесо і зусилля раба або тварини можна замінити силою текучої води. У того ж Вітрувія читаємо: «У ріках також встановлюються водопідйомні колеса, подібні вищеописаним, з тією тільки різницею, що до них із зовнішньої сторони прилаштовуються лопаті, які, захоплені плином води, своїм рухом змушують обертатися колесо, і при цьому, наповнюючи ящики водою й підіймаючи їх догори, без зусилля штовхання, шляхом використання течії води, обертаючись самі, виконують необхідну роботу».

На мал. 3.3 показане стародавнє сирійське водопідйомне колесо – норія.

Стародавні греки зрозуміли, що водяне колесо, обертаючись, може не тільки підіймати

воду, але і виконувати іншу корисну роботу, якщо його вісь з'єднати з яким-небудь механізмом. Від цієї здогадки лишався лише крок до винаходу водяного млина. І цей крок був зроблений. У Стародавній Греції і Римі водяні колеса вже використовувалися для обертання млинових жорен.

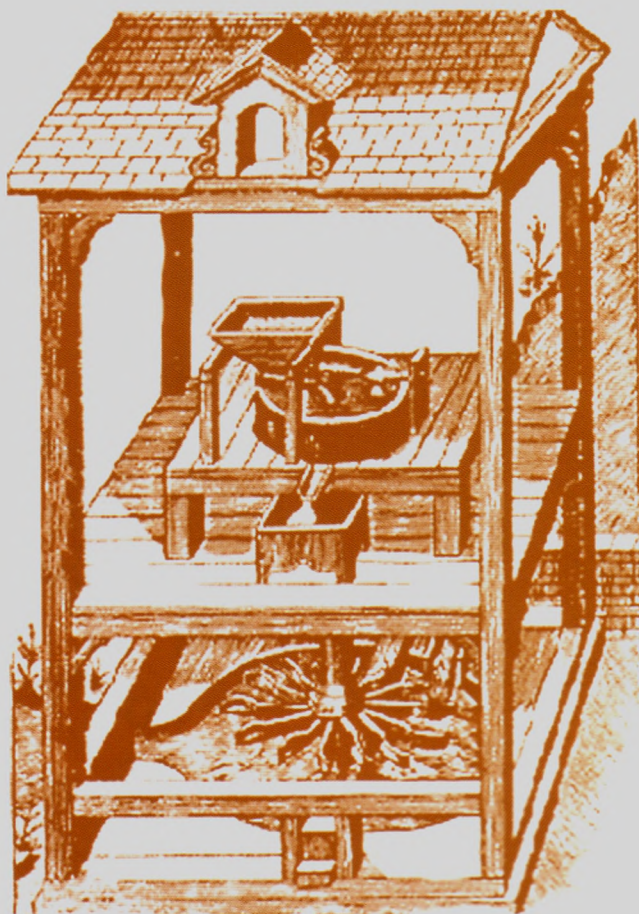
У ті часи простий пристрій водяного млина уявлявся справжнім чудом, таким самим, як двері храмів, що відкривалися «самостійно», чи вогонь, що з'являвся «безпричинно» на жертвовому вогнищі. Але там ці дії, здавалося, чинили самі боги, а тут, на водяному млині, найбільш проста і звична земна робота – розмелювання зерна – здійснювалася як би сама собою, без монотонної і важкої праці рабів, що розтирають зерно між каменями (мал. 3.4).



Мал. 3.2. Китайське водочерпальне колесо



Мал. 3.3. Старовинне сирійське водопідіймне колесо – норія



Мал. 3.4. Старовинний водяний млин

Один з поетів тієї епохи – македонянин Антіпатр Фессалонікський, який жив у I столітті до н.е., – присвятив водяному млину оду:

*Дайте спочити рукам, мукомелки;
 спокійно дрімайте,
 Хоч би про близький світанок голосно
 півень горлав:
 Німфам безодні річковій ваш труд
 доручила Деметра;
 Як загрались вони обід крутячи колеса!
 Бачите? Вісь закружляла, а вісі
 покручені стиці
 З рокотом сунуть глухим вагу
 жорен двох пар.
 Знову нам час наступив золотий:
 без праці і зусиль
 Почали знову вкушати дар ми
 Деметри святої.*

У давньому Римі вже в II ст. водяні млини були поширені майже повсюдно, усе більше і більше робіт виконувалося з їх допомогою. Водяні колеса використовувалися і для вижимання олій, і для розм'якшення яблук, з яких готували улюблений римлянами напій – сидр, з їх допомогою заповнювався водою знаменитий римський водогін. А коли під час облоги Риму остготи зруйнували водогін і «вічне місто» залишилося без води, імператор Вілезарій влаштував прямо на Тибрі величезні плавучі водяні колеса, що служили для подачі води в місто.

Найбільш давня конструкція водяного колеса приводилася в рух тиском текучої води на лопаті (ковші) у нижній його частині.

До цього часу експлуатується водоймище комплексного використання Бенде Емір (Іран), що має тисячолітню історію.

Водяні млини і колеса досить швидко розповсюдились у Європі. Для спорудження водяних коліс у Західній Європі будувалися невеликі водоймища. Так, у Франції збереглися залишки каскаду з 16 водяних млинів поблизу м. Арля, побудованих у III–IV ст. Значно поширились водяні млини тут у XI–XIV ст. В Англії водяний млин з'явився приблизно у VIII ст., а вже в 1086 році в Трен-те і Северне було зареєстровано 5624 млини.

Водяні колеса весь час удосконалювалися. Були придумані досить складні пристрої і

передатні механізми, котрі дозволяли використовувати силу води не тільки для помелу зерна, але і для виконання самих різних робіт. Водяні колеса обертають верстати, приводять у рух ковальські міхи, допомагають металургам підіймати руду із шахт. Ось як у рукописі VIII ст. описується використання енергії води невеликої річки: *«Спочатку річка нашттовхується на млин..., потім її кличуть до себе сукновальні, що знаходяться поряд з млином... Опускаючи і піднімаючи важкі пести чи – краще сказати – молоти або дерев'яні ступи..., річка звільняє сукновалів від стомлюючої праці... Швидка течія річки приводить у рух велику кількість водяних коліс. Потім покрита піною річка повільно рухається далі... Тут її зустрічає гуртожиток братії, і вона приймає діяльну участь у виробленні того, що необхідно для взуття братії... Потім, поволі розпадаючись на безліч рукавів, річка метушливо кружляє, заглядає в окремі майстерні, ретельно відшукуючи, де є потреба в її службі: при варінні, просіванні, обертанні, розтиранні, зрошенні та митті».*

Водяні млини застосовувалися і в Давній Русі. Про це згадується вперше в XIII ст. у ярлику хана Менгу-Теміра. У дарчу грамоту 1292 р. галицького князя Лева Даниловича Спаському монастирю включені водяні млини, а Дмитро Донський у 1389 р. в духовному заповіті назвав усі водяні млини, що належали йому. У 12 відомих «Жалуваних грамотах Чернігівського князя Свідригайла» своїм слугам у 1433–1444 рр. також згадуються водяні млини.

Ці млини дуже цінувалися і тому ніколи не забувалися в заповітах. Так, у заповіті князя Володимира Андрійовича, написаному в 1440 році, говориться про водяні млини на ріках Яуз та Неглінній. Як свідчать літописи, на Неглінній річці в 1519 р. працювали 3 водяні млини й одна ступа (рос. толчея) – пристрій великого розміру для товчіння. (Як пише В. Даль, *«какова толчея, таково и толкно»*). Там же було зроблено і кам'яну греблю. Літопис повідомляє: *«Князь Великий Василий Иванович пруды копал и мельницу каменную доспел на Неглинке...»*

На Русі в давнину будівельників водяних млинів називали водяними людьми.

У 1528 р. був побудований водяний млин

на великій річці Волхов. Як записано в Новгородському літописі, *«...и ограду сдела, и колесо постави, и камень жерновый постави, и камень нача и вертеться, тако видети, кабы ему и молоти»*. У XVI–XVII ст. водяні млини будують у великій кількості також у віддалених районах Уралу, Сибіру.

Описуючи поселення України кінця XVI століття, О.Я. Єфименко у своїй книзі «Історія українського народу» (1906) відзначає, наприклад, Побужжя як *«територію з величезними зручностями і вигодами для заселення. Горбиста поверхня з надзвичайно родючим ґрунтом була зрошувана масою текучої води, що утворює чудові рибні ставки й в той же час дуже зручна для устрою млинів»*. Жителі українських поселень займалися і землеробством, але в даний період це був лише другорядний, побічний промисел, що доводить обмежена кількість млинів, які завжди реєстрували як важливу статтю доходів.

Незабаром ситуація різко змінюється. Диякон Павло Алеппський, який супроводжував влітку 1654 року антиохійського патріарха Макарія в подорожі Україною, приходить у захват від киплячої життєвості країни. Зокрема, письменника приводили у подив і захват безліч домашніх птахів і тварин, особливо свиней, величезні й різноманітні посіви, сади і городи, рибні ставки і млини зі ступами. У XVII ст. водяні млини значно поширились на Україні.

Млини стають атрибутікою українського пейзажу (мал. 3.5).

Згадаємо, наприклад, «Наймичку» Т.Г. Шевченка (*«Придбали хутір, став і млин,...»*).

Для приведення у рух водяних коліс використовувалася також сила припливу. Припливні млини з'явилися в XI ст. на узбережжі Адріатичного моря, а також в Англії і Франції. Так, в Англії в гирлі р.Дебен і сьогодні працює млин, перша згадка про який є в записях Вудбриджського приходу в 1170 р.

До більш пізнього часу належить збережена дарча грамота Івана Грозного, в якій згадується про припливні млини, побудовані Микитою Павловим на березі Білого моря в Усть-Золотиці, а також в інших місцях.

Саме в середні століття основним енергетичним джерелом у всіх видах виробництва

стає енергія води. Звичними стали машини, які за допомогою енергії води точили метали, ткали полотно, пиляли дошки і волочили дріт.

Вже наприкінці XII ст. у Нюрнберзі були поширені шаповальні, в яких металеві пальці для тріпання вовни приводилися в рух водяним колесом. До 1351 р. належить винахід першого вододіючого стану для виготовлення залізного дроту. У рукописі Віллара де Оннекура 1245 року описана перша лісопилка, що приводилася в дію водяним колесом.

На олов'яних рудниках Саксонії переробка руд відбувалася в мокрих ступах, чи «цвіттер-млинах», вперше збудованих у 1507 році. У них руда подрібнювалась до стану суспензії пестами – дерев'яними колодами, оббитими залізом.

Спочатку кожен товчийний пест приводився в рух окремим водяним колесом, причому вода, що стікала з верхнього колеса, падала на приводне колесо, розташоване нижче. Пізніше руду стали подрібнювати «пестами, яких в одному ряді іноді стоїть більше двадцяти», про що із захопленням повідомляє Г.Аґрікола у своїй монографії

«Про гірську справу і металургію». Вони (пести) приводилися в рух одним-єдиним водяним колесом, з'єднаним з трансмісійним пристроєм. Цю роль виконував сталевий вал із жорстко закріпленими дисковими колесами, від яких приводні реміні йшли до пестів. Пести рівномірно піднімалися й опускалися один за одним.

На рудниках головною турботою була проблема водовідливу. Як рушійна сила вода була незамінним помічником рудокопа. Потрапляючи в шахту, вона ставала його лютим ворогом, загрожувала його життю і заважала працювати. Вдень і вночі на мокрих, слизьких шахтних сходах по двоє в ряд стояли водоноси, котрі з рук у руки передавали один одному шкіряні відра: порожні – униз, повні – наверх. На водовідливці було зайнято до 200 чоловік у зміну, а всього – 600. З документів 1535 року видно, що водовідлив за допомогою шкіряних відер обходився в 14 тис. гульденів щорічно. Як поточні експлуатаційні витрати – сума на той час прямо-таки дивовижна.

Одним з перших пристосувань для відкачки води на рудниках була водовідливна машина з черпаками, встановлена в



Мал. 3.5. Водяний млин в Україні (з картини 1900 р.)

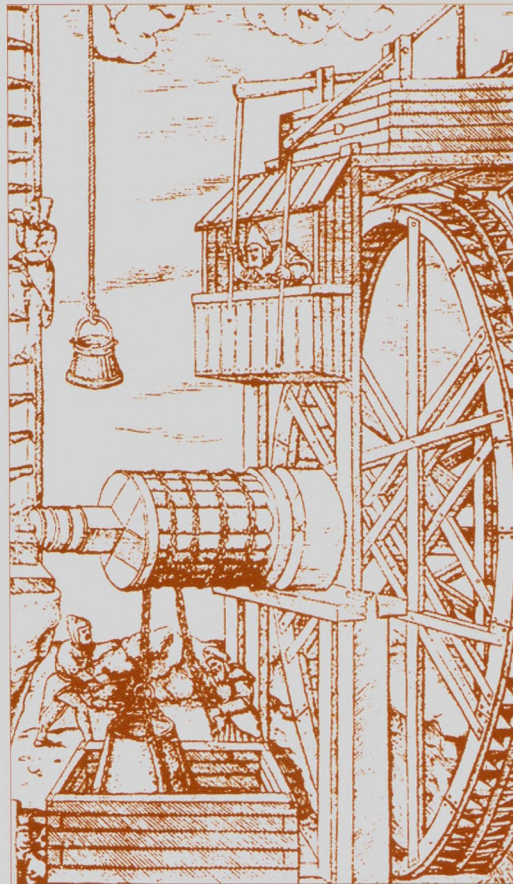
1535 р. на руднику Віндельман, що працювала від водяного колеса. Її називали «Хайнцем». «Хайнц» являв собою трубопровід із просвердлених ялинових колод з конопляним канатом або залізним ланцюгом всередині. Для з'єднання колод у широку низову частину одного стовбура вставлялася верхівка наступного. На канаті були укріплені шкіряні черпаки. Кінці з'єднувалися в нескінченне «намисто», що піднімало нагору рудничну воду.

У 1553 році людей на водовідливці цілком замінила «швацька машина», на яку дивилися як на нове чудо світу. Назву машина одержала від місця її установки – рудника Швац в Тіролі, австрійські Альпи. Вона являла собою гігантське водяне колесо з двома рядами лопатей (мал. 3.6). Останні розташовувалися одна проти одної, тому колесо оберталося як уперед, так і назад. Розміщувалося воно над шахтою, у виїмці, вирубаній в породі. З вала колеса опускалися в шахту два ланцюги, котрі підіймали наверх дерев'яні бадді з рудою і породою і величезні, ємністю по 1400 л, мішки-черпаки з водою, зшиті з двох бичачих шкір кожний. У 1610 році запрацювала друга водопідіймна машина. У 1650 році у Шваці установили нову водопідіймну машину з водяним колесом, що мало 11 м у поперечнику. До 1740 року її продуктивність була доведена до 13 тисяч кубічних метрів на добу.

У 1550 році в Аугсбурзі існувала дуже складна система міського водопостачання: водяні колеса подавали воду за допомогою «архімедових гвинтів» на міську водокачку, звідкіль вона по розгалуженій системі трубопроводів потрапляла до помешкань. Водопостачання Лондону протягом 250 років здійснювалося припливним млином, спорудженим в 1583 році німецьким інженером Пітером Морісом.

Поступово конструкція водяного колеса удосконалюється, і воно стає основним двигуном у мануфактурному виробництві, а саме гідравлічним двигуном, який перетворює енергію води в механічну енергію, наприклад валу, що обертається.

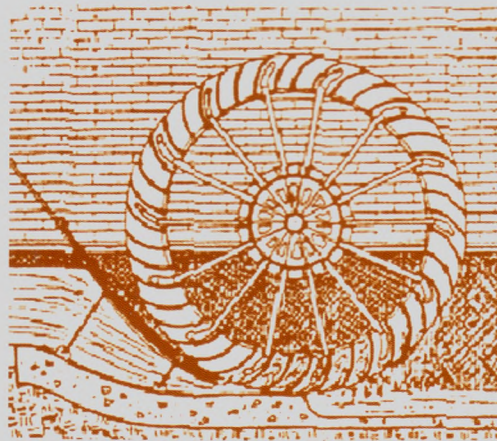
*Хвилі покірні, лопаті гримлять
Застиглого над берегом колоса,
І обертаються важкі колеса
Не кваплячись, одне одному в лад.*



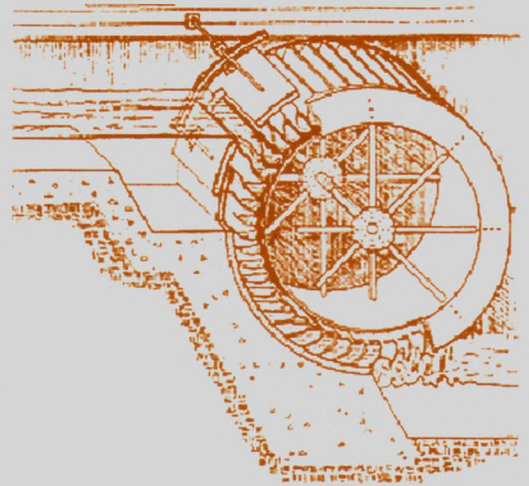
Мал. 3.6. Швацька машина



Мал. 3.7. Переливне колесо, що використовувалося для приводу механізмів



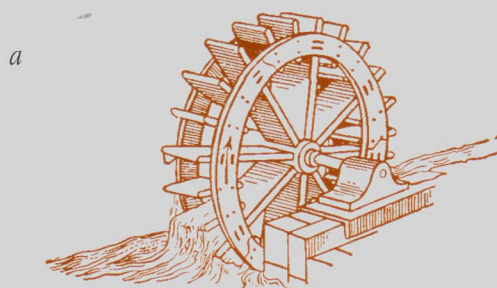
а



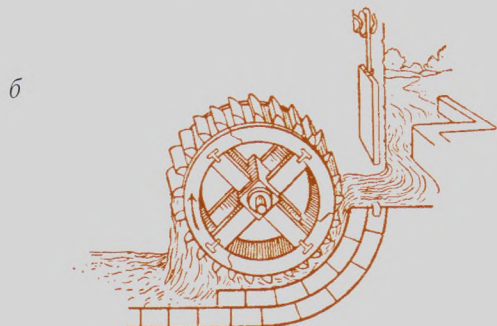
б

Мал. 3.8. Водяні колеса з коритоподібними лопатями:

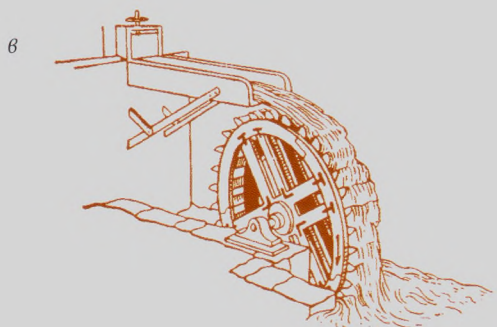
а – підливне; б – переливне



а



б



в

Мал. 3.9. Водяні колеса:

а – нижньобійне, б – середньобійне,
в – верхньобійне

Так пише про водяний млин італійський поет середини XVII ст. Бартоломео Дотті.

Не тільки розміри коліс збільшуються, самі колеса принципово змінюються (мал. 3.7, 3.8). Вони вже не просто плавучі, що використовують енергію течії ріки. Будуються спеціальні греблі, які збільшують натиск води; вода за допомогою каналів подається на колесо так, щоб повніше використовувати її енергію. Наприклад, у широко відомому млиновому колесі, збудованому в Тулузі в другій половині XVI ст., лопаті були розміщені гвинтоподібно, так що потік «діяв і вагою, і ударом» (щоб використовувалися і потенційна, і кінетична енергія рухомої води).

У XVII–XIX ст. в епоху промислової революції велика кількість водоймищ будується в промислових районах Західної Європи, а також Росії для водопостачання, водяного транспорту, забезпечення зростаючих потреб у механічній енергії за рахунок використання енергії води. Водяні колеса широко застосовуються в усіх видах виробництва на заводах, рудниках, приводячи в рух насоси, молоти, повітродувні міхи, вагонетки, рудопідіймники та інші механізми, а також забезпечують водопостачання міст.

Розрізняють три типи водяних коліс, які розміщуються на горизонтальному валу: нижньобійні (підливні), середньобійні та верхньобійні (переливні чи наливні) (мал. 3.9). Застосовувані колеса були тихохідними



Мал. 3.10. Мутувчатий млин

(до 4–10 обертів за хвилину) і в основному малої (до 20 к.с.) потужності.

Поступово здійснюється перехід до більш продуктивних верхньобійних коліс, почали застосовувати метал для валів та інших деталей, збільшувався діаметр колеса для підвищення потужності гідралічного двигуна.

У Росії в XVI ст. поширюється більш швидкохідне горизонтальне колесо з вертикальним валом (прообраз активної гідралічної турбіни) – «мутувчатий млин» (мал. 3.10).

У Франції Р. Салем спільно з А. де Вілем у 1682 р. створили найбільшу гідросилову установку з 13 коліс, діаметр яких досягав 8 м. Колеса приводили в дію 235 насосів, що піднімали воду з р.Сени на висоту 163 м. Цю систему, що забезпечувала водою фонтани королівських парків у Версалі та Марлі, сучасники називали «чудо Марлі».

У першій половині XVIII ст. будуються вже величезні водяні колеса. У Шотландії в Грині на великій бавовнопрядильні в гирлі Р. Клайд працювало залізне водяне колесо діаметром більш 21 м і шириною біля 4 м. На острові Мен в Англії було збудоване колесо ще більшого діаметру. До середини XVIII ст. водяні колеса розповсюдились всюди (мал. 3.11).

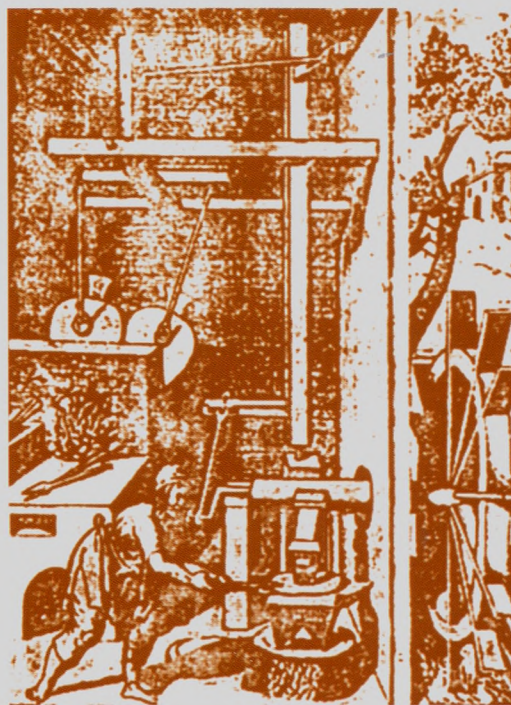


Мал. 3.11. Водяне колесо XVII ст.

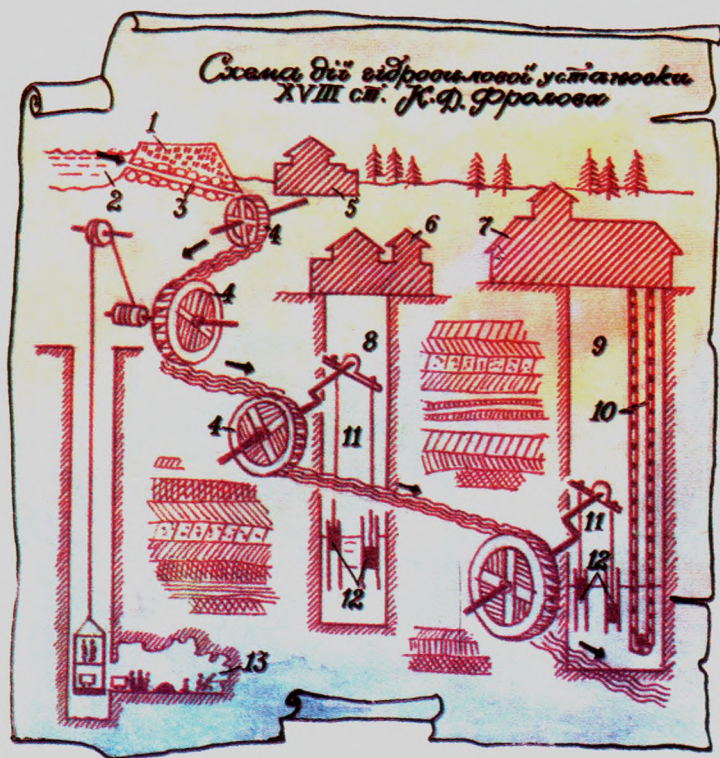
У Росії в XVI ст. на р. Лахоні в районі Вишегди діяла залізоплавильня з греблею і гідросиловою установкою для кування заліза.

У 1632 р. поблизу Тули під керівництвом голландського майстра Вініуса збудували перший у Росії «чавуноплавильний і залізобробний» завод, машини якого приводилися в дію водяним колесом (мал. 3.12).

У 1763–1765 рр. був збудований каскад установок з водяними колесами на р. Кораб-



Мал. 3.12. Водяне колесо XVII ст. з нижнім підводом води, яке приводить в дію ковальський молот і міхи



Мал. 3.13. Схема дії гідросилового комплексу XVIII ст. К.Д.Фролова:

- 1 – гребля; 2 – водозабір; 3 – водопідвід; 4 – водяні колеса;
- 5 – пилорама; 6 – рудопідійомник Катеринінської шахти;
- 7 – рудопідійомник Воскресенської шахти; 8 – головний ствол Катеринінської шахти;
- 9 – головний ствол Воскресенської шахти; 10 – ланцюговий механізм рудопідійомника;
- 11 – штанги приводів насосів; 12 – насоси;
- 13 – Олександрівський штрек

лісі, а в 1783–1789 рр. на Зміїногорському руднику на Алтаї винахідником К.Д. Фроловим (1726–1800) був введений у дію комплекс з трьох водопідійомних установок, у тому числі з верхньобійним водяним колесом діаметром 17 м.

Гребля висотою 18 м, яка підняла води р. Кораблихи, досі виконує свої функції.

Зміїногорський комплекс гідротехнічних споруд (мал. 3.13) вражає своїми масштабами. Навіть зараз можна спостерігати велетенські штучно створені зали, в яких колись оберталися колосальні за розмірами водяні колеса.

Ця установка була однією з найбільш досконалих для того часу. Як писав О.І. Порошин, який керував алтайськими рудниками, К.Д. Фролов виявив «знак своєї ревності і допитливості», привівши всі механізми «у довершену дію водяною силою». Наприкінці XVIII ст. у Росії нараховувалося біля 3 тисяч заводських гідросилових установок, деякі з них вражають своєю раціональністю і потужністю.

В Естонії гідросилова установка Кренгольмської мануфактури на р. Нарові сумарною потужністю 6 МВт була в 1890 р. найбільшою у світі.

У період XVII–XVIII ст. зростаючу потребу промисловості, що розвивалася, в енергії могло забезпечити тільки водяне колесо. Водяні двигуни ставали все більш могутніми і більш досконалими, їх ККД досягав 60–70%. Однак не усі виробництва можна було розмістити біля річок, при експлуатації водяних коліс виникали труднощі, пов'язані з мінливістю стоку ріки протягом року. Тихохідні водяні колеса вимагали досить складних передавальних механізмів для збільшення швидкості обертання верстатів.

Винахід парового двигуна і його тріумфальний хід з кінця XVIII ст. істотно знизив використання водяних коліс у XIX ст. Відродження водяного колеса на новій основі у вигляді гідралічної турбіни відбулося в XX ст., коли почалась епоха електроенергетики і водяний млин замінила ГЕС.

3.3. Від водяного колеса до гідротурбіни – розвиток теорії, створення і застосування гідротурбін

Вже в давні часи закономірності використання енергії води цікавили вчених і філософів, що знайшло відображення в працях давньогрецького мислителя Арістотеля (384–322 до н.е.), великого математика і механіка Архімеда (287–212 до н.е.).

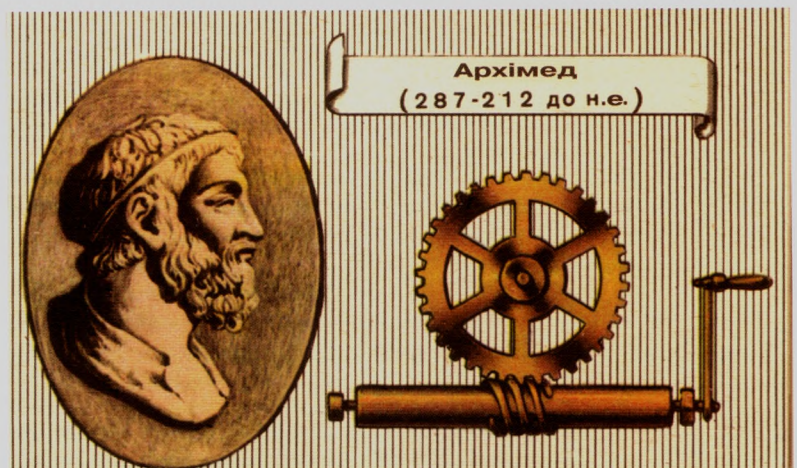
Архімед – один з геніальніших учених всіх часів і народів. Він був чудовим математиком, видатним інженером і родоначальником математичної фізики. Архімед настільки випередив науку свого часу, що по-справжньому деякі його роботи стали зрозумілі тільки через 18 століть у Європі, де на його математичних працях вчилися творці нової математики – аналізу нескінченних малих. На жаль, до нас дійшли лише деякі з його творів, винаходів і приладів. З творів можна назвати дві книги «Про кулю і циліндр», дві книги «Про рівновагу площини», «Про вимір кола», «Про коноїди і сфєроїди», «Про спіралі», «Про число піщин», «Про квадратуру парабол», «Послання Ератосфену про деякі теореми механіки», дві книги «Про тіла, що плавають», «Уривки».

Досліджуючи закони центру ваги як точки, при підвішуванні за яку тіло залишається в рівновазі у всіх положеннях, Архімед довів, що важке тіло буде залишатися в рівновазі, коли точка підвісу і центр ваги тіла залишаються на одній вертикалі. Він ввів поняття механічного моменту сили. Вчення Архімеда про центр ваги актуальне і зараз і використовується в різних галузях техніки – машинобудуванні, кораблебудуванні, аеронавтиці, архітектурі.

Умова рівноваги важеля викладена в його в чіткій математичній інтерпретації: «порівнянні величини врівноважуються, якщо довжини, на які вони підвішені, знаходяться в зворотному відношенні до вагів». Виклад цього закону і зараз вважається зразковим і з плином часу в ньому нічого не було змінено.

Архімед розробив основи статистики і гідростатистики, запровадив поняття питомої ва-

ги. Знаменитий свій закон про здатність рідини виштовхувати тіла він виклав у спеціальному творі «Про плаваючі тіла». Сам закон Архімед формулює так: «тіло, більш легке, ніж рідина, опущене в цю рідину, занурюється настільки, щоб об'єм рідини, який відповідає об'єму зануреної частини тіла, мав би вагу, рівну вазі всього тіла». З відкриттям цього закону стало можливим визначати підйомну здатність споруджуваного судна. Для цього треба тільки обчислити об'єм води, яка витісняється ним при зануренні до певної глибини. Віднявши з ваги витиснутої води вагу самого судна, одержують вагу вантажу, що може бути прийнятий судном. Але треба ще знати, чи воно не перекинеться. Розуміючи це, Архімед розглянув умови, від яких залежить стійкість рівноваги плаваючих тіл. Цей закон покладений в основу наукового конструювання суден. Людина різнобічно обдарована і на рідкість ерудована, Архімед був одним з перших інженерів у самому широкому розумінні цього слова. Він винайшов машину для підйому води, так званий «архімедів гвинт» (мал. 3.14), побудував мости власної конструкції, під його керівництвом були споруджені дамби для регулювання розливів Нілу, побудований «кора-



Мал. 3.14. Архімед і «архімедів гвинт»

бель Гієрона» для перевезення зерна, ще в ранній молодості він виготовив майстерний планетарій, що приводився в рух водою. Вперше для підняття тягарів Архімед застосовує систему важелів і блоків.

Інженерна діяльність Архімеда яскраво відбилася в його математичних роботах, в яких він дотепно вирішував задачі на обчислення довжини кривих, площ і об'ємів, дав формули для визначення довжини кола, об'єму і поверхні кулі та її частин, площі сегмента параболи й інші.

Архімед був автором багатьох практичних винаходів. Деякі з них добре відомі нам. Наприклад, його ідея гвинта використовується нині в насосах, шнеках і простих м'ясорубках. А чи застосовували «архімедів гвинт» у стародавньому світі? Відповідь на це питання знаходимо в одній із праць давньогрецького мандрівника, історика і географа Страбона (63 до н.е. – 24 н.е.).

У 25 р. до н.е. він відвідав Єгипет у складі експедиції, що шукала шлях в Індію. У його описі міститься розповідь про те, як подавали воду з Нілу в одне військове укріплення. Було прорито канал, кінець якого упирався в узвишшя. Там поставили дерев'яні гвинти Архімеда, що вручну оберталися 50 рабами. Таким чином вода попадала в інший канал, що був проритий на підвищенні.

Розвиток промисловості, нагромадження нових практичних знань у XV–XVI ст. в епоху Відродження привели до нечуваних злетів людської думки. У цей період закладені основи сучасної науки. Найважливішу роль в удосконаленні водяних двигунів, створенні гідравлічних турбін відіграли наукові дослідження в області гідравліки і теорії гідравлічних двигунів.

Неоціненний внесок у розвиток гідравліки, гідротехніки і гідравлічних двигунів зробив Леонардо да Вінчі (1452–1519)

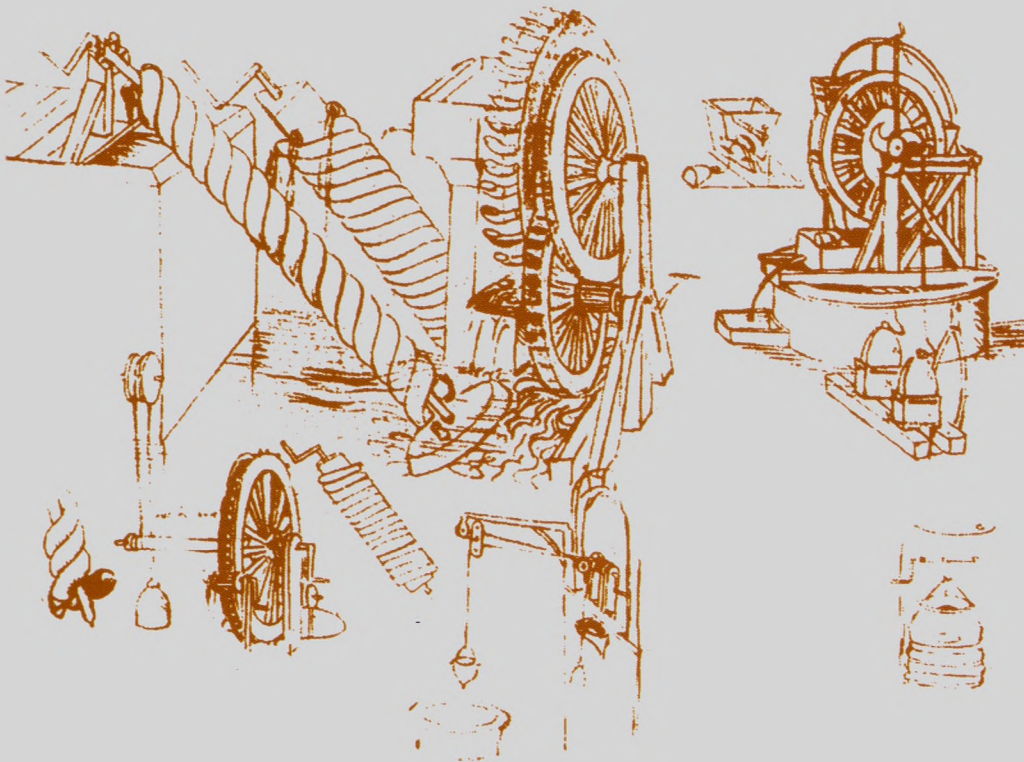
– геніальний італійський художник, вчений й інженер, один з найвизначніших представників мистецтва і науки епохи Відродження. Він сформулював гідродинамічний принцип нерозривності, описав рівновагу рідини в сполучених посудинах, наблизився до відкриття основного закону гідростатики – закону Паскаля. Свої дослідження по гідравліці та гідравлічним машинам Леонардо да Вінчі збирався узагальнити в трактаті про воду, який складається з ряду книг, у тому числі про водоводи, канали, про саму воду, про машини, що приводяться в рух водою. У його рукописах безліч заміток, замальовок (мал. 3.15) і конспектів розділів цієї праці, яку він не завершив. Леонардо да Вінчі вважав, що практика неможлива без теорії: «Закоханий у практику без науки – немов керманич, що ступає на корабель без керма або компасу; він ніколи не впевнений, куди пливе».

У XVI ст. вийшла у світ книга «Піротехніка» Ванноччо Бірінгуччо, керівника металургійного заводу в Сієні, де описане досить велике водяне колесо: «Деякі користуються колесом з ковшами 6, 7, 8 ліків у діаметрі, у залежності від місцезнаходження і кількості води».

Саме в ці роки розпочалась публікація праць з техніки, в яких описувалися водяні колеса, повітродувки, найрізноманітніші млини. У 1556 р. з'явилася монографія видатного німецького вченого Георга Агріколи (1494–1555) «Про гірську справу і металургію», що складається з 12 книг.

З'являються праці, спеціально присвячені водяним колесам. У 1737 р. опублікована книга французького інженера і вченого Белідора «Гідравлічна архітектура», в якій розглядаються вже не тільки приклади застосування водяних коліс, але й елементи їх теорії, методи розрахунку і конструювання. Англійський інженер Смітон проводить

Довгий час твір Архімеда «Про плаваючі тіла» був відомий тільки по латинському перекладу, зробленому в XIII ст. францисканським монахом Вільгельмом з Марбеке. Історія відкриття грецького оригіналу така: на початку XX ст. приват-доцент Петербурзького університету Попандопуло-Керамевс повідомив про те, що у Константинополі є рукопис духовного змісту, на якому раніше був написаний інший текст. У 1906 та 1908 рр. в Константинополі побував датський філолог Гейберг. Він прочитав більшу частину рукопису, який відновив фотографічним методом. З'ясувалось, що цей рукопис містить більшу частину грецького оригіналу твору Архімеда «Про плаваючі тіла», а також раніше зовсім невідомий твір «Ефодік», в якому Архімед розкриває суть свого математичного методу.



Мал. 3.15. Леонардо да Вінчі. Малюнки гідравлічних машин. Мілан

досліди з моделями водяних коліс і пропонує ряд нових рішень.

Величезний внесок у розробку теоретичних основ створення гідравлічних турбін внесли члени Петербурзької академії наук швейцарські вчені Д. Бернуллі, що опублікував у 1738 р. працю «Гідродинаміка», яка стала класичною, і Л. Ейлер, котрий виконав у середині XVIII ст. важливі дослідження з теорії гідравлічних турбін, вивів основні рівняння руху рідини, висловив і обґрунтував ідею направляючого апарату, запропонував проект першої реактивної гідравлічної турбіни з робочим колесом і направляючим апаратом.

Перша гідравлічна турбіна була побудована в 1750 р. угорським вченим Я. Сегнером. У першій половині XIX ст. з'являються гідравлічні турбіни, застосовані на практиці. Так, у 1827 р. французький інженер Б. Фурнейрон побудував радіальну відцентрову ре-

активну турбіну, яка у 1834 р. була використана на виробництві. Результатом тривалих спільних зусиль інженерів і вчених багатьох країн стало створення першої придатної для практики гідравлічної турбіни.

У Росії винахідник І. Сафонов у 1837 р. створив і встановив гідравлічну турбіну на Алапаївському металургійному заводі на Уралі, а через 25 років тільки в металургійній промисловості Росії вже працювало 58 гідравлічних турбін. Коефіцієнт корисної дії гідравлічної турбіни на Нейво-Шайтанському заводі становив уже 70%.

У 1837–1841 рр. французьким інженером Жонвалем і німецьким інженером Хентелем практично одночасно була розроблена осьова реактивна турбіна, у 1849 р. з'явилася радіально-осьова реактивна турбіна американського інженера Д. Френсіса, у 1880 р. – ковшова активна турбіна Пельтона, у 1912 р. – поворотно-лопатєва реактивна турбіна

Перша в світі промислова ГЕС потужністю 220 кВт була побудована в Німеччині в Лауфені на р. Неккар в 1891 р. під керівництвом російського інженера М.О. Доліво-Добровольського. Там же в Німеччині в Рейнфельді в 1898 р. була побудована велика ГЕС потужністю 16,8 МВт з напором 3,2 м. У Росії в 1892 р. під керівництвом інженера Кокшарова була побудована гідроелектрична установка потужністю 150 кВт на р. Березівці на Алтаї, в США в 1900 р. – Ніагарська ГЕС Адамс потужністю 500 тис. к.с. з напором 41,2 м.

На початку XX ст. ГЕС будуються в країнах Західної Європи, Росії, США, Бразилії, Японії та інших країнах. Широке будівництво ГЕС, які використовують відновлювальні гідроенергетичні ресурси, ведеться в багатьох країнах світу. Якщо на початку XX ст. сумарна потужність ГЕС у світі складала близько 1 млн. кВт, то на початок XXI ст. – 670 млн. кВт з виробленням електроенергії 2650 млрд. кВт·год, що становить біля 32% економічно ефективного гідроенергетичного потенціалу. Потужність великих гідротурбін сягає 0,8 млн. кВт, а діаметр робочого колеса 10 м. На заводі «Турбоатом» (Україна) для Рагунської ГЕС (Таджикистан) створена радіально-осьова гідротурбіна (Френсіса) з діаметром робочого колеса 6 м, потужністю 615/810 МВт (потужність 810 МВт досягається при максимальному напорі 320 м). Потужність найбільшої в світі ГЕС Ітайпу на р. Парана (Бразилія-Парагвай) становить 12,6 млн. кВт, потужність одного гідроагрегату – 0,7 млн. кВт. Потужність ГЕС «Три ущелини», що будується на р. Янцзи (Китай), – 18,2 млн. кВт, потужність одного гідроагрегату – 0,7 млн. кВт.



Даниїл Йоганович Бернуллі (1700–1782)



Медаль на честь Л. Ейлера

В. Каплана. Ці конструкції турбін лягли в основу сучасних гідравлічних турбін.

На заміну водяному колесу – найдавнішому двигуну, який протягом багатьох тисячоліть вірою і правдою служив людям, – прийшла гідравлічна турбіна.

Зовні від водяного колеса гідравлічна турбіна відрізняється тим, що вода проходить через її колесо (між лопатями) наскрізь, а з водяного колеса вода сходить у тій же його частині, де вона до нього надходить. При цьому гідравлічна турбіна порівняно з водяним колесом має значні переваги, включаючи компактність, швидкохідність, високий к.к.д. і велику потужність.

Принципово новий етап використання гідроенергетичних ресурсів пов'язаний з розвитком електроенергетики, яка забезпечила різкий ривок у розвитку цивілізації, поліпшенні умов життя людей.

Гідроенергетика – галузь електроенергетики, що належить до використання енергії води головним чином для виробництва електроенергії на ГЕС.

В останній чверті XIX ст. були забезпечені необхідні умови для розвитку гідроенергетики: створені ефективні гідравлічні турбіни, що характеризуються високим ККД і великою потужністю; розроблені електричні генератори змінного струму; здійснена на практиці передача електроенергії на значну відстань.

У Росії в 1877 р. «Інженерний журнал» опублікував статтю Ф.П. Піроцького «Про передачу роботи води, як рушія, на будь-яку відстань за допомогою гальванічного струму».

«Велич деяких справ складається не стільки в їх розмірах, скільки в їх своєчасності», – писав давньоримський філософ Сенека (4 р. до н.е. – 65 р. н.е.).

Розділ 4

Використання енергії вітру, створення і застосування механізмів для її перетворення та їх розвиток

4.1. Використання енергії вітру в період з давніх-давен до нового часу

Одним з перших стабільних джерел енергії, освоєних людиною, був вітер.

Завдяки вітру відбулися великі географічні відкриття, людство одержало можливість подорожувати, зрошувати поля, молоти зерно і, нарешті, воно навчилося перетворювати вітер у чисту енергію у вигляді електрики.

Якщо існував Ноев ковчег, то він, очевидно, плив під вітрилами.

Енергія «від вуст Еолу» (мал. 4.1) вперше була використана на вітрильних судах, що служили головним транспортним засобом для перевезення товарів по Нілу в Стародавньому Єгипті.

Давні греки відносили винахід вітрила до тих далеких часів, коли було освоєно вогонь і приручені дикі тварини. У довгому ряду благодіянь, якими Прометей ошчасливив рід людський, Есхіл згадує і вітрило: «льняними крилами судна спорядив, і сміливо по морях погнав».

Зі старих документів достеменно відомо, що вже чотири тисячі років тому відважні

фінікійці, які жили на східному березі Середземного моря, інтенсивно користувалися вітрилом. Воно було примітивним і недосконалим, але з його допомогою фінікійці допливли до гирла Нілу, де організували жваву торгівлю з єгиптянами, а дві з половиною тисячі років тому навіть зробили перше описане в історії плавання навколо Африки. Перед людьми, що опанували енергію вітру, відкрилися океани. З вітрилом пов'язаний початок освоєння нових земель, нових ринків. Енергія вітру сприяла розвитку цивілізації.

Силу вітру цінували і вміли використовувати з давніх часів у багатьох країнах. І хоч на суші енергію вітру ніколи не використовували так широко, як на морі, проте напевне відомо про існування вітряних коліс за тисячі років до нашої ери. Наприклад, у районі Олександрії збереглися залишки вітряних млинів, яким не менше трьох тисяч років. Вавилонці використовували їх для осушення боліт, у Єгипті, на Близькому Сході, у Персії будували вітряні водопідіймники і млини.

За 200 років до нашої ери в Персії для розмелу зерна застосовувалися прості вітряні млини з вертикальною віссю обертання, а ще раніше їх використовували в Китаї.

Такі млини оберталися навколо вертикальної осі подібно обертовій дзизі або іграшковому гіроскопу. Стародавні перські вітромлини виготовлялися кріпленням пучків очерету до дерев'яної рами, що оберталася, коли дув вітер. Стіна, яка оточувала млин, спрямовувала вітер на раму (мал. 4.2).

Зафіксовано згадування про вітряний млин в Ірані в 644 році, коли в обвинувальному акті проти якогось Абу Лулуа, що убив халіфа Умара ібн ал-Каттаба, він названий



Мал. 4.1. Зображення міфологічного володаря вітрів – Еолу

«будівельником вітряних млинів». Трохи більше ніж через 200 років вітряні млини з'являються в містечку Сіетек на кордоні між Іраном і Афганістаном.

Використання млинів з вертикальною віссю обертання одержало згодом повсюдне поширення в країнах Близького Сходу. Пізніше був розроблений млин з горизонтальною віссю обертання, що складається з десяти дерев'яних стояків, оснащених поперечними вітрилами. Подібний примітивний тип вітряного млина застосовують дотепер у багатьох країнах басейну Середземного моря.

У XI столітті вітряні млини широко використовувалися на Близькому Сході й при поверненні хрестоносців потрапили в Європу. Перше згадування про вітряний млин у Європі, спочатку у Франції, належить до 1105 року: в архівах зберігся дозвіл, виданий якомусь монастиреві на будівлю млина. Французькі хроніки 1180 року й англійські 1190 року вже прямо говорять про працюючі вітряні млини, але ще зовсім не про ті, з якими згодом боровся хитромудрий ідальго Дон Кіхот Ламанчський! Це були незграбні споруди з лопатями, укріпленими на дерев'яному корпусі, що оберталося в горизонтальній площині. За принципом дії англійські та французькі млини були однотипними. У Німеччині перший млин був побудований у 1393 р. З Німеччини вони поширилися в інші країни.

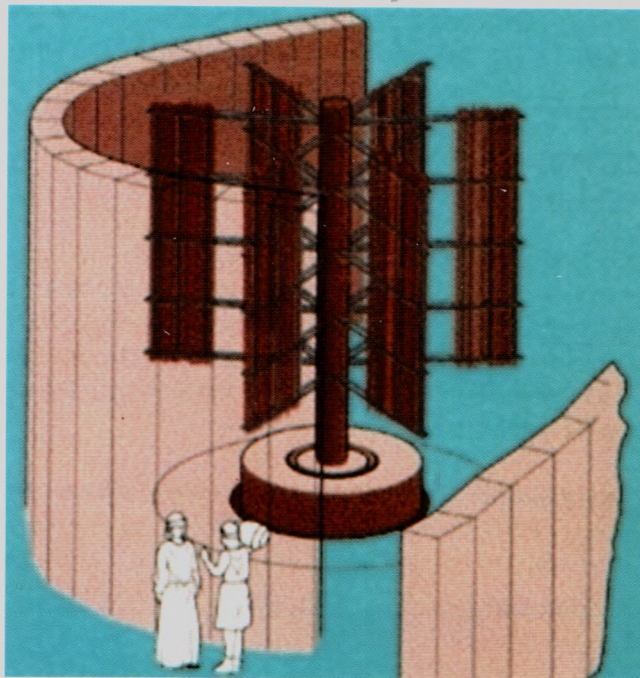
Вітряний млин працею багатьох поколінь удосконалювався і набув більш знайомий нам вигляд. Він виявився істотно простішим водяного, значно дешевшим. Основний його недолік полягав у мінливості енергоносія – вітру.

Вітер – помічник примхливий, тому що швидко і постійно змінює свій напрямок. Ця проблема довгий час заважала використовувати силу вітру. Нарешті, у XIII столітті було знайдене рішення – вітряне колесо, що за допомогою примітивного важеля поверталося і у такий спосіб крила завжди були підставлені вітру. У рукописі 1270 року, іменованому «Водно-млиновий Псалтир», є зображення одного з перших вітряних млинів.

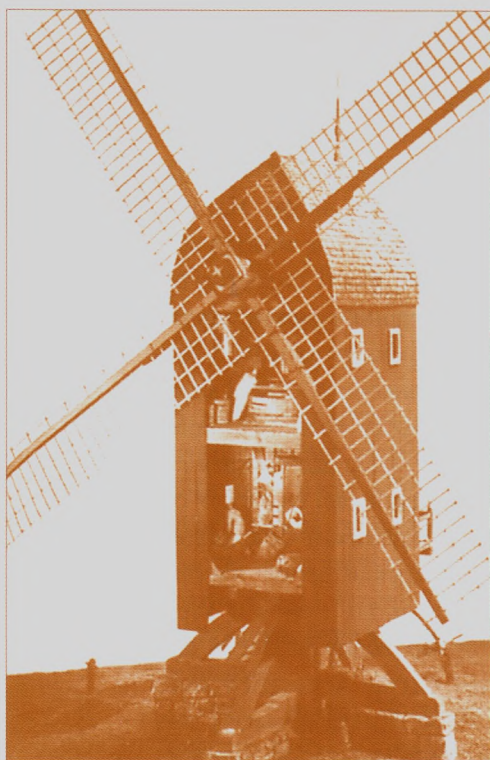
Представником удосконаленої конструкції цього напрямку є вітряний млин типу

«Воск» (мал. 4.3). На дерев'яній нижній рамі, так і званій «Воск», розташовувався корпус млина, який оберталося на вертикальній цапфі. За допомогою нахиленої назовні балки корпус млина повертався, і крила встановлювалися в напрямку вітру. На цих млинах протягом сотень років мололи зерно. Вони були надійні, прості та довговічні. У разі потреби мірошники могли вручну власними силами відремонтувати їх. З економічної точки зору використовувати вітряний млин типу «Воск» було настільки вигідно, що влада не могла залишитися осторонь і почала висувати свої вимоги. У середині століття мірошникам доводилося платити своєму феодалові десятку частину виторгу, який давав млин. Єпископ Утрехтський навіть привселюдно оголосив про те, що усі вітри і вітерці провінції є його особистою власністю. Правда, до наших днів не дійшло, чи дув вітер також і тоді, коли його власник йому наказував. Але млини типу «Воск» використовували повсюди.

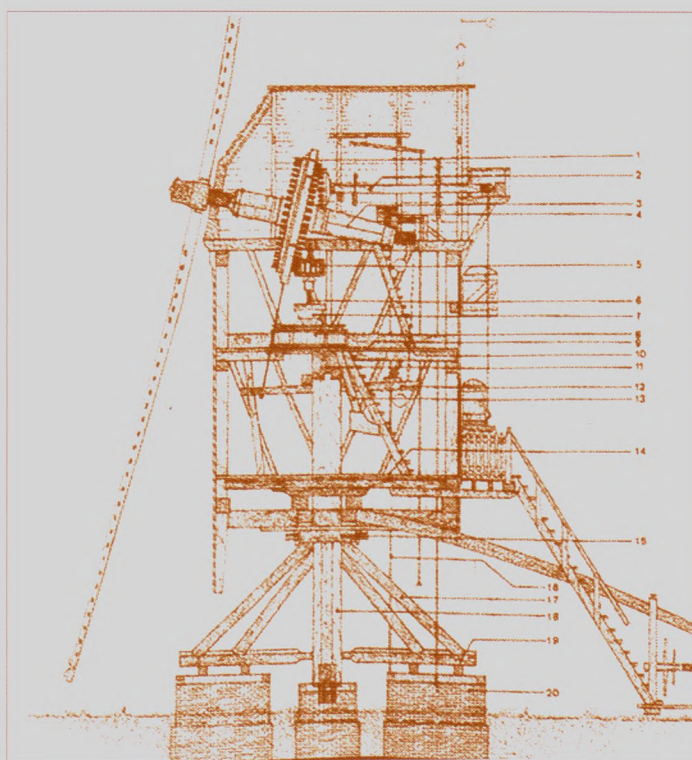
У XIV столітті ведучими в удосконаленні конструкцій вітряних млинів стали голландці, тому що в Голландії (Нідерландах) ці млини стали основою енергетичної бази. Можна сказати, що ця країна самим своїм існуванням зобов'язана млинам: адже більша



Мал. 4.2. Старовинний персидський млин з направляючою вітер стіною



a



б

Мал. 43. Загальний вигляд (а) і розріз (б) вітряного млина типу «Воск»

частина території Нідерландів («низинної країни» у буквальному перекладі) лежить нижче рівня моря. Саме вітряні двигуни дали можливість провести грандіозні роботи з осушення боліт і відкачки води. Сила вітру

була протиставлена силі іншої стихії – морської, що постійно загрожувала затопити землю маленької країни.

Голландці внесли багато удосконалень в конструкцію вітряних млинів. Останні мали,



Мал. 44. Вітряні млини данської фірми «Poul la cour», 1897 р.

як правило, чотири дерев'яних крила гратчастої конструкції з натягнутою на них грубою парусиною. Згортаючи або розгортаючи ці «вітрила», люди відповідно зменшували або збільшували площу крил і в такий спосіб перетворювали мінливу силу вітру у відносно рівномірний хід вітродвигуна. У деяких млинів було до восьми крил (мал. 4.4, 4.5).

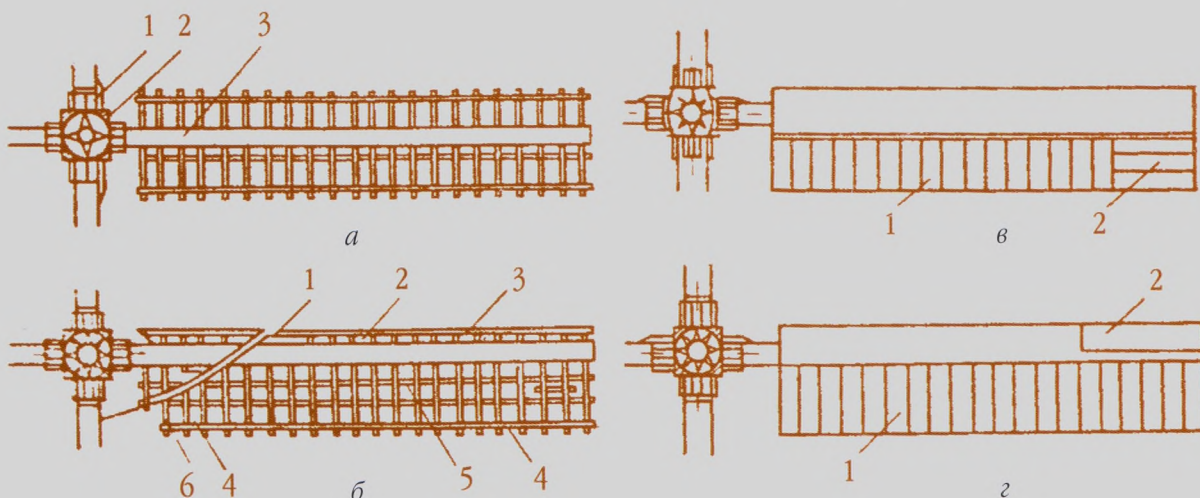
Крила деяких вітряних млинів були зроблені цілком з дерева й мали вигляд жалюзі. У них для регулювання напору вітру замість парусини використовували рухливі пластини. У XVI столітті примітивні поперечні вітрила на дерев'яних полицях поступилися місцем вітрилам, закріпленим на дерев'яних брусах із двох сторін маху (мал. 4.6).

Пізніше для поліпшення аеродинамічної форми крил бруски були приєднані до заднього краю. У більш сучасних конструкціях вітрила замінили тонким листовим металом, використовувалися сталеві махи і різні типи жалюзі та щитків для регулювання частоти обертання вітроколеса при великих швидкостях вітру.

Вітряні колеса працювали за тим же принципом, що й водяні, і тому мали дуже великі розміри: розмах крил до 28 м, ширину крил 2 м, а висота всієї баштової конструкції млина досягла 30 м. Великі



Мал. 4.5. Український вітряний млин. Фото А. Кремко



Мал. 4.6. Типи парусних крил:

а – найбільш старовинний тип з двостороннім розташуванням крила (біля 1600 р.): 1 – клини; 2 – зрізаний кінець; 3 – мах; *б* – традиційна форма старовинного датського типу (одна опорна полиця винесена вперед):

1 – полотно вітрила, яке забирається; 2 – опорна полиця; 3 – передня кромка; 4 – кінцева планка;
5 – продольні зв'язки; 6 – рейка; *в* – крило з жалюзі та повітряним тормозом: 1 – жалюзі; 2 – тормозні жалюзі;
г – крило з жалюзі та щитком: 1 – жалюзі; 2 – щиток

вітряні млини при великих швидкостях вітру могли розвивати потужність до 66 кВт.

Вітряні млини, так само як і водяні, недовго залишалися просто пристосуваннями для перемелювання зерна. У 1582 році в Голландії була побудована перша маслобойня, яка використовувала енергію вітру, у 1586 році – перша паперова фабрика, що задовольняла підвищені вимоги до паперу, зумовлені винаходом друкарського верстату, а в 1592 році з'явилися лісопильні заводи для виробництва лісоматеріалів з використанням енергії вітру. Млини також мололи нюхальний тютюн і пряності, ткали полотно.

Економічний розквіт Голландії, куди Петро I (1672–1725) їздив учитися уму-розуму, у XVI столітті був викликаний саме розвитком вітроенергетики в цій країні. Голландці успішно перейшли від первісного використання вітряків для осушення низьких приморських земель до пристосування млинів як приводу різних виробництв. У результаті Голландія стала найенергоозброєнішою країною в тодішній Європі.

Найбільш вдалу конструкцію вітряного млина ще в XVII столітті запропонував голландець Ян Андріаанезоон (згодом у всьому світі її стали називати «голландською»). За допомогою цього млина він осушив 27 озер, заслуживши у співвітчизників почесне прізвисько «Леєгватер» – «спустошувач вод».

Максимальне поширення вітряних млинів у доіндустріальній Європі спостерігалось в 1700-ті роки, коли на рівнинах Німеччини, Італії, Росії, України, Іспанії і, звичайно ж, Голландії – класичної країни вітряних млинів – розмірено обертали свої крила дерев'яні велетні.

У 30-х роках XVIII століття в Голландії працювали 1200 вітроустановок, що охороняли 2/3 країни від зворотного перетворення в болота. А до кінця XIX століття в Голландії їх нараховувалося понад 10 000 (у 1923 р. – тільки 2500, а в наш час – ледь тисяча), а в маленькій Данії – 30 тисяч для побутових цілей і 3 тисячі вітродвигунів, що використовувалися в промисловості.



Вітряний млин у Голландії

4.2. Вітряки Росії й України

Конструкції перших вітряних млинів у Росії були, напевно, запозичені з Німеччини і їх називали німецькими.

Наші предки-слов'яни вміли орати землю дерев'яним плугом з металевим наральником, розводити домашніх тварин, знали ремесла, виробництво ниток, а звідси й одягу. Вони вели домокам'яне будівництво, розводили городні культури, уміли припасати їх на зиму. Але найважливішим для південних слов'ян було те, що вони одні з перших впровадили в себе єгипетські вітряні млини. Для здійснення цього необхідні були належні технічні знання.

У Росії енергія вітру здавна широко використовувалася головним чином у сільському борошномельному виробництві. Неподалік від кожного великого села, на відшибі,

обов'язково махали своєю дірчастою вертушкою вітряні млини. Це були дерев'яні споруди місцевого кустарного виробництва, середньою потужністю близько 5 к.с. Зустрічалися і великі вітряні млини з діаметром вітроколеса 20–24 м, потужністю 15–20 к.с. Багато чого для їх поширення в Росії зробив Петро I.

Відповідно до різних джерел, кількість селянських вітряків у Росії до кінця XVIII століття досягла 200–250 тисяч, їх застосування набуло державного значення. Для хлібородної степової Росії з її далечинами і глибинками вітряні млини були справжнім порядком, так би мовити, енергетичною благодаттю й у певному розумінні навіть годувальниками. Вони щорічно перемелювали в борошно близько $\frac{2}{3}$ усього товарного зерна, що для того часу було чималим обсягом. І хо-



Мал. 4.7, а. Український вітряк (з картини художника С.І.Світославського, 1880 р.)



Мал. 4.7, б. Українські вітряки минулих століть в експозиції Музею народної архітектури і побуту України

ча особливою жвавістю своїх підопічних мірошники похвалитися не могли, усе-таки млини справно крутили жорна по сто і більше днів на рік, що всього лише рази в два менше тривалості роботи сучасних вітродвигунів.

Вітродвигуни для перекачування води і розмелу зерна масово застосовувалися по всій Україні. Україна – країна з багатовіковими традиціями використання енергії вітру. Як відомо з архівних даних, перед 1917 роком загальна потужність таких вітряків на території нинішньої України складала 1400 МВт. (Для порівняння: Хмельницька АЕС має потужність 2000 Мвт, а сумарна встановлена потужність сучасних вітроелектростанцій у країнах Європейського Союзу в 1994 році дорівнювала 1510 Мвт). У старовину, в часи Гетьманщини, Україною керувала обрана народом адміністрація – козацька старшина. Жалування їй не покладалося, сіл теж ніхто не роздавав. Але кожен полковник, сотник або інший чиновник високого рангу мав монополне право на певні види діяльності. У першу чергу це стосувалося помелу зерна, що у ті

часи здійснювався вітряними млинами. Сформований тоді порядок забезпечив велике поширення вітряних млинів, що надовго стали невід'ємною частиною українського пейзажу (мал. 4.7, а). На мальовничій околиці Києва – у районі Голосіївського лісу, поблизу урочища Феофанія і селища Пирогово – діє музей під відкритим небом. Він показує народну архітектуру і побут старого (XVI ст. – початок XX століття) українського села всіх історико-етнографічних регіонів України. Окремими групами на території музею зібрані вітряки XIX ст. – початку XX століття (мал. 4.7, б), перевезені з Черкащини, Полтавщини, Дніпропетровщини, Луганщини, Чернігівщини та інших областей. У млинах при нагоді можна навіть спостерігати помел зерна.

Музей Переяслава-Хмельницького під відкритим небом демонструє народну архітектуру і побут Середньої Наддніпрянщини. Особливо визначною пам'яткою музею є колекція українських вітряків, що нараховує 14 пам'ятників.

4.3. Вітряні млини США

У США вітряні млини більше відомі своїм внеском в освоєння і розвиток американського Заходу наприкінці 1800-х років. Вітряні млини були життєво необхідні раннім поселенцям на Великих рівнинах. Вони постачали водою залізницю (мал. 4.8) і худобу в місцях, віддалених від джерел води. Їх використовували також фермери для іригації.

Вітряні млини європейської і голландської конструкцій, що подекуди застосовувалися на східному узбережжі США, в умовах Великих рівнин виявилися малоефективними. Вода в цьому районі залягає глибоко під поверхнею землі й необхідні були більш швидкохідні млини.

Тихохідні млини голландської конструкції гарні для джерел, розташованих близько до поверхні землі. Зіграла немаловажну роль також різниця економічних умов цих двох регіонів. На Великих рівнинах фермерські господарства мали потребу у відносно невеликих обсягах води на багатьох розкиданих по великій площі ділянках. В умовах же голландських низин великі обсяги води перекачувалися на численних ділянках у межах малої площі. Звідси і розходження в економічних розрахунках: монтаж великих голландських вітряних млинів виявився не вигідним. Надійний спосіб підкачки води з глибоких колодязів удалося реалізувати за допомогою водонасосного вітряного млина американської конструкції (мал. 4.9), яка згодом змінила навколишній ландшафт. За минулі 100 років американські виробники побудували більше 8 млн. водонасосних вітряних млинів, в основному для забезпечення водою худоби.

У перших конструкціях вітряних млинів лопаті виготовлялися з дерева, при цьому ККД складав 7%. У результаті дослідницької роботи таких піонерів вітроенергетики, як Томас Перрі, який наприкінці 1800-х років

здійснив близько 5000 експериментів з різними конструкціями ротору, дерев'яні лопаті були замінені вигнутими металевими лопатями, що дало можливість збільшити ККД до 15% (мал. 4.10).

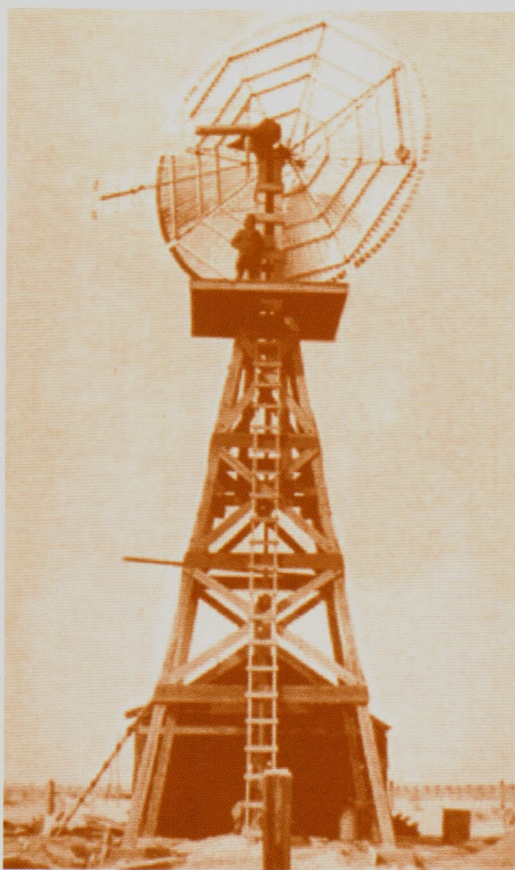
Широка кривизна лопатей з листового металу дозволяла захоплювати більше повітря і направляти його на задню частину



Мал. 4.8. Американська вітроустановка для водопостачання залізниці



Мал. 4.9. Водонасосний вітряний млин американської конструкції



Мал. 4.10. Вітрова двигун конструкції Т.Перрі

наступної лопаті. Цей каскадний ефект сприяв збільшенню перепаду тиску з однієї сторони лопаті на іншу, поліпшуючи характеристики вітрова двигуна. Конструкція Перрі виявилася настільки успішною, що була запозичена багатьма країнами світу. Сьогодні використовуються близько 1 млн. таких вітрова двигунів, в основному в Аргентині, США, Австралії і Південній Африці.

Типовий вітрова двигун з діаметром 8 футів (26,2 м), який використовується у фермерському господарстві, має продуктивність 1–2 галони на хвилину (0,2–0,5 м³/год) в умовах Великих рівнин. Вітрова двигун, що традиційно застосовується у фермерських господарствах, набагато менш економічний у порівнянні із сучасними вітрова турбінами через те, що його лопаті не мають дійсно аеродинамічного профілю.

Один із засновників американської електричної індустрії Чарльз Ф. Браш (1849–1929) свою компанію «Браш електрик» у 1892 році злив з «Едісон дженерал електрик компанії». Нова компанія одержала нині широко відому назву «Дженерал електрик компанії» (GE).

Сам Чарльз Ф. Браш прославився впровадженням генератора постійного струму в громадських електричних мережах, комерційної дугової лампочки і способу виробництва свинцево-кислотних акумуляторів.

Протягом зими 1887–1888 років Браш побудував те, що сьогодні називається першою автоматично керованою віровою турбіною для виробництва електроенергії. Вона була воістину гігантською – найбільшою в світі. Діаметр ротору дорівнював 17 метрам. Ротор мав виготовлені з кедр 144 лопаті. Турбіна пропрацювала 20 років, протягом яких заряджала батареї в підвалі під нею. Незважаючи на значні розміри турбіни, на ній був установлений генератор потужністю всього 12 кВт. Принцип, який застосовував Браш, – використання солей, – не зазнавав змін з 1890 року до тієї пори, коли контролер турбіни почав керуватися комп'ютером.

4.4. Типи вітряних млинів

Технологічні процеси виробництва з використанням вітряних млинів вкрай різноманітні. Відповідно до цього і млини поділялися на різні типи.

Так, у борошномельному виробництві були млини, що працюють на один (див. мал. 4.3) або два (мал. 4.11) жорнових посади.

За конструктивними формами повороту на вітер існували двоє основних типів вітряних млинів – *козлові та шатрові* (мал. 4.12). Козловий вітряний млин (мал. 4.12, *а*) цілком повертався навколо дубового стовпа. Стовп встановлювався в центрі ваги, а не в центрі симетрії, на фундаменті. Поворот на вітер вимагав витрати великих зусиль. Застосовувалась одноступінчата передача, що обертає короткий вал жорна. До козлового типу відноситься і млин «Воск» (див. мал. 4.3). На мал. 4.13 представлений розріз більш пізньої конструкції козлового вітряного млина.

На мал. 4.12, *б* показаний шатровий (голландський) тип. Нерухомий будинок млина забезпечувався зверху поворотною рамою, що несе вітроколесо покрите дахом у вигляді намету. Поворот на вітер через меншу вагу частин, що повертаються, вимагав значно менших зусиль. Вітроколесо могло мати збільшений діаметр внаслідок можливості його підйому на велику висоту. Найчастіше застосовувалась двоступінчата передача (див. мал. 4.11). На мал. 4.14 представлена більш досконала конструкція шатрового млина.

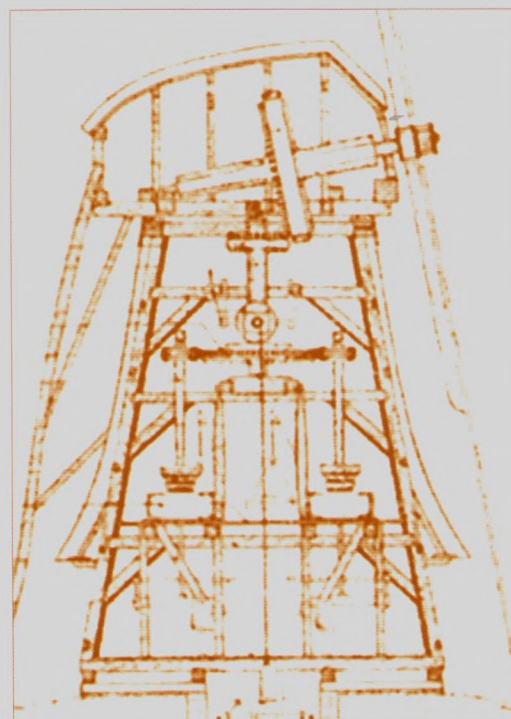
Сагайдачний тип займав проміжне положення між шатровим і козловим типами. Поворотне коло розташовувалося на половині висоти млина.

Дренажні млини, поворотна рама яких знаходилася на рівні землі, відносили до сагайдачного типу.

Швидкохідність вітряних млинів обмежувалася міцністю передачі з дерев'яними зубами коліс і цівок шестерень. Тому підвищення коефіцієнту використання енергії вітру за рахунок

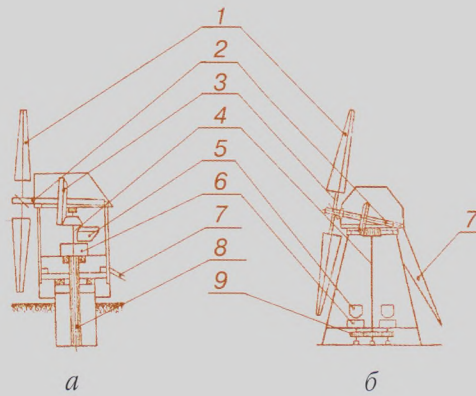


а



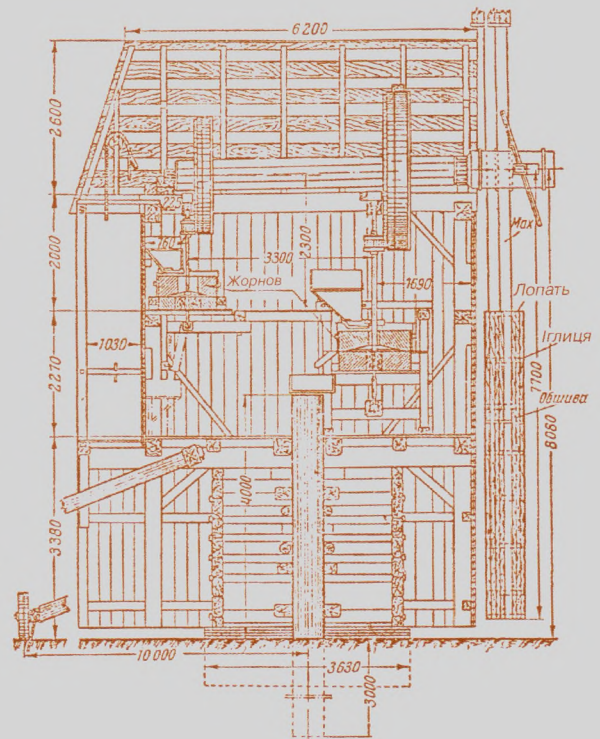
б

Мал. 4.11. Загальний вигляд (*а*) та розріз (*б*) старовинного європейського вітряного млина з двома жорнами



Мал. 4.12. Схеми козлового (а) і шатрового (б) млинів:

- 1 – вітроколесо; 2 – головний вал;
3 – одноступінчата передача; 4 – вал жорна;
5 – засипний лоток; 6 – жорно;
7 – водило; 8 – центральний стовп;
9 – двоступінчата передача



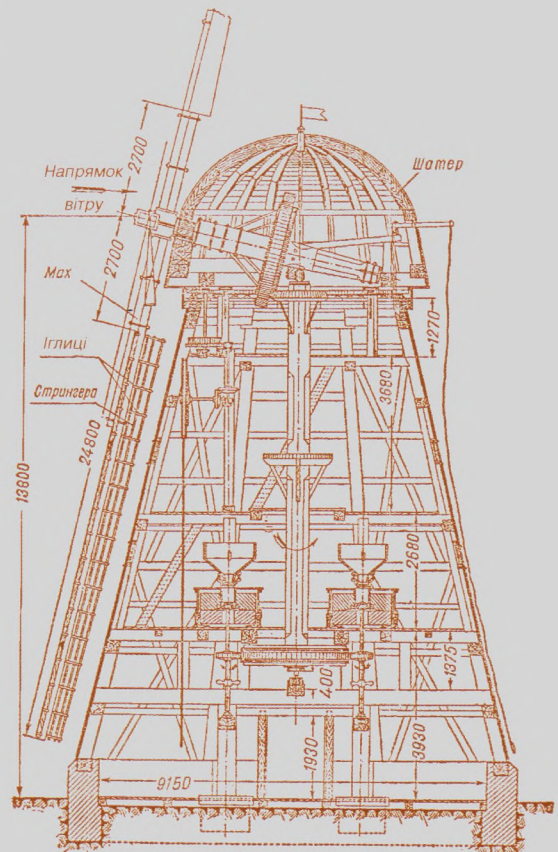
Мал. 4.13. Розріз козлового вітряного млина

збільшення швидкохідності вітрокоlesa також було обмежене. Зуби і цівки (мал.4.15) виконувалися по шаблону із сухого дерева (граб, акація, в'яз, клен або береза).

Обід колеса на головному валу робився з дошок берези або в'яза, покладених у два шари, із зовнішньої сторони оброблявся по колу і притягувався болтами до спиць. Верхній і нижній диски цівкової шестерні вертикального валу зв'язувалися з дошок товщиною 40 мм у два шари. Диски також стягувались болтами. Колесо і шестерня кріпилися клинами. Крила були основною частиною вітряних млинів, тому і розвиток останніх з моменту їх виникнення і до занепаду йшов шляхом удосконалення насамперед конструкції крил.

У старих конструкціях решітка крила покривалася парусиною. Поступово тес витиснув вітрило. Крила почали обшивати тесом (кращим був ялиновий) товщиною в 6 мм, постійною по довжині (мал. 4.16). Обшивки полотнища на вітрильному крилі, щілини, грубо пригнаний тес на дощатому крилі знижували в кілька разів підйомну силу крил, а отже, у стільки ж разів і продуктивність вітряного млина.

У найпростіших млинів крила робили з постійним кутом заклинення лопаті (від 14 до 15°). Такі крила були значно простіші у виготовленні, але коефіцієнт використання



Мал. 4.14. Розріз шатрового вітряного млина

енергії вітру в них приблизно в 1,5 рази менше, ніж у крил із гвинтовою лопаттю. У деяких шатрових млинів крила робили зі змінним кутом закінчення: на кінці від 0 до 10° і від 16 до 30° біля основи. Одна з останніх конструкцій крил з напівобтічними профілями представлена на мал. 4.17.

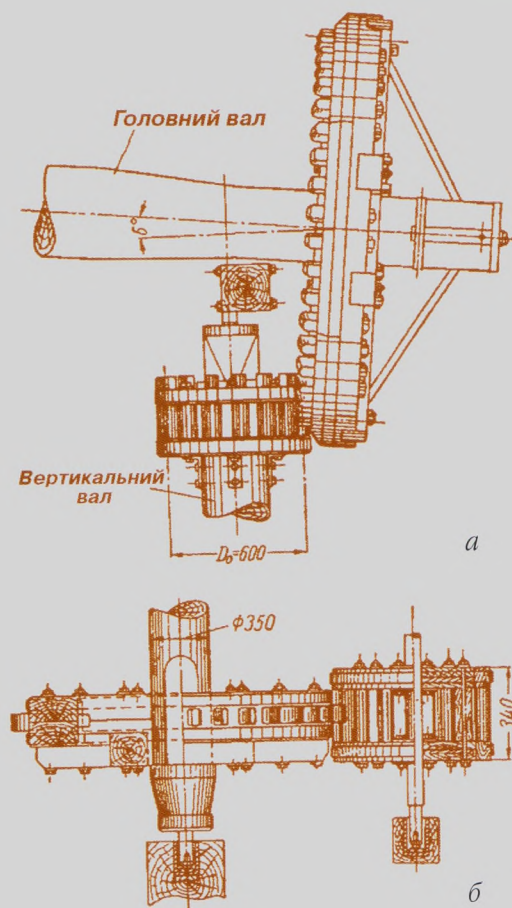
У Європі будівлі шатрових вітряних млинів до закінчення їх епохи споруджували з каменю. Загальний вигляд такого млина показано на мал. 4.18 (на задньому плані – сучасна вітрова електрична установка).

У вітряного млина з приводом до водяного насоса для зрошення земельних ділянок (мал. 4.19) найбільш старого типу, як і в зернових млинів, у випадку вітру великої сили, щоб уникнути пошкоджень, площа крил зменшувалася вручну шляхом часткового зняття вітрила (або відкриття жалюзі). За рахунок застосування вітроколеса «Геркулес» діаметром 15 м (мал. 4.20), побудованого Об'єднаним товариством вітряних турбін у Дрездені, був зроблений черговий крок до поліпшення економічності подібних установок.

Але все це тихохідні вітродвигуни, для яких характерне велике число лопатей або широкі крила (див. мал. 4.3–4.5, 4.7–4.11, 4.13, 4.14, 4.18–4.20). Їм властивий великий зрушувальний момент.

Збільшити швидкохідність вітронасосних установок вдалося з використанням вітроколеса «Адлер» фірми «Кестер» у Гольштинії (мал. 4.21, а) з малим числом лопатей і великою відстанню між ними.

Установка з цим колесом мала середню швидкохідність. Вітроколесо швидкохідного типу фірми «Аеродинамо» (Берлін) на підсмоктувальній стороні крил уже мало клапани (мал. 4.21, б) для автоматичного регулювання. У робочому стані клапани утримувалися пружиною

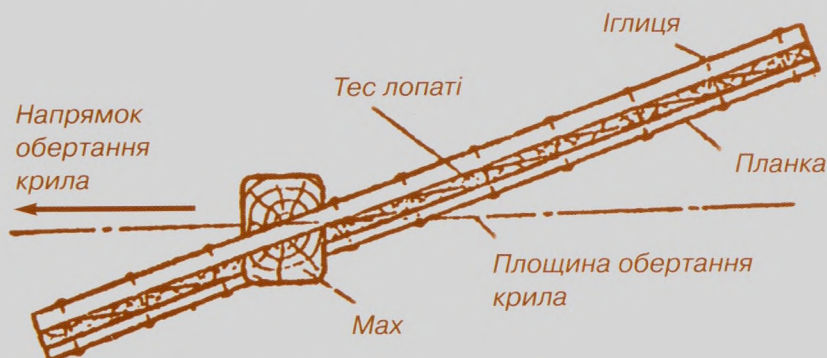


Мал. 4.15. Передачі:
а – одноступінчата верхня;
б – двоступінчата нижня

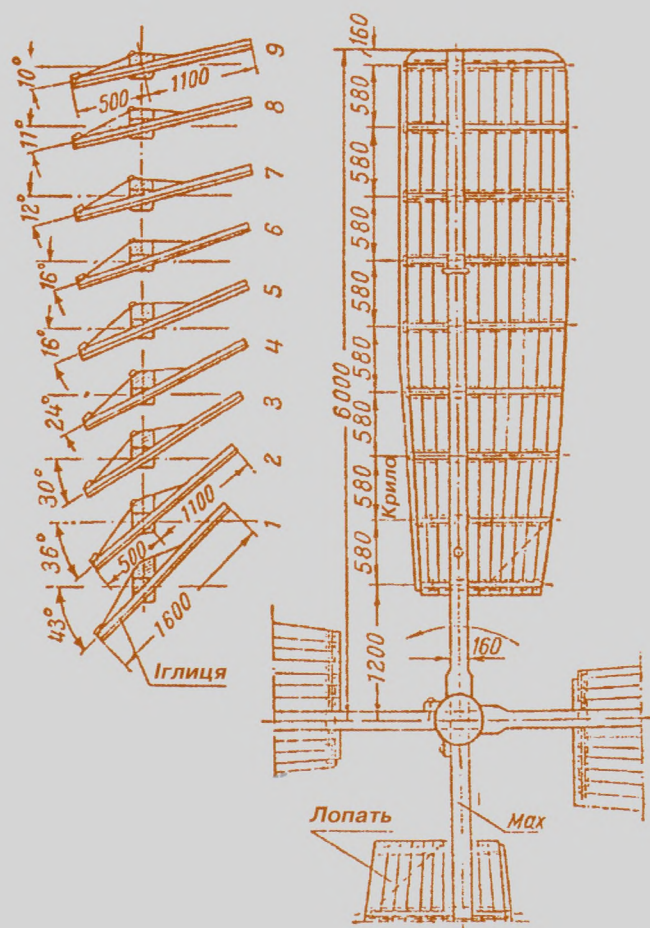
й упором у горизонтальному положенні так, що при русі крила вони не створювали значного опору.

При перевищенні певної частоти обертання під дією відцентрових сил клапани поверталися і створювали великий опір, а також значно порушували плавність потоку на крилі, так що підйомна сила крил становилася меншою, внаслідок чого вітер використовувався в меншій мірі.

Швидкохідні вітродвигуни дозволяли одержувати високі коефіцієнти використання енергії



Мал. 4.16. Обшивка крила тесом



Мал. 4.17. Конструкція крил з напівобтічними профілями

вітру і велику потужність при тих самих розмірах, мали невеликий зрушувальний момент.

На мал. 4.22 показана вітроустановка, яка качувала воду за допомогою підйомного гвинта. Вітрокоесо в неї такого ж типу, як і на

мал. 4.21. а, тієї ж фірми. Звертає на себе увагу форма профілів крил.

У XVIII–XIX століттях вітряні млини споруджувалися практично в усьому світі. Розвиток машинобудування дозволив перейти від кустарного виробництва дерев'яних млинів до виготовлення в майстернях деревометалевих масового виробництва в заводських умовах багатолопатевих вітродвигунів металевої конструкції. До кінця XIX століття вони вже були обладнані системами автоматичного регулювання швидкості обертання і потужності, механізмами фіксації вітроколеса в напрямку потоку. Сумарний річний випуск в більшості промислово розвинутих країн складав сотні тисяч вітродвигунів. Ряд країн почав у значних кількостях випускати на заводах також більш досконалі й економічні швидкохідні вітродвигуни, призначені в першу чергу для одержання електричної енергії. Ці двигуни невеликої потужності (0,75–1 кВт) звичайно виконувалися з дво- (мал. 4.23, а) або трилопатевим (мал. 4.23, б) вітроколесом крильчатого типу, з'єднаним через редуктор з генератором постійного струму. Вони забезпечувалися системою акумулювання енергії, найчастіше акумуляторною батареєю. Їх використовували в побуті для освітлення невеликих і віддалених об'єктів і для зарядки акумуляторних батарей.

Характерною є установка на вітру вітроагрегату «Беркут-3» (див. мал. 4.23, *а*) за допомогою двох віндроз на відміну від більшості аналогічних вітродвигунів, де ці функції виконує



Мал. 4.18. Кам'яний вітряний млин шатрового типу



Мал. 4.19. Німецький вітронасосний млин для зрошування земельних ділянок



Мал. 4.20. Вітронасосна установка з вітроколесом «Геркулес»

хвіст (див. мал.4.23, б, а також мал.4.8–4.10, 4.20–4.22). Механізм віндроз являє собою два невеликих вітроколеса, площина обертання яких перпендикулярна до площини обертання основного колеса, працюючих на привід черв'яка, що повертає платформу голівки вітроагрегату, поки колеса не будуть лежати в площині, паралельній напрямку вітру.

Обмеження числа оборотів у вітроагрегаті «Роралайт» здійснюється поворотом лопаті за допомогою відцентрового регулятора, змонтованого на валу вітроколеса.

Значення вітряних млинів та інших вітроагрегатів у житті людей й розвитку людської цивілізації настільки велике, що вони заслуговують не тільки точного – технічного – сухого опису, але і поезії.

Великий майстер ліричної прози К.Г. Паустовський (1892–1968) у нарисі «Ллїнський вир» залишив нам у спадщину «оду» вітряному млинові.

*«Одного разу влітку я жив у степах за Воро-
нежем. Усі дні я проводив або в здиравілому ли-
повому парку, або на млині-вітряку, що стояв
на сухому кургані.*

*Навколо вітряка росло багато шорсткого
лілового безсмертника. Тесовий дах вітряка був
наполовину зірваний повітряною хвилею в ті
дні, коли до Воронежу підходили німці.*

*Через отвір даху було видно небо. Я лягав на
глиняну теплу підлогу млина і читав романи
Ертеля або просто дивився на небо в отвір над
моєю головою.*



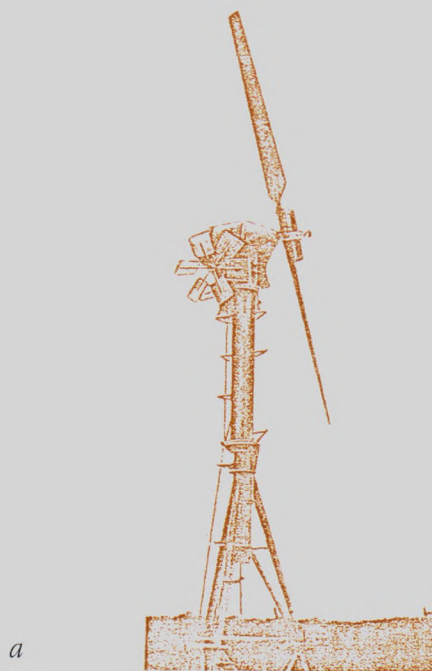
Мал. 4.21. Вітроколеса фірм «Адлер» (а) і «Аеродинамо» (б)

*У ньому безупинно виникали всі нові дуже
білі й опуклі хмари і повільною чередою пливли
на північ.*

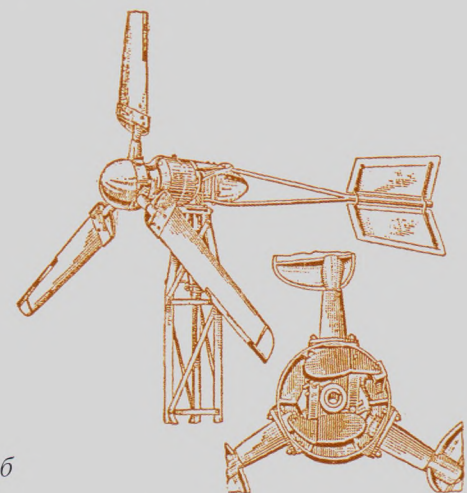
*Тихе саяво цих хмар досягало землі, проходи-
ло по моєму обличчю, і я закривав очі, щоб убе-
регти їх від різкого світла. Я розтирав на
далоні віночок чебрецю і з насолодою вдихав
його запах – сухий, цілющий і південний. І мені*



Мал. 4.22. Вітроустановка для накачування води за допомогою підйомного гвинта



а



б

Мал. 4.23. Вітроенергетичні швидкохідні агрегати:
а – радянський «Беркут-3»; б – американської фірми «Роралайт»

ввижалося, що поруч, за вітряком, уже відкрилося море, і що пахне чебрецем не степ, а його нагладжені приboями піски.

Іноді я дрімав біля жорен. Висічені з рожевого піщанику жорна переносили мою думку до часів Еллади.

Кілька років поспіль я побачив статую єгипетської цариці Нефертіті, висічену з такого ж каменю, як і жорна. Я був уражений жіночістю і ніжністю, яка містилася в цьому грубому піщанику. Геніальний скульптор витяг із серцевини каменю чудову голову трепетної і ласкавої молодшої жінки і подарував її століттям, подарував її нам, своїм далеким нащадкам, що так само як і він, шукають нетлінної краси.

А через два роки я побачив у Франції, в Провансі, знаменитий млин письменника Альфонса Доде. Колись він улаштував у ньому своє житло.

Очевидно, життя на вітряному млині, що пропахнуло борошном і старими травами, було напроцуд гарним. Особливо на нашому воронезькому млині, а не на млині Альфонса Доде. Тому що Доде жив у кам'яному млині, а наш був дерев'яний, повний миких пахоців смоли, хліба і повитиці, повний степових повівів, світла хмар, переливу жайворонків і цвірінкання якихось маленьких пташок – чи то вівсянок, чи то корольків.

Але на Іллінському вирі не було, на жаль, ні вітряного, ні водяного млина. І це дуже шкода, тому що ніщо так не пасує російському пейзажу, як ці млини. Так само, як російській селянській дівчині дуже до лиця квітчаста шовкова шаль. Від неї очі стають темнішими, губи – яскравішими і навіть голос звучить вкрадіво і ніжно».

4.5. Внесок науки у вирішення проблеми вітрокористування

Будівництво вітряних млинів на першому етапі ґрунтувалося лише на багаторічному досвіді. Майстри вчили наступні покоління не по книгах, а в ході практичної роботи. Відпрацьовуючи форми і методи випробувань своїх млинів, вони вкладали в загальну справу свій внесок, кожен успіх або невдача були прикладом для інших, сприяли поступовому нагромадженню досвіду.

У XVIII столітті в Європі зароджується машинно-фабричне виробництво. Це послужило імпульсом для розвитку науки і винахідництва, сприяло появі наукового підходу до вирішення проблеми вітровикористання.

Перехід від дослідів до теоретичних висновків відносять до початку XVIII століття. Оскільки властивості земної атмосфери впливають на рух тіл у повітрі, важливим кроком у вирішенні проблеми вітровикористання стали дослідження в галузі фізики атмосфери і метеорології, які проводив у середині цього століття великий російський учений М.В. Ломоносов. До кінця XIX століття в Росії вже функціонувала мережа метеорологічних спостережень, організатором якої був ініціатор застосування математичних і експериментальних методів у метеорології член-кореспондент Петербурзької академії наук О.В. Косовський (1846–1917). До цього ж періоду відноситься і поява в більш систематизованому вигляді теорії вітродвигуна.

Вирішальне значення для всього наступного розвитку науки і техніки мали роботи М.Є. Жуковського (1847–1921), С.О. Чаплигіна (1869–1942), Л.Прандтля (1875–1953) і багатьох інших учених-механіків з теорії крила, повітряного гвинта, пограничного шару (1904, 1905, 1910).

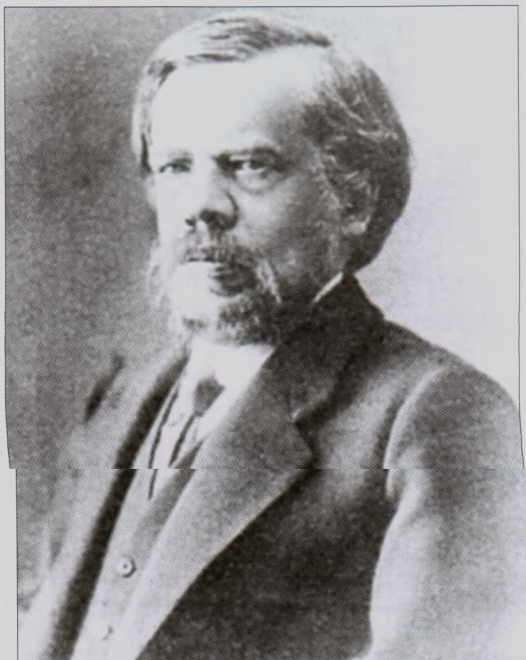
У 1905 р. М.Є. Жуковський розкрив механізм виникнення підйомної сили і вивів теорему, що визначає її кількісно, у своїй знаменитій праці «Про приєднані вихори». Цими дослідженнями були закладені основи аеродинаміки як науки.

Введення в механіку в широких масштабах дослідного (експериментального) методу – одна з великих заслуг М.Є. Жуковського. Він і К.Е. Цюлковський (1857–1935) одними з перших почали в Росії створювати аеродинамічні труби. Свою трубу, побудовану в 1897 р., К.Е. Цюлковський назвав «повітродувкою». У 1902 р. М.Є. Жуковським була побудована в Московському університеті одна з перших у Європі аеродинамічних труб всмоктуючого типу. До 1910 р. у світі працювали три перші аеродинамічні інститути – Римський, А. Цама в Америці та Кучинський у Росії.

Після появи в 1910 р. праць М.Є. Жуковського і С.О. Чаплигіна починається епоха бурхливого розвитку теорії крила. Праці



*Микола Єгорович Жуковський
(1847–1921)*



Сергій Олексійович Чаплигін (1869–1942)

М.Є. Жуковського «Про приєднані вихори» і «Про контури підтримуючих поверхонь аеропланів», С.О. Чаплигіна «Про тиск плоскопаралельного потоку на тіла, що на перешкоді» і «До загальної теорії крила моноплану» по суті містять всі основні відомості про роботу профілю крила в нестисненому газі.

Мало було досліджень, які привели б до такого бурхливого розвитку науки і знайшли б стільки послідовників, як ці роботи Жуковського і Чаплигіна, що були довгі роки в центрі аеродинаміки. Усі дослідження з теорії крила і гвинта так чи інакше пов'язані з цими роботами.

У 1912 р. видаються «Теоретичні основи

повітроплавання» М.Є. Жуковського. У них підведено підсумок численним результатам експериментальних досліджень, накопичених на той час, викладені роботи, що проводилися в російських аеродинамічних лабораторіях під керівництвом М.Є. Жуковського і у закордонних лабораторіях під керівництвом Л. Прандтля (Німеччина), Г. Ейфеля (Франція), А. Цама (США) та ін. Влітку цього ж року М.Є. Жуковський надіслав екземпляри цього видання Л. Прандтлю, Г.Ейфелю (1832–1923), С.К. Джевецькому (1843–1938), та іншим вченим. Книга була високо оцінена іноземними вченими і у 1916 р. надрукована в Парижі французькою мовою в перекладі С.К. Джевецького.

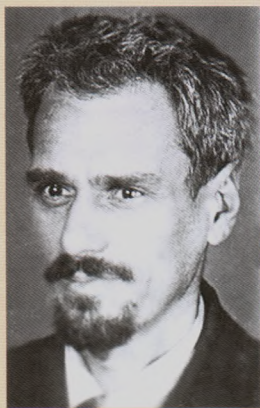
Розвиток авіації, величезний успіх якої зобов'язаний творцеві аеродинаміки, видатному російському вченому М.Є. Жуковському, забезпечив умови для вирішення по-новому теоретичних питань використання енергії вітру.

У 1914–1918 рр. М.Є. Жуковський і його учні В.П. Ветчинкін, Г.Х. Сабінін, М.В. Красовський, Г.Ф. Проскура та інші вперше створюють теорію вітродвигунів.

Теорія й випробування крила і гвинта літака застосовуються і для вивчення явищ, що відбуваються при проходженні повітряного потоку через вітрове колесо.

Теорію ідеального вітроколеса вперше розробив у 1914 р. В.П. Ветчинкін (1888–1950) на основі теорії ідеального гребного гвинта. У цій роботі він встановив поняття коефіцієнту використання енергії вітру ідеальним вітроколесом.

У 1920 р. М.Є. Жуковський виклав теорію



Юрій Васильович Кондратюк (1897–1942), він же Олександр Ігнатович Шаргей – наш співвітчизник, один із засновників теоретичної космонавтики, видатний механік та вітроенергетик, винахідник.

Народився в Полтаві в сім'ї студента Київського університету Ігнатія Шаргея і вчительки Людмили Шаргей, закінчив у 1916 р. з медаллю Другу полтавську чоловічу гімназію і в тому ж році став студентом механічного відділення Петербурзького політехнічного інституту. У тому ж році був призваний на військову службу (на курси прапорщиків одного з петербурзьких юнкерських училищ). У роки громадянської війни як офіцер царської армії був двічі силоміць мобілізований в білу армію і обидва рази дезертирує з неї. При останній втечі Шаргей втрачає всі документи, що залишилися в штабі однієї з частин денікінської армії (чим і була спричинена повна зміна імені, по батькові та прізвища).



Володимир Петрович
Ветчинкін



Микола Валентинович
Красовський



Григорій Харлампійович
Сабінін



Георгій Федорович
Проскура

Вчені, що зробили значний внесок у створення теорії і проектування вітродвигунів

«вітряного млину типу МЄЖ», де виведено коефіцієнт використання енергії вітру ідеальним вітроколесом. Аналогічні теорії були розроблені пізніше в Росії професором Г.Х. Сабініним і в Україні харківським вченим академіком АН УРСР Г.Ф. Проскурою (1876–1958).

Теорія ідеального вітроколеса М.Є. Жуковського одержала назву класичної теорії. Вона встановлює, що максимальний коефіцієнт використання енергії вітру ідеальним вітроколесом дорівнює 0,593.

Найбільш повно з погляду практичного застосування теорія ідеального вітроколеса викладена професором Г.Х. Сабініним. Відповідно до його теорії максимальний коефіцієнт використання енергії вітру вітроколесом дорівнює 0,687. Г.Х. Сабініним розроблена також теорія реального вітроколеса.

У світі було небагато вчених, що займалися аеродинамікою вітроколеса: у Німеччині – керівник Геттінгенської аеродинамічної й випробувальної лабораторії доктор Альберт Бетц, а також професор Штутгартського університету Ульріх Хюттер, у США – відомий аеродинамік Теодор фон Карман (1881–1963).

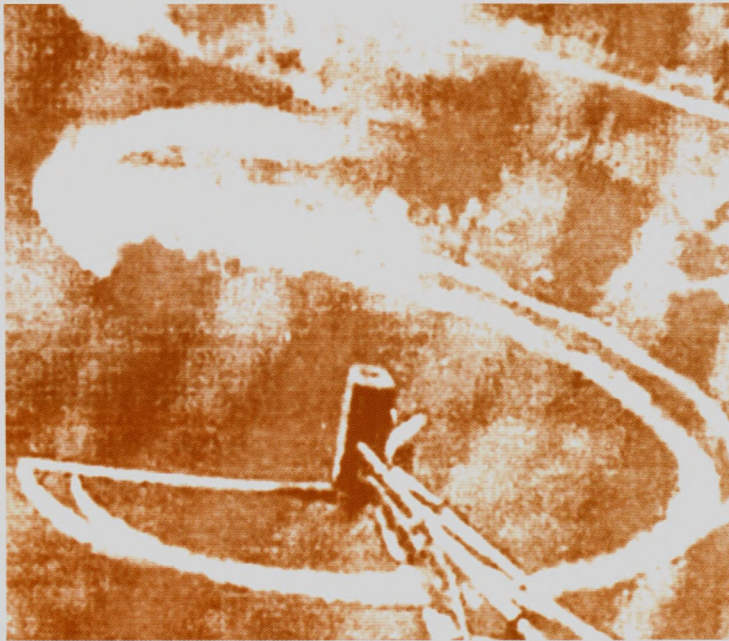
У.Хюттер запатентував кілька десятків винаходів в області вітроенергетики, опублікував кілька десятків наукових статей і доповідей. Він розробив техніку експериментів з установкою димової шашки або трасера на лопаті й перший застосував їх в дослідженнях. На кінцівку однієї з лопатей

вітроколеса встановлювалася димова шашка, яка при запуску підпалювалася електричним струмом. Спиральний димовий слід, що йшов за площину обертання, збоку фіксувався на фото-, кіно- або відеоплівку (мал. 4.24). Дешифрування знімків дозволяло судити про ефективність роботи вітроколеса в конкретні моменти часу, коли записувалась швидкість вітру, яка вимірювалась на метеовищі.

Створення теоретичних основ використання енергії вітру активізувало роботу винахідників і конструкторів. Ще до революції російський винахідник О.Г. Уфимцев, названий О.М. Горьким «поетом технічної думки», розробив проект вітрової електричної станції (ВЕС), в якій 56 вітрових електричних установок (ВЕУ) з діаметром вітроколіс по 40 м на висоті 350 м над рівнем землі при швидкості вітру 9 м/с мали виробляти енергію потужністю 100 МВт. Цей проект і в наші дні не втратив актуальності, до того ж будівельники давно вже споруджують об'єкти такої і навіть більшої висоти.

У Франції в 1925 р. і в США в 1926 р. запатентований вітродвигун Дар'є. У 1926 р. фінський інженер Савоніус сконструював роторний, або карусельний, вітродвигун. У Моравії ця конструкція була багато в чому поліпшена Антоніном Кунцем.

На початку 30-х років у СРСР вперше розроблялася ВЕС потужністю 2–25 тисяч кВт. До цього потужність таких станцій у світі не перевищувала 100 кВт. Робота мала величезне державне значення. У 1932 р. у конкурсі



Мал. 4.24. Слід димової шапки, встановленої на кінці однієї з лопатей вітроколеса

по проектуванню надпотужної ВЕС бере участь Ю.В. Кондратюк (1897–1941).

У квітні 1933 р. експертиза проектів ВЕС закінчилася перемогою ескізних проектів Ю.В. Кондратюка й Українського інституту промислової енергетики (УІПЕ, м. Харків). Одержавши напуття наркома Г.К. Орджонікідзе, Юрій Васильович приїжджає в Харків, де зі своїм колективом працює над технічним проектом ВЕС паралельно з групою УІПЕ.

Влітку 1934 р. академічна експертиза рекомендує проект Кондратюка до будівництва. Г.К. Орджонікідзе створює в Москві контору з будівництва КримВЕС, яка під науковим керівництвом Юрія Васильовича розробляє робочий проект небувалої станції. У 1936 р. почалося її будівництво на Ай-Петрі. Ю.В. Кондратюк спроектував ВЕС на 12 тис. кВт, рівної якій за потужністю немає в світі і понині. Після смерті Орджонікідзе ця робота була згорнута.

У Радянському Союзі під керівництвом професора В.М. Андріанова були теоретично розроблені і експериментально перевірені основні питання паралельної роботи ВЕС з невітровими електростанціями та енергосистемою. Під керівництвом професора Є.М. Фатеева досліджувалися основи агрегатування і методи раціональної експлуатації ВЕУ. Під керівництвом професора М.В. Красовського і доктора технічних наук Г.А. Гриневича вивчалися енергоресурси вітру.

До середини 30-х років XX століття світове співтовариство вже мало у своєму розпорядженні аеродинамічні профілі високої якості для лопатей вітроколес, установки, в яких можна було продувати різні моделі ВЕУ, ряд наукових закладів, в яких розроблялися й удосконалювалися методи розрахунку і проектування ВЕС, що було гарною основою для розвитку світової вітротехніки.

4.6. Створення перших вітроелектростанцій

На початку XX століття, коли вже існували наукові засади розвитку вітротехніки, у світі розгортається будівництво ВЕС.

ВЕС можуть бути як з однієї, так і з декількох ВЕУ, функціонально зв'язаних між собою і складаючих єдиний комплекс для виробництва електроенергії шляхом перетворення кінетичної енергії вітру в електричну.

ВЕС працюють, як правило, на загальну мережу, але можуть бути також автономними, коли живлять електроенергією відособленого споживача і не є частиною загальної енергосистеми.

Піонером в будівництві ВЕС була Данія, уряд якої ще в 1890 р. приступив до проведення широкої програми розвитку ВЕУ великої потужності. У 1910 р. було побудовано кілька сотень таких ВЕУ. Вони мали чотириохлопатові вітроколеса діаметром 23 м, установлені на вежі висотою 24 м і з'єднані механічною передачею з електричним генератором, розташованим в основі вежі. Розрахункова потужність генератору змінювалася від 5 до 25 кВт. Вартість електроенергії, виробленої цими ВЕУ, приблизно дорівнювала вартості палива, яке споживає дизельна електрична установка.

Після другої світової війни датчани розробили і випробували три експериментальні ВЕУ з установленною потужністю 12, 45 і 200 кВт, призначені для роботи в енергосистемі. Вони успішно експлуатувалися до 1960 р. Коли з'ясувалося, що вартість виробленої ними електроенергії перевищує еквівалентну вартість енергії теплового двигуна, реалізацію проекту призупинили.

Радянський Союз. Вітровикористання у СРСР розглядалося як важлива державна проблема. Вже в 1924 р. під керівництвом М.В. Красовського у відділі вітро двигунів

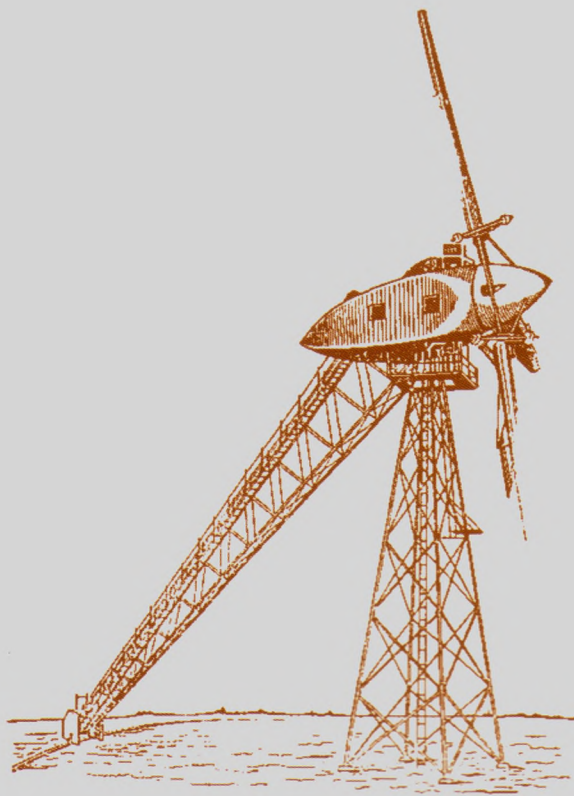
ЦАП був розроблений швидкохідний двигун потужністю до 50 кс. з новою системою регулювання частоти обертання колеса, запропонованою Г.Х. Сабініним. Вона одержала назву стабілізаторної. З метою розширення робіт зі створення вітро двигунів і використання енергії вітру в 1930 р. на базі відділу вітро двигунів ЦАП був організований Центральний вітроенергетичний інститут (ЦВЕІ), єдина у світі в той час науково-дослідна організація такого профілю.

При конструюванні ВЕУ найбільш складним і відповідальним моментом є забезпечення керування оборотами вітроколеса, тому що умови паралельної роботи на мережу вимагають сталості частоти обертання генератора незалежно від швидкості вітру. Для цього використовується поворот лопаті навколо нерухомої осі. Зі зміною положення лопаті у відношенні до напрямку вітру змінюються й аеродинамічні сили, які діють на неї, що і покладено в основу регулювання. Поворот лопатей здійснюється або аеродинамічно за допомогою керма-стабілізатора, з'єданого з відцентровим регулятором, розміщеним у крилі, що запропоновано, як сказано вище, професором Г.Х. Сабініним, або механічним шляхом – сервомоторами.

У 1931 р. була побудована Балаклавська ВЕС (мал. 4.25), яка працювала на електричну мережу напругою 6,3 кВ разом з тепловою електростанцією потужністю 20 МВт, що знаходиться від неї на відстані 32 км (у Севастополі). За своїми розмірами (діаметр вітроколеса 30 м, потужність 100 кВт при швидкості вітру 10 м/с, висота вежі 25 м, частота обертання вітроколеса 30 об/хв) ця станція не мала собі рівних ні в СРСР, ні за кордоном (у 1942 р. під час війни станцію зруйнували). Кабіна голівки (довжина 13,7,

ширина 2,5, висота 3,8 м). де розміщувалися генератор, електроапаратура, редуктор з еластичними муфтами, була виконана подібною фюзеляжу літака. Вітроколесо мало три лопаті, що вільно поверталися на своїх махах під дією стабілізаторів системи регулювання Г.Х. Сабініна і М.В. Красовського. Лопаті мали обтічний профіль, аналогічний профілю крила літака, і довжину 11 м при ширині 2 м у основи і 1 м на кінці. Махи були зроблені зі сталевих труб діаметром 350 мм.

Площина обертання вітроколеса мала нахил 12° до вертикалі, що було викликано необхідністю зменшити виліт вітроколеса щодо вежі. Голівка установки спиралася через кульову п'яту на сферу, закріплену нагорі вежі. На цій опорі верхня частина ВЕУ поверталася навколо вертикальної осі при установленні вітроколеса на вітер. Ферма голівки з'єднувалася шарнірно з похилою хвостовою фермою, на нижньому кінці якої також шарнірно був приєднаний візок з мотором і лебідкою. Хвостова ферма служила для установки вітроколеса на вітер при змінах його напрямку. Візок спирався на



Мал. 4.25. Загальний вигляд Балаклавської ВЕС на 100 кВт

рейку, покладену навколо вежі по колу радіусом 20,5 м. Візок рухався по рейці електродвигуном потужністю 1,5 кВт через черв'ячну передачу. Включення його в роботу відбувалося автоматично при зміні напрямку вітру. Для цього нагорі кабіни був установлений флюгер розміром 400×700 мм. При зміні напрямку вітру флюгер включав одну з котушок електромагнітного перемикача, що знаходився в ланцюзі електродвигуна хвостового візка. Двигун переміщав візок по рейці доти, поки вітроколесо не ставало знову проти вітру і флюгер не розмикав контакту. Підйом на вежу здійснювався по хвостовій фермі, на якій для цього були покладені сходи.

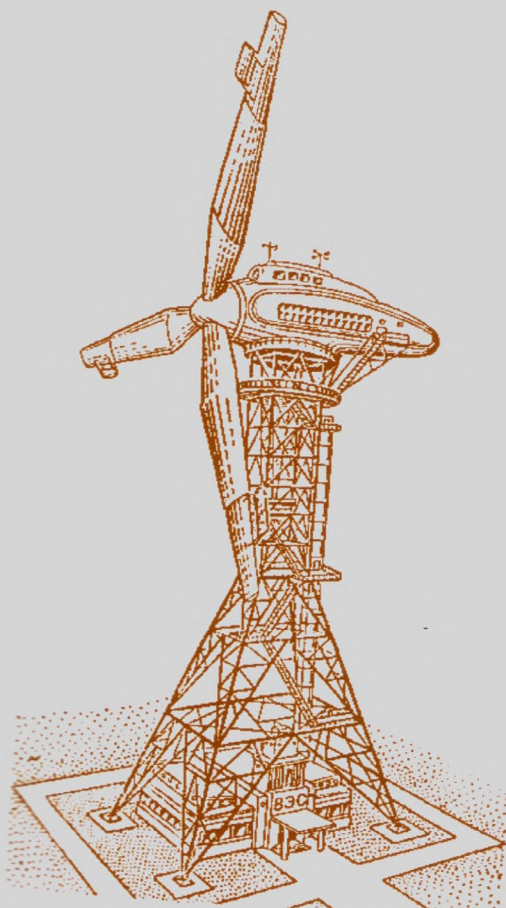
Генератор був встановлений асинхронний, трифазного струму потужністю 92 кВт при частоті обертання 600 об/хв, що допускав тривале перевантаження на 10%, який включався автоматично відцентровим механізмом.

Експлуатаційні випробування ВЕС провадилися на двох режимах: при 19 і 30 обертах вітроколеса за хвилину. При цьому виявилось, що режим роботи ВЕС на 30 об/хв значно вигідніший. Річне виробництво енергії складало близько 280 тис. кВт·год при коефіцієнті використання енергії вітру 0,32.

Наприкінці 1935 р. ЦВЕІ в Москві закінчив проект ВЕС з діаметром вітроколеса 50 м і синхронним генератором для паралельної роботи на загальну мережу (мал. 4.26). Передача обертання від валу вітроколеса до генератора здійснюється через двоступінчастий редуктор з передатним відношенням 1:25. Вітроколесо робить 24 об/хв, генератор – 600 об/хв. У кабіні вітродвигуна знаходяться генератор, гідравлічна муфта, апаратура захисту, електродвигуни пуску і зупинки. Частина електроустаткування розташована внизу під вежею на підстанції.

Потужність ВЕС дорівнює 1000 кВт при швидкості вітру 14 м/с. Вітродвигун електростанції трилопатевий, швидкохідного типу, зі стабілізаторним регулюванням, але на відміну від попередньої ВЕС повертаються тільки частини лопатей.

Установка вітроколеса на вітер здійснюється електродвигуном, змонтованим на фермі штиря в нижній частині

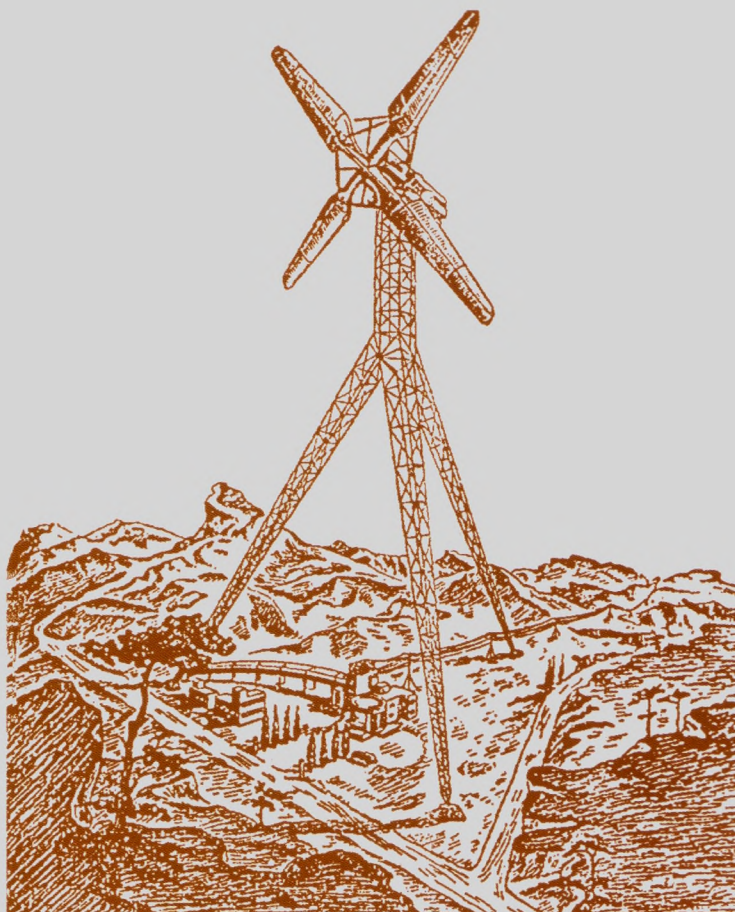


Мал. 4.26. Загальний вигляд ВЕС ЦВЕІ на 1000 кВт (проект)

кабіни. Двигун через дві черв'ячні передачі повертає голівку. На кабіні у вертикальній площині, що проходить через вісь валу, установлені вітрячки, які обертаються при змінах напрямку вітру. При цьому вони через електричну передачу включають електродвигун, що повертає голівку доти, поки вітроколесо не стане проти вітру; вітрячки в цей момент зупиняються.

Висота вежі 50 м, розміри основи 25–25 м. Для підйому на верхній балкон вежі є ліфт і запасні сходи. В основі вежі розташовано будинок, де міститься основний розподільний пристрій електричної частини.

Ще більш могутня ВЕС на 4500 кВт спроектована Українським інститутом промислової енергетики (мал. 4.27). На металевій триногій вежі висотою 150 м встановлено на катках поворотний зварний міст, що несе на собі будинок ВЕС з усіма передатними механізмами. Поворот мосту навколо осі вежі для установки вітроколеса проти вітру робиться автоматично. Вітроколесо діамет-



Мал. 4.27. Загальний вигляд ВЕС за проектом УІПЕ на 4500 кВт

ром 80 м складається з чотирьох крил суцільнометалевої конструкції. Головний вал за допомогою еластичної муфти зв'язаний із зубчастою передачею, що підвищує число обертів за хвилину з 18 до 612. Зубчаста передача приводить в обертання два генератори трифазного струму потужністю 2250 кВт кожний. Від генераторів струм через контактні кільця відводиться кабелем, що йде уздовж вежі, до розташованого внизу будинку підвищуючої підстанції. Регулювання здійснюється поворотом частини крила («відкрилка») за допомогою масляного сервомотору.

На мал. 4.28 представлено загальний вигляд вітроелектростанцій, спроектованих Ю.В. Кондратюком (О.І. Шаргеем). Дві ВЕУ розташовані на одній вежі. Кожна установка має вітроколесо діаметром 80 м з трьома (мал. 4.28, а) і чотирма (мал. 4.28, б) лопатями. При кожному вітроколесі є гідравлічний мультиплікатор, що підвищує частоту обертання з 20 до 600 об/хв, генератор трифаз-

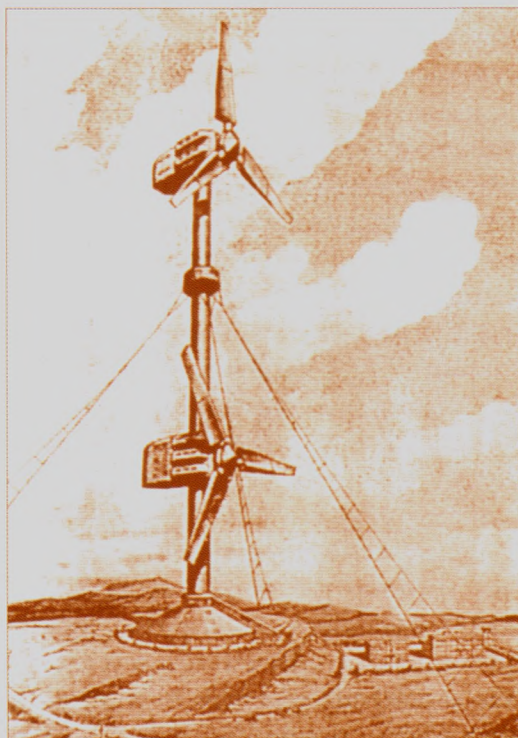
ного струму і комплекс механізмів керування і регулювання. Нижня установка знаходиться на висоті 65 м від землі, а верхня – на вершині вежі, на висоті 158 м.

Спільні для обох установок розподільний пристрій і щити знаходяться в додатковому поверсі машинного залу нижньої установки. Звідти струм напругою 6000 В по кабелях іде до основи вежі на спеціальні кільцеві струмозійомники, тому що вежа повертається на своїй основі в залежності від напрямку вітру. Зі струмозійомників струм надходить до підвищувальної підстанції, розташованої поблизу вежі на землі. Вежа являє собою залізобетонну трубу із зовнішнім діаметром 6,5 м, що містить всередині сходи і два ліфти. У вертикальному положенні вежа утримується трьома розтяжками, з восьми сталевих канатів кожна. Для розвантаження низу вежі від великих згинальних моментів, а також з метою установки вітроколес завжди проти вітру основа вежі поставлена на шарнір – гідравлічний під'ятник.

Шарнір являє собою сталевий циліндр, установлений на фундаменті й наповнений спеціальною густою мазю з віскозину і каніфолі. Зверху циліндр замикається порш-

нем, на якому і стоїть уся вежа. Спеціальна конструкція поршня дозволяє йому погойдуватися в циліндрі, не порушуючи герметичності. Мазь знаходиться під тиском близько 350 атмосфер.

З метою усунення провисання розтяжок і зменшення при цьому відхилення вежі від вертикального положення в кожній розтяжці, крім основних канатів, є підтримуючі канати, які йдуть вище і несуть на собі вагу основних канатів, дозволяючи їм завжди зберігати прямолінійну форму. Рвучкий вітер буде погойдувати вежу, що становить небезпеку внаслідок можливості виникнення декількох послідовних поштовхів вітру, синхронних власним коливанням вежі. Через те розтяжки в місці їх анкеражу забезпечені гідравлічними демпферами, які заспокоюють коливання вежі негайно ж при їх виникненні. Ствол вежі повинен повертатися, тому розтяжки і канати, що її підтримують, прикріплені до неї не безпосередньо, а через кільце візків, всередині якого вежа прокочується, спираючись на нього рейками. Вітроколеса мають лопаті, розділені кожна на дві частини – зовнішню і внутрішню. Лопаті повертаються на маху



а



б

Мал. 4.28. Загальний вигляд ВЕС за проектами Ю.В.Кондратюка (О.І. Шаргея):

а – на 10000 кВт; б – на 12000 кВт

сервомоторами, що керуються органами регулювання. Щоб уникнути перевантажень крил і вежі при рвучкому вітрі, зовнішні частини лопатей оснащені пневматичними буферами, що дозволяє їм вивертатись при різких ударах вітру і потім автоматично повертатися у нормальний стан.

У процесі роботи вітроколесо обертає корінний вал, на якому воно жорстко посаджене. Вал входить своїм кінцем всередину ствола вежі. За допомогою шарнірної муфти до однокорінного валу приєднаний двокорінний вал, що знаходиться всередині баштового ствола і закінчується фрикційною багатодисковою муфтою з гідравлічним притискачем дисків. Фрикційна муфта має запобіжне призначення, автоматично відключаючи від вітроколеса наступні ланки в аварійних випадках, що конче необхідно, якщо врахувати величезну інерцію 80-метрового вітроколеса, яке має на кінці лопаті окружну швидкість 85 м/с. За фрикційною муфтою іде розташований вже по іншу сторону ствола вежі ротативний масляний насос оригінальної конструкції, яким і закінчується ланцюг елементів, жорстко приєднаних до вітроколеса. Насос подає масло під тиском до 37 атмосфер у з'єднану безпосередньо з генератором змінного струму турбіну Пельтона, яка знаходиться на верхньому поверсі. Для відводу тепла, що виділяється в гідравлічній передачі, частина циркулюючого в системі масла проходить через спеціальний радіатор, розташований внизу на вітру в хвостовій частині машинного будинку. ВЕС починає працювати при швидкості вітру 6 м/с. При швидкості вітру 16,5 м/с вона розвиває потужність 7000 кВт, а при швидкості 20,3 м/с – свою повну потужність у 10 тис. кВт.

У 1936 р. на Ай-Петринській яйлі в Криму почалося будівництво ВЕС на 12 тисяч кВт, рівної якій за потужністю немає у світі й понині. Її потужність майже в два рази перевищувала потужність першої радянської дослідної атомної електростанції. Цей проєкт і сьогодні є предметом професійного інтересу фахівців усього світу. На жаль, після смерті куратора вітроенергетики Г.К. Орджонікідзе по вказівці зверху будівництво ВЕС при готовому її фундаменті було законсервоване.

І все-таки проєкт Ю.В. Кондратюка реалізований його учнями зі збереженням всіх основ конструкції. Принципи математичного моделювання процесів коливання 165-метрової залізобетонної вежі, розроблені Ю.В. Кондратюком, і ряд інших інженерних рішень його соратники М. Нікітін і Б. Злобін пізніше використали в проєкті та будівництві Останкінської телевежі.

Основи теорії будівництва вітряних електростанцій заклали професор В.П. Ветчинкін і винахідник О.Г. Уфімцев. Вони розробили проєкт багатоколісної вітряної електростанції. У ньому задача забезпечення потужності ВЕС вирішується не підвищенням діаметру вітроколеса, а збільшенням числа вітроколів відносно малих діаметрів, змонтованих на загальній вежі рамної конструкції.

Рама з вітроколесами монтується на ферментній поворотній вежі. До верхньої опори прикріплені розтяжки, що утримують вежу у вертикальному положенні. На рамі монтуються 12 вітроколів діаметром 20 м кожне. Сумарна потужність ВЕС близько 500 к.с. при швидкості вітру 8 м/с. Таку ж потужність може давати вітроподвигун з одним вітроколесом діаметром 70 м, але побудувати його надзвичайно важко, тоді як вітроколеса діаметром у 20 м уже застосовуються на практиці. Проєкт багатоколісної ВЕС поки ще не реалізований.

США. Як уже відзначалося, до кінця XIX століття в США було побудовано більше 8 млн. малих вітроенергоустановок, які використовувалися для вироблення електроенергії, підйому води і виконання інших робіт. Однак більшість цих установок були витиснуті починаючи з 1930 р. енергосистемою, що забезпечила централізованим енергопостачанням більшість ферм США.

Найбільш вагомий внесок у розвиток вітроенергетики США зробили створенням ВЕС «Сміт–Путнем» (Smith–Putnam).

Після тривалих досліджень впливу розмірів ВЕУ на її ефективність, проведених у 1930 р., Путнем прийшов до висновку, що для одержання мінімальної вартості виробленої електричної енергії потрібні ВЕУ великих розмірів. За участі відомого аеродинаміка Кармана він розробив ВЕУ великої потужності для роботи на загальну мережу.



Мал. 4.29. Загальний вигляд ВЕС «Сміт–Путнем»
потужністю 1250 кВт

Фірма «S.Morgan Smith Company» (м. Йорк, Пенсільванія) спроектувала і випробувала в роботі установку на початку 1940 р. ВЕУ розмістили біля міста Рутленд, в штаті Вермонт, на вершині гори Грендпас, на висоті близько 610 м над рівнем моря (мал. 4.29).

Вежа вітродвигуна ферменної конструкції має висоту 35 м і закріплена на сталевій решітці, закладений в бетонний фундамент на глибину близько 7 м. Дволопатеве вітроколесо діаметром 53 м має лопаті довжиною 20 м і шириною 3,7 м, однакові по всій довжині. Потужність, що розвивається, дорівнює 1250 кВт при швидкості вітру 14 м/с. Вітроколесо обертається зі швидкістю 28,7 об/хв. Регулювання швидкості обертання вітроколеса досягається по-

воротом лопатей навколо осі махів. Махи крил у вала закладені шарнірно так, що при поривах вітру під дією ударного навантаження вони відхиляються в напрямку вітру на 20° , тоді як відцентрові сили лопатей прагнуть тримати їх у площині обертання вітроколеса.

Установка вітроколеса по вітру здійснюється гідравлічним механізмом. Останній приводить у рух передачу, яка змонтована на фермі голівки і знаходиться в зачепленні з великим зубчастим колесом, закріпленим на верхньому вінці вежі. Включення і вимикання механізму установки на вітер здійснюються флюгером.

Зупинка вітродвигуна робиться гальмовим пристроєм з фрикційною передачею, що приводиться в рух електродвигуном.

З жовтня 1941 р. до березня 1945 р. ця ВЕС виробила 360 тис. кВт·год. Вона знаходилася в дії за цей період загалом 1030 годин, з них 838 годин установка працювала із середньою потужністю 431 кВт паралельно з електричною системою. У березні 1945 р. ВЕУ зазнала аварії: на ходу відламалася лопать вітроколеса вагою 7 т. Аварія сталася через незадовільну конструкцію системи регулювання.

Оскільки аварія відбулася під час другої світової війни, одержати необхідні матеріали і робочу силу для ремонтних робіт було неможливо. Економічні розрахунки показали, що ВЕУ у випадку її відновлення в той час не могла конкурувати з електричними установками звичайного типу. Тому від подальших робіт з ВЕУ відмовилися. Проте вітротурбіна на горі Грендпас стала важливим етапом у розвитку світової вітроенергетики.

В інших країнах світу аж до виникнення енергетичної кризи в 70-х роках ХХ століття експлуатувалися вітроенергетичні установки невеликої потужності, що ніяк не перевершують вищеописані ВЕС, які працювали або були запроектовані.

Розділ 5

Початок використання сонячної енергії та її потенціал

Сонячна енергія в її утилітарному сенсі належить до відновлювальних енергетичних ресурсів земної цивілізації. Сонячне світло не потребує видобутку і транспортування, воно невагоме, безшумне і, як правило, нешкідливе, а його утилізація не створює прямих відходів і не порушує теплової рівноваги планети. Тому принциповою відмінністю сонячної енергії від усіх традиційних енергоносіїв, які використовуються, є її бездоганність з точки зору хімічного, теплового й інших видів забруднення навколишнього середовища. Уже перераховані властивості роблять її унікальним кандидатом на головну роль в енергетичній стратегії нового тисячоліття.

Ця стратегія орієнтується на створення могутніх сонячних енергостанцій як наземного, так і космічного базування, а також на повсюдне будівництво малих сонячних модулів, які децентралізують виробництво тепла та електроенергії. Практичні кроки, які починаються успішно в більшості розвинутих країн, підтверджують її оптимальність, а тенденції сучасного розвитку світу припускають майже десятикратне збільшення масштабів використання сонячної енергії протягом кожного наступного десятиліття.

Який же мінімум знань необхідний людині XXI століття для того, щоб мати уявлення про сонячну енергію? Назвемо чотири пріоритетних напрямки. Це проникнення в історію пізнання людством Сонячної системи, знайомство з першими віхами використання сонячної енергії для потреб людей, вивчення умов, необхідних для збільшення внеску сонячного випромінювання у світовий паливно-енергетичний баланс, пізнання найсуттєвіших методів і принципів використання сонячної енергії за допомогою сонячних енергетичних установок.

5.1. Погляд в історію пізнання Сонячної системи і початок використання сонячної енергії

Протягом багатьох століть кращі розуми людства намагалися вивчити і зрозуміти життя та закони світобудови. З розвитком наукової думки йшло і пізнання Сонячної системи.

Виникнення першої моделі світобудови – геоцентричної системи світу (IV – II ст. до нової ери) – пов'язане з іменами давньо-грецьких вчених Євдокса з Книду (408–355 до н.е.), Арістотеля, Гіппарха (190–125 до н.е.). Завершальну форму геоцентричної теорії світобудови в II столітті надав Птолемей Клавдій (біля 90–168). Свою систему світу він виклав у книзі «Альмагест».

Земля в геоцентричній системі світу (грецькою «гео» – земля) вважалася нерухомим центром світу. Довкола Землі, згідно з теорією Птолемея, рівномірно і безупинно

обертаються всі небесні тіла (мал.5.1). Складні рухи планет він пояснював на основі теорії епіциклів. Кожна з планет, за думкою Птолемея, обертається довкола деякої точки. Остання у свою чергу рухається по колу, в центрі якого знаходиться Земля.

Геоцентрична система Птолемея узгоджувалася з релігійним віровченням про центральне місце Землі у Всесвіті, й тому церква протягом багатьох століть перешкоджала розвитку інших наукових уявлень про будову світу. До системи Птолемея вносилися невеликі доповнення, але основний її принцип залишався незмінним.

Лише через півтори тисячі років Микола Коперник (1473–1543) показав, що геоцентрична система світу не відображає дійсної бу-

дови Всесвіту. Правда, сумніви в справедливості цієї системи виникали і раніше. Так, у III столітті до нової ери давньогрецький вчений Арістарх Самоський (320 – біля 250 до н.е.) висунув ідею про те, що Земля рухається довкола Сонця. Однак сучасники Арістарха не прийняли його гіпотези. І тільки великий польський учений М. Коперник, який використав ідею Арістарха Самоського, перетворив його загальний філософський здогад у точну математичну теорію. У своєму знаменитому творі «Про обертання небесних сфер» (1543) М. Коперник виклав основи геліоцентричної системи світу (мал. 5.2). Земля обертається довкола своєї осі за 24 години. Цим обертанням пояснюється добовий рух зірок і всіх інших небесних світил. Земля обертається довкола Сонця і повний оборот робить за рік. Цим рухом Землі пояснюється річний рух Сонця серед сузір'їв. Усі планети також обертаються довкола Сонця, причому періоди обертання в різних планет різні. Таким чином, всякий видимий петлеподібний рух планет одержав просте і природне пояснення.

За Землею визнавалася лише роль звичайної планети, а не центру світобудови. У цьому важливе революційне значення коперникової системи світу для всього розвитку природознавства.

У наш час геліоцентрична система Коперника служить для опису Сонячної системи, а Арістарха Самоського стали називати «Коперником стародавнього світу».

Вчення Коперника зіграло величезну роль у наступному розвитку природознавства. На основі його теорії Й. Кеплером (1571–1630)

були відкриті закони руху планет, І. Ньютоном (1643–1727) – закон всесвітнього тяжіння. Геліоцентрична система стала основою для розвитку ідеї множинності населених світів, нескінченності самого Всесвіту. Вона показала можливість теоретико-експериментального пізнання світу. Тому геліоцентрична система Коперника ввійшла в історію природознавства як велика наукова революція.

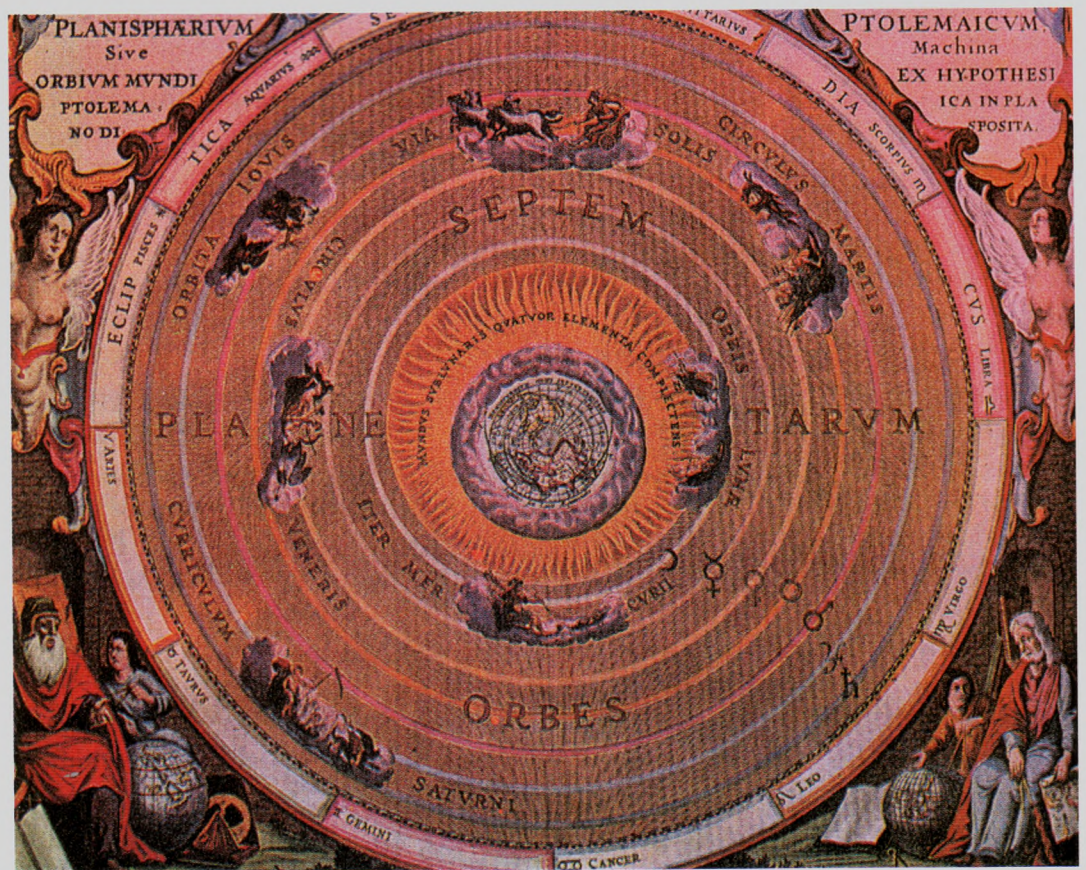
На початку XIX століття великий німецький філософ І. Кант (1724–1804) і видатний французький фізик і математик П. Лаплас (1749–1827) висунули космогонічну гіпотезу утворення тіл Сонячної системи в результаті конденсації навколосонячної газопилової хмари. Працями вчених О.Ю. Шмідта (1891–1956), Ф. Хойла, А. Камерона, Е. Шацмана й інших ця гіпотеза була розвинута і затвердилася в другій половині XX століття.

Людству дароване життєтворне благо сонячних променів. Тому не дивно, що ставлення всіх цивілізацій за всю історію людства до цього фактору нашого навколишнього середовища було дуже шанобливим. Свідчення поклоніння Сонцю і його богам знаходили по усьому світу з незапам'ятних часів (див. розділ 1).

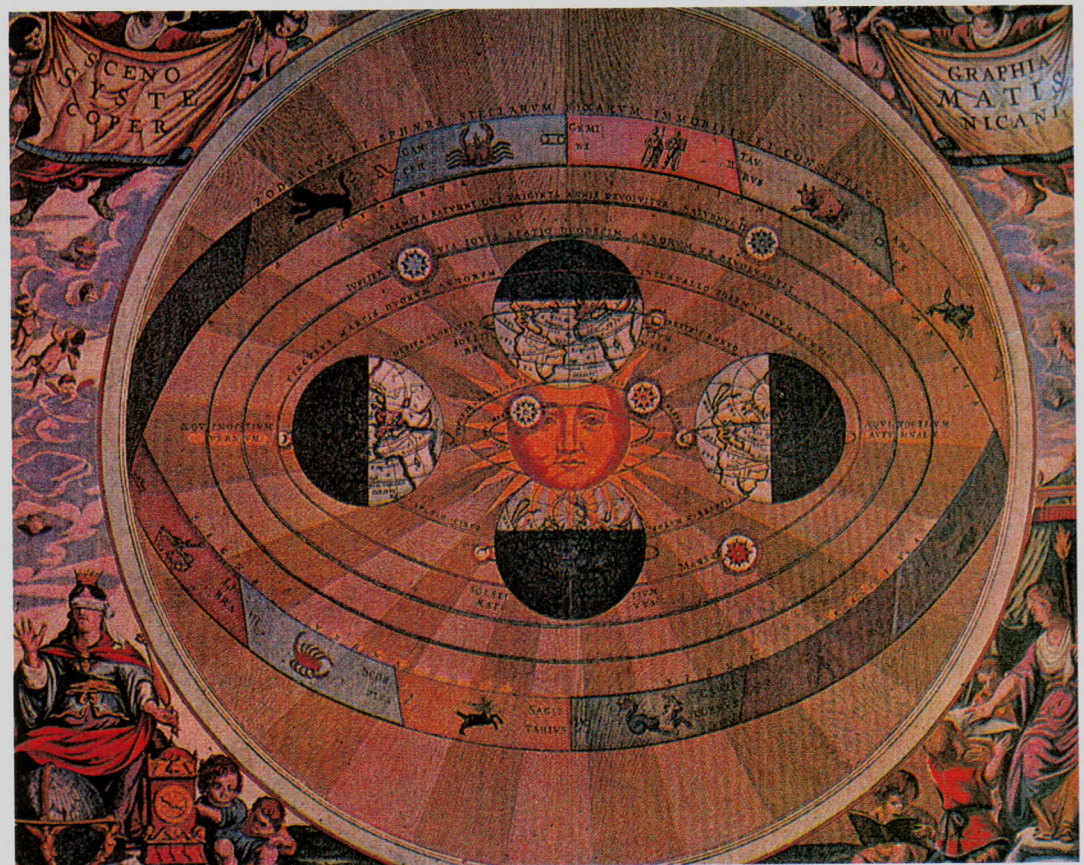
Сонячне випромінювання не тільки створює сприятливий клімат для життя людини, вона стала направляти його енергію собі на службу: для сушіння шкір тварин, з яких шили одяг, виготовлення меблів і посудин; сушіння їжі з метою тривалого її зберігання; одержання солі з води методом випарювання.

У міру того, як люди удосконалювали знаряддя праці, вони винаходили нові способи

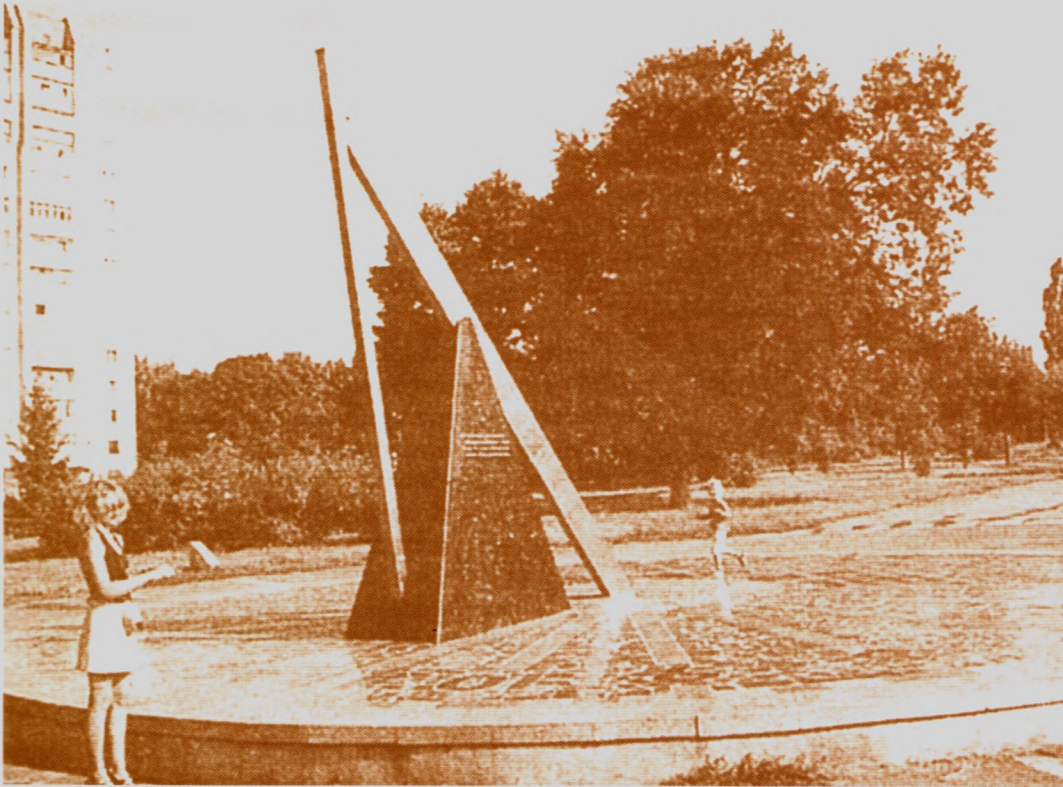
Нещодавно професор Вільгельміна Івановська, директор обсерваторії у Торуні (Польща), надрукувала статтю, де доводила, що ідея геліоцентричної системи зародилася у Коперника ще у 1491 році, а саме в роки навчання у Краковському університеті. Пізніше, коли йому доводилося бути лікарем, юристом, інженером, картографом, ідея обертання планет завжди була для Коперника не тільки об'єктом серйозних роздумів, але і математичних розрахунків. Коперник вів астрономічні спостереження і робив розрахунки протягом сорока років. І тільки після цього виклав принципи своєї теорії і передав рукопис для друку. Праця «Про обертання небесних сфер» була надрукована, але зі вступом, який викривляв головну ідею. Змінено було і назву. Тепер навіть невідомо, який заголовок дав сам Коперник своїй знаменитій книзі, бо титульний лист оригіналу зник безслідно. Деякий час праця Коперника вільно розповсюджувалася серед вчених. Тільки тоді, коли у великого польського астронома з'явилися послідовники, інквізиція схаменулась. Його вчення було оголошене ерессю, а книгу внесено до індексу заборонених видань. У «чорному списку» вона знаходилася ні мало ні багато 217 років!



Мал. 5.1. Старовинне зображення системи світу по Птолемею



Мал. 5.2. Старовинне зображення системи світу по Копернику



Мал. 5.3. Сонячний годинник у Полтаві

використання сонячного випромінювання для інших корисних цілей. Так, ще в VI столітті до нової ери у Вавилоні було винайдено сонячний годинник. Трохи пізніше такий годинник стали застосовувати в Греції, а потім і в Римі. Годинник мав циферблат і стрижень. Тінь від стрижня, яка просувалась по циферблату внаслідок руху Сонця по небу, показувала час.

Відомо, що в 212 р. до нової ери за допомогою концентрованих сонячних променів запалювали священний вогонь у храмах. Так само, згідно з легендою, видатний давньо-

грецький вчений Архімед при обороні рідних Сіракуз підпалив вітрила кораблів римського флоту.

Були винайдені навіси, що зберігають сонячне тепло взимку і укривають від жару влітку. Сонячні приміщення і теплиці пристроювали до будинків протягом багатьох тисяч років для збільшення площі будинку, що обігрівається, і продовження періоду сільгоспробіт. До VI століття солярії в будинках так поширились, що в Юстиніанському кодексі це закріплено як правило.

Цікавий опис найдавнішого годинника за-

Англійський філософ Френсіс Бекон (1561–1626), якого «Франція, Італія, Германія, Англія, Росія восприняли у вчителі й слідує наставлянням одного», автор вислову («Knowledge is power» – знання є сила), що став назвою відомого науково-популярного журналу, виступав проти Коперника і характеризував його геліоцентричну систему як «спекуляції людини, котра не турбується про те, які фікції вона вводить у природу, якщо тільки це відповідає її розрахункам».

Серед багатьох прогресивних діянь Петра I був дозвіл вивчати систему Коперника, яка раніше була заборонена церквою. Чудово розуміючи, що без правильних уявлень про будову Всесвіту не можна розвивати морську справу, цар схвалив у 1705 році видання астрономічних таблиць. У них вперше в Росії був опублікований гравірований портрет великого польського вченого. Докладно вчення Коперника було викладено в підручнику географії у 1710 р., а у 1717 р. було видано переклад книги Христіана Гюйгенса «Коперникова система».

Йоганн Вольфганг Гете (1749–1832) висловився: «серед усіх відкриттів і висловлених поглядів не було, мабуть, більш важливого й вчинившого найсильніший вплив на людські уми, ніж вчення Коперника».

лишив іспанський мандрівник чернець Веніамін з міста Тудель. У XII столітті він відвідав Дамаск, що був тоді столицею турецького князівства. У місті знаходилася велика мечеть Гоман-Даммесек, що мала високу стіну, в якій були зроблені 365 отворів. Сонце, рухаючись небосхилом, попадало своїми променями кожен годину в один з отворів, завдяки чому усі могли дізнаватися точний час по 12 горизонтальним рискам, нанесеним на підлогу біля тієї ж стіни. За словами мандрівника, подібний годинник був винайдений арабськими вченими приблизно за 400 років до його відвідування Малої Азії.

Досліджуючи земляне містечко князя Дмитра Вишневецького (ототожнюваного з Байдю – героєм українських народних пісень) на Малій Хортиці, археологи знайшли козацький сонячний годинник, що датується VI століттям. Такого типу пристрій для виміру часу називався гномом. В усьому світі їх відомо лише кілька. На Хортиці перший розкопаний гномон, ймовірно, був трофейним, скоріше всього турецьким, тому що годинник розмічено і для наших широт, і для більш південних. Другий знайдений гномон призначався тільки для наших широт. На них є дві шкали: для зимового часу з 8 позначками, для

літнього – з 16. Нічні часи, природно, випадали. Археологи вважають, що годинник виготовили з рога самі козаки.

Жителі м. Полтави свою повагу до головного небесного світила матеріалізували у відновленні найдавнішого пристосування для виміру часу – сонячного годинника. Зроблений з урахуванням усіх сучасних досягнень науки і техніки, полтавський сонячний годинник (мал. 5.3) відрізняється вишуканістю і завершеністю форми. А призначення пам'ятника, крім відліку часу, ще і нагадування нам, що всі ми – діти великого Космосу і доброго світлого Сонця.

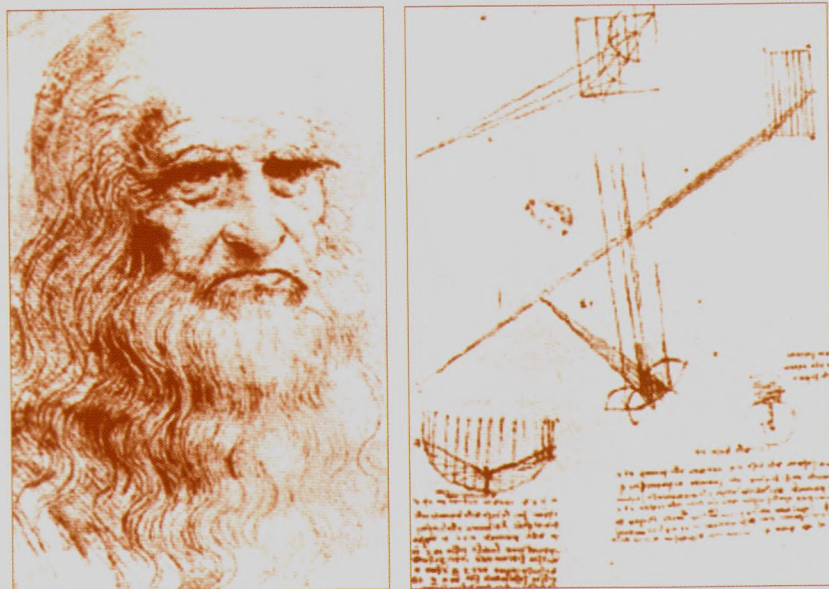
Великий італійський винахідник і художник Леонардо да Вінчі склав у 1515 р. один з перших планів застосування енергії Сонця в промисловості (мал. 5.4). У його записних книжках є малюнки декількох проектів гігантського параболічного дзеркала, «щоб забезпечити теплом будь-яку котельню на фабриці».

Перший сонячний двигун, що працював на нагрітому повітрі, був побудований у Франції в 1600 р. Його використовували для перекачування води.

Наприкінці XVIII століття видатний французький хімік А. Лавуазьє (1743–1794) створив першу сонячну піч (мал. 5.5), в якій досягалася температура у 1780°C та нагрівалися зразки досліджуваних матеріалів у вакуумі та захисній атмосфері, а також були вивчені властивості вуглецю і платини.

Швейцарський учений Гораций де Соссюр одержав визнання за винайдений ним у 1767 р. перший у світі сонячний колектор. Відомий астроном Джон Гершель використовував його для готування їжі під час експедиції в Південну Африку в 1830-х роках.

У США розвиток сонячної енергетики почався після громадянської війни. У час свого знаменитого просування на Захід американські першопрохідці залишали воду в чорних посудинах на весь день, і наприкінці дня у них була гаряча вода для готування вечері. Першим американським вченим в галузі сонячної енергетики вважається інженер Джон



Мал. 5.4. Леонардо да Вінчі й фрагмент його записних книжок

Еріксон. У 1833 р. у США він побудував сонячний повітряний двигун з параболоциліндричним концентратором розміром $4,8 \times 3,3$ м (мал. 5.6).

У 1866 р. француз А. Мушо побудував в Алжирі кілька великих сонячних концентраторів і використовував їх для дистиляції води і приводу насосів.

Перша великомасштабна установка для дистиляції води була побудована в Чилі в 1871 р. американським інженером Ч. Уїлсоном. Вона експлуатувалася протягом 30 років, постачаючи питну воду працівникам рудника.

На всесвітній виставці в Парижі в 1878 р. А. Мушо продемонстрував сонячну піч для готування їжі, в якій 0,5 кг м'яса можна було приготувати за 20 хвилин. Француз А. Піфф побудував паровий двигун потужністю 500 Вт з концентратором площею біля 10 м^2 , що приводив у дію друкарський верстат у друкарні, де видавалася газета «Ле Солей» («Сонце»).

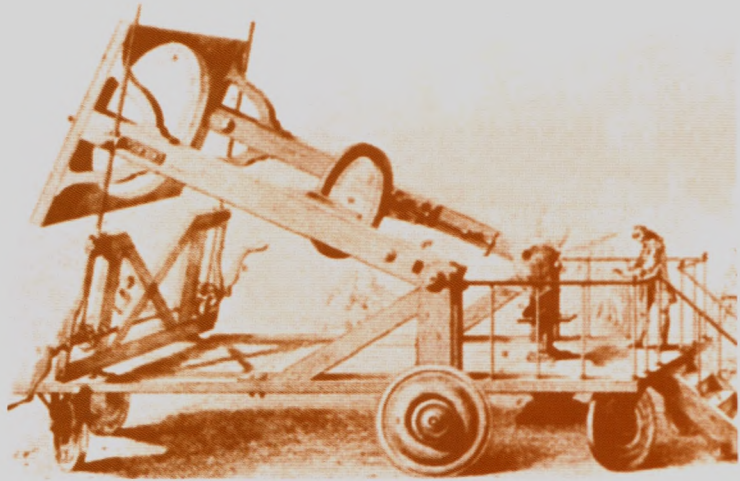
Мал. 5.7 зображує експеримент (газету «друкує» Сонце), який проводився в садах Тюільрі в Парижі ще в 1882 р. Показаний на гравюрі апарат, що давав пар, який приводив у дію друкарський верстат, фактично є предком сьогоденних сонячних парових котлів.

Перший плоский колектор сонячної енергії був побудований французом Ш.А. Тельєром. Він мав площу 20 м^2 і використовувався в тепловому двигуні, що працював на аміаку. У 1885 р. було запропоновано схему сонячної установки з плоским колектором для подачі води, причому він був змонтований на даху прибудови до будинку.

Англійський винахідник А.Г. Інеас побудував в штаті Арізона (США) великі сонячні концентратори для виробництва водяного пару тиском 10 бар, що використовувався для перекачування води з витратою до $320 \text{ м}^3/\text{год}$. Концентратор параболічної форми мав діаметр 10,2 м у верхній частині і 4,5 м унизу, 1788 дзеркал направляли промені на котел, розташований у фокусі концентратора.

У 1890 р. професор В.К. Цераський (1849–1925) у Москві здійснив процес плавлення металів сонячною енергією, сфокусованою параболоїдним дзеркалом, у фокусі якого температура перевищувала 3000°C .

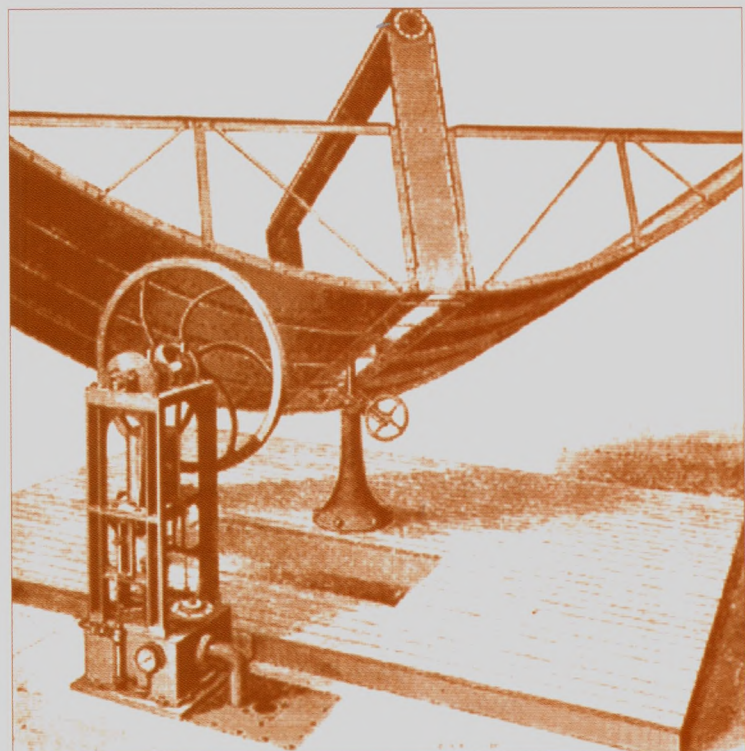
На практичну можливість використання людьми величезної енергії Сонця вказував



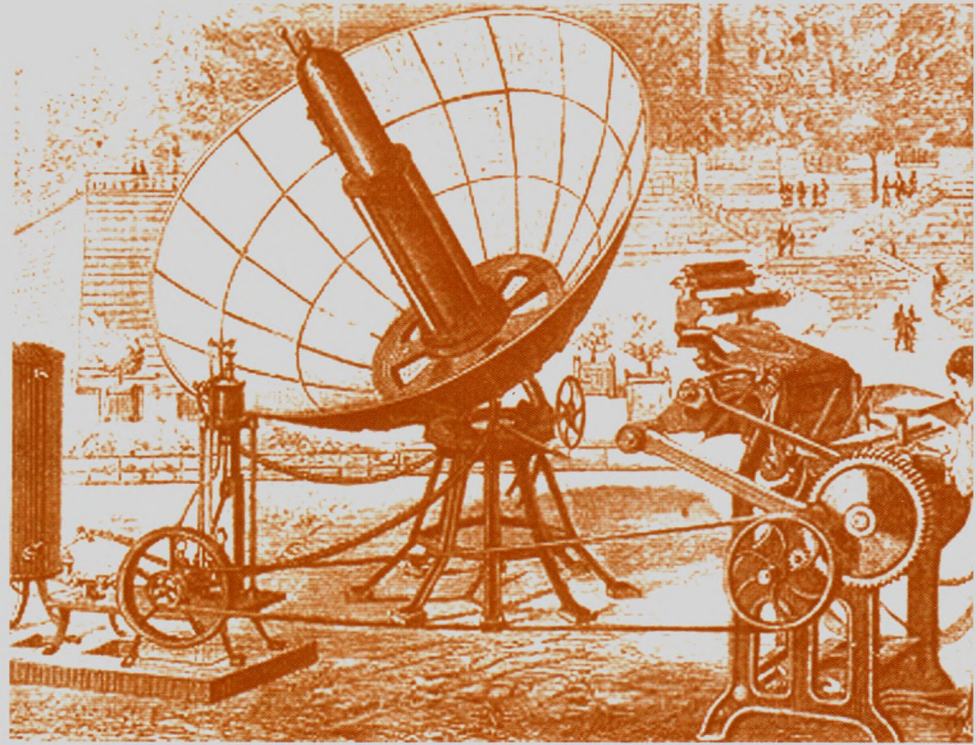
Мал. 5.5. Сонячна піч А. Лавуазьє

засновник «небесної» космічної філософії К.Е. Ціолковський у 1912 р. у другій частині своєї книги «Дослідження світових просторів реактивними приладами». Він писав: *«Реактивні прилади завоюють людям безмежні простори і дадуть сонячну енергію, у два мільярди разів більшу, чим та, яку людство має на Землі»*.

У свідомість людства внесли колосальний обсяг нових знань і понять засновники космізму В.І. Вернадський, Р. Годдард (1882–1945), Ф.А. Цандер (1887–1933),



Мал. 5.6. Концентратор Еріксона



Мал. 5.7. Предок сучасного сонячного парового котла

К.Е.Ціолковський, О.Л.Чижевський (1897–1964), Р. Ено-Пельтри (1881–1957), Ю.В. Кондратюк (О.І. Шаргей). Це був стрибок, який можна порівняти з коперниковським переворотом у світогляді.

Народилися три космічні філософії: «небесна» – К.Е. Ціолковського, «планетна» – Ф.А. Цандера і «земна» – Ю.В. Кондратюка.

Незалежно один від одного Ю.В. Кондратюк, Ф.А. Цандер, К.Е. Ціолковський прийшли до висновку щодо необхідності освоєння і обживання навколоземного простору. У цьому і полягає якісна відмінність їх космічних філософій від філософій усіх попередніх і наступних шанувальників космізму.

Наочно, доступно і точно про філософію трьох засновників космізму сказав дослідник життя і діяльності Ю.В. Кондратюка (О.І. Шаргей) Б.І. Романенко, який був інженером-конструктором НВО ім. Лавочкина: «Таким чином, «планетна» космічна філософія Цандера мертва, «небесна» ж Ціолковського передчасна, а «земній» Кондратюка варто дати «зелену вулицю».

Якщо проаналізувати космічну діяльність світового співтовариства, то можна зробити висновок, що усе йде не тільки за філософськими визначеннями нашого співвітчизника Ю.В. Кондратюка, але й у

відповідності з науково-технічними засобами реалізації цих цілей. І ніяк не по Цандеру, і тільки віддалено наближається до Ціолковського».

Ю.В. Кондратюк (О.І. Шаргей) ще на початку XX століття, вирішуючи технічні питання створення ракетно-космічної техніки, основною її метою бачив практичне використання сонячної енергії для потреб земної цивілізації. У книзі «Завоювання міжпланетних просторів» він так сформулював свою думку: «Безсумнівна можливість для людства опанувати ресурси, за допомогою яких можна буде докорінно поліпшити умови існування на земній поверхні, – провадити меліорацію її в грандіозних розмірах, здійснюючи в недалекому майбутньому справи і такого порядку, як, наприклад, зміна клімату цілих континентів.

Я кажу, звичайно, не про що інше, як про утилізацію невичерпних запасів енергії сонячного світла, яка так утруднена в умовах земної поверхні, роблячих її менш рентабельною, ніж експлуатацію палива, води і вітру, і яка, навпаки, буде незмірно рентабельніша в просторах, де відсутня атмосфера й уявна вага. Саме у можливості в найближчому ж майбутньому почати по-

Проекти, які випереджають свій час, прозорливість, сміливі та неординарні рішення дозволяють назвати Ю.В.Кондратюка (О.І. Шаргея) одним з найбільш талановитих вчених, що збагачили скарбницю світової науки. Але тільки польоти «Аполлонів» до Місяця, їх висвітлення в американській пресі змусили вітчизняну пресу приділити увагу майже забутому вченому.

справжньому господарювати на нашій планеті і варто бачити основне величезне значення для нас у завоюванні просторів Сонячної системи».

Ю.В. Кондратюк запропонував використовувати сонячну енергію за допомогою величезних легких дзеркал (мал. 5.8), які варто розгортати біля «снаряду» (ракети). Сконцентрована такими дзеркалами невичерпна енергія Сонця, на думку автора, могла б розкласти звичайну воду на водень і кисень (пальне й окислювач для ракетного двигуна), використовуватися для потреб «снаряду» і навіть Землі.

От перспективи використання дзеркал, викладені Ю.В. Кондратюком у книзі «Тим, хто буде читати, щоб будувати»:

«Припустимо, ми вміємо виробляти дешеві й легкі складні дзеркала (плоскі)! Зробимо дзеркала великого розміру і у величезній кількості (я не думаю, щоб десятина дзеркала важила більш декількох десятків пудів). Доставимо їх на ракетах і приведемо їх у такий стан, щоб вони стали земними супутниками. Розгорнемо їх там. З'єднаємо у ще більші спільними рамами (показані тут на мал. 5.9). Станемо керувати ними (повертати) якимсь чином, наприклад, поставимо у вузлах їх рам невеликі реактивні прилади, якими будемо керувати за допомогою електрики з центральної камери.

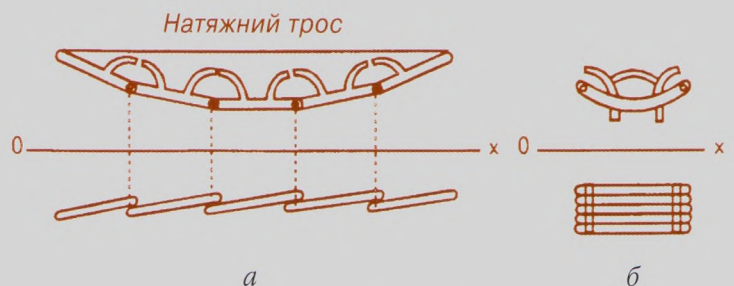
Якщо цих дзеркал будуть десятки, то можна взяти підряд на освітлення столиць. Але, якщо залучити до цього величезні кошти, якщо наробити велику кількість дзеркал і пустити їх довкола Землі так, щоб вони завжди (майже) були доступні сонячному світлу, то можна ними зігрівати частини земної поверхні, можна зігріти полюси, тундру і тайгу і зробити їх родючими. Можливо навіть, скориставшись величезними кількостями тепла, що доставляється ними, і енергії, можна було б пристосувати для життя людини яку-небудь іншу планету, видалити з неї шкідливі елементи, насадити потрібні, зігріти. Тими ж дзерка-

лами, вжитими як заслінки, можна було б і остудити що завгодно, затуляючи від нього Сонце. Нарешті, сконцентрувавши на якійсь ділянці Землі сонячне світло з площі, у кілька разів більшої, можна цю ділянку спелити. Взагалі ж з такими величезними кількостями енергії, що здатні дати дзеркала, можна здійснити найсміливіші фантазії. Саме ж для польотів вони можуть мати ще таке значення, що, спрямувавши у снаряд широкий сніп сконцентрованого світла, ми надамо йому більшу кількість енергії, ніж він міг би одержати від Сонця. Так же чином ми можемо і сигналізувати в Сонячній системі.

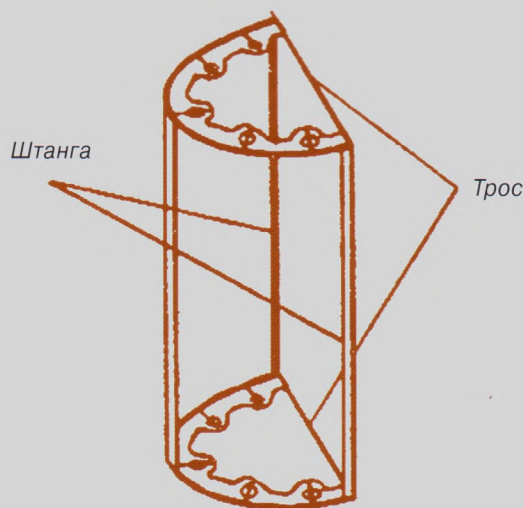
(Дзеркала ж можна вживати і як рефлектори для хвиль станції бездротового телеграфу для спрямування їх куди треба)».

М.К. Тихонравов (1900–1974) – радянський конструктор в галузі ракетно-космічної техніки, керівник розробки радянської ракети з ЖРД (1933), учасник створення перших радянських штучних супутників Землі, космічних кораблів, автоматичних міжпланетних станцій, – у творчій спадщині залишив міркування щодо використання сонячної енергії як додаткового джерела енергії для міжпланетних польотів.

У своїй праці «Шляхи використання променевої енергії для космічного польоту» (1936) він запропонував променисту енергію космічного простору трансформувати за допомогою фотоелементів в електричну, котра потім перетворюється в теплову нагріванням газу в камері ракети. Газ під тиском, викидаю-



Мал. 5.8. Рама для дзеркал, яка згортається:
а – у розгорнутому; б – у згорнутому вигляді



Мал. 5.9. Загальний вигляд рами

чись з камери через сопло, створює необхідну для руху ракети силу тяги.

Найбільш раціональним способом перетворення електричної енергії в кінетичну енергію речовини, що викидається, Михайло Клавдійович вважав розкладання молекули водню на атоми за допомогою вольтової дуги. Отриманий таким способом атомарний водень надзвичайно нестійкий і, виходячи з полю дії вольтової дуги, знову рекомбінує в молекули водню з виділенням того тепла, яке було надане йому при розкладанні. Ідеальна швидкість витікання при цьому одержується рівною 20 540 м/с. Це набагато більше, ніж при згорянні водню в кисні, з'єднанні фтору з бором, реакції водню з озоном, а ці реакції вважаються сьогодні найбільш активними.

Тихонравов робить висновок, що для міжпланетних польотів необхідно також базуватися на сторонньому джерелі енергії, яким є радіація Сонця і космічна. «Першою, без сумніву, доводиться поставити проблему фотоелемента, дозволяючого нам використовувати енергію сонячної і космічної радіації», – закінчує Михайло Клавдійович.

Цю проблему вже вирішено: сонячні батареї стали невід'ємним джерелом енергії сучасних космічних апаратів. Вперше сонячні

батареї були встановлені на третьому штучному супутнику Землі. У згаданій вище праці Тихонравов провів докладний теоретичний аналіз можливості одержання електричного струму при дії сонячних променів на фотоелемент. Займався він цією проблемою і на початку 50-х років, коли з групою співробітників виконав роботу з практичного одержання електроенергії від кремнієвих елементів. Але як поводитимуть себе напівпровідникові елементи у відкритому космосі? На це питання повинен був відповісти третій супутник.

Третій супутник було запущено 15 травня 1958 року. Тільки вага наукової апаратури з джерелами живлення складала 968 кілограмів. Супутник знаходився на орбіті 692 доби і припинив своє існування 6 квітня 1960 року. За час польоту цієї космічної лабораторії були отримані унікальні наукові дані про склад верхньої атмосфери і космічних випромінювань. З честю витримали іспит і сонячні батареї: на їх електроенергії передавачі супутника пропрацювали 12,5 тисяч годин.

Двигун, запропонований Тихонравовим, ґрунтується на частковому використанні зовнішніх ресурсів – променистої енергії космічного простору. Водень передбачається брати на борт із Землі. Але ж міжпланетне і міжзоряне середовище складаються в основному з водню, хоч і у вкрай розрідженому стані. Можливо, в майбутньому міжпланетні й зоряні кораблі скористаються ним як паливом. Уявимо зоряний корабель, що мчить з великою швидкістю. У його масозабірник діаметром кілька десятків метрів за допомогою спеціальної пастки «засмоктується» водень, а промениста енергія космічного середовища перетворює його в активне паливо. Виходить прямоточний воднереактивний двигун, що працює на ресурсах космічного простору. Саме про такі воістину захоплюючі перспективи космонавтики мріяли її піонери, серед яких був і Михайло Клавдійович Тихонравов.

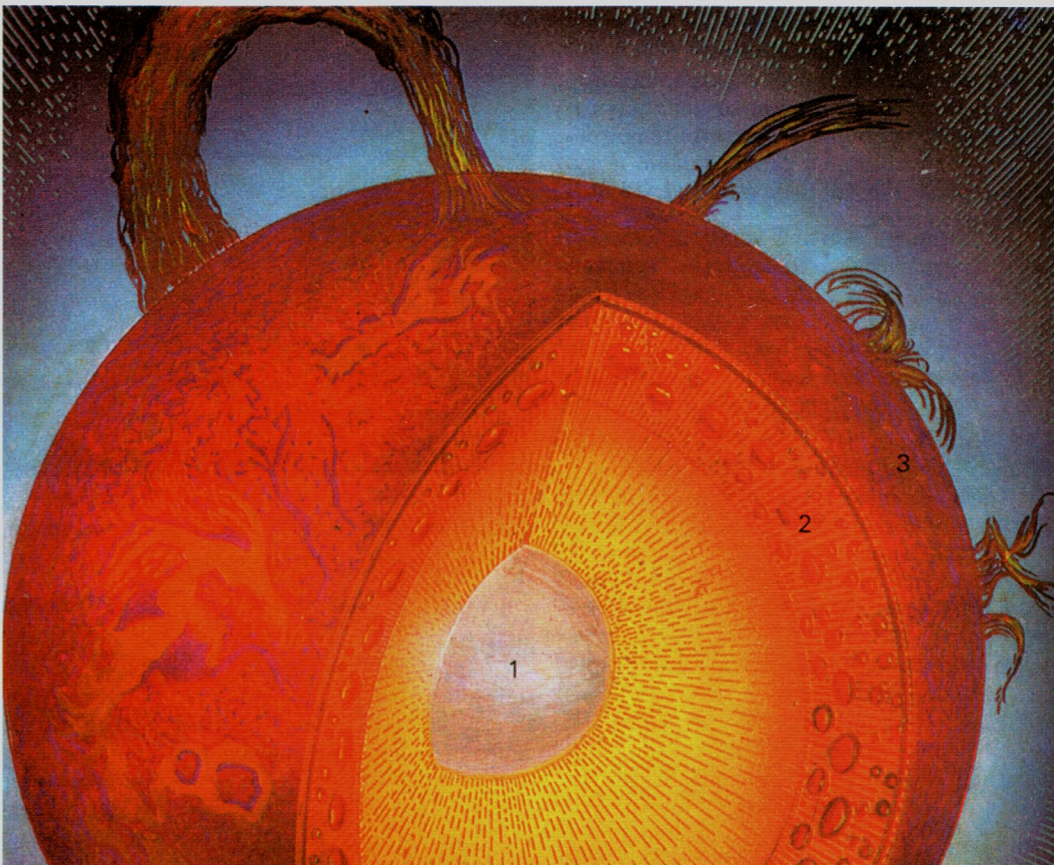
Один кілограм кремнію у фотоелектричній станції за 30 років дає електричну енергію, для виробництва якої на тепловій електростанції потрібно 75 т нафти. Саме тому кремній називають нафтою XXI сторіччя.

5.2. Потенціал сонячної енергії. Умови її ефективного використання

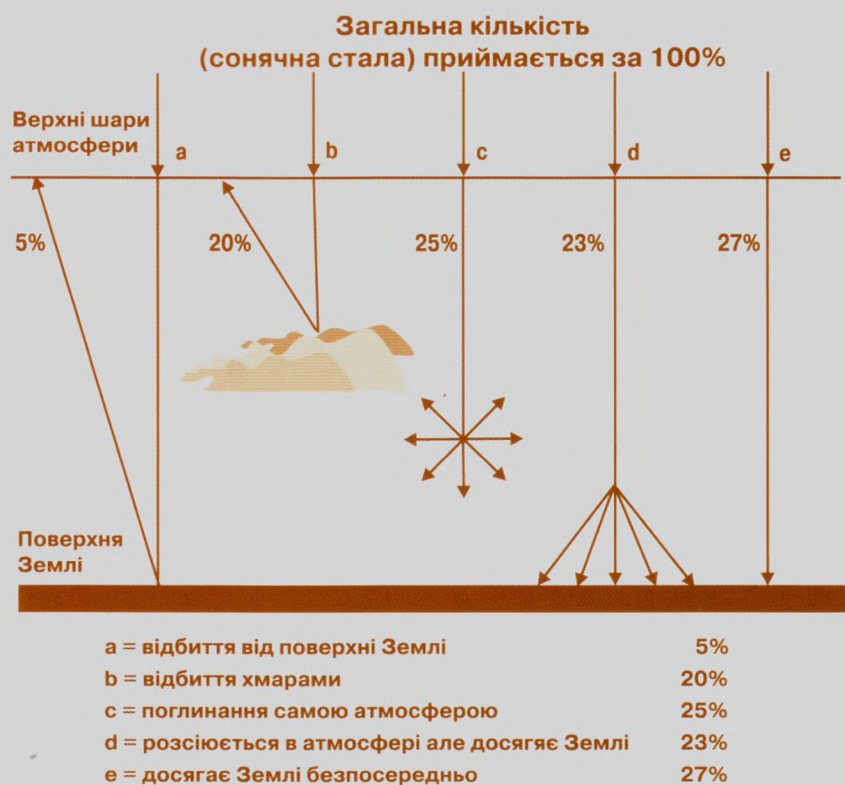
Сонце – специфічний гідродинамічний об'єкт діаметром 1 390 000 км, що утворився з хмари газу, в основному водню. Температура його надр настільки висока, що забезпечує синтез водню в гелій. Цей синтез, який відбувається в надрах Сонця, вивільнює енергію у вигляді високочастотного електромагнітного випромінювання, яке, перевипромінюючись, поступово доходить до його поверхні. Випромінювання, що в кінцевому підсумку досягає Землі, виходить з тонкого поверхневого шару Сонця, названого фотосферою (мал. 5.10).

Електромагнітне випромінювання фотосфери Сонця поширюється в космічному просторі зі швидкістю світла (300 000 км/с) у вигляді променів, що розходяться (мал. 5.11).

Потужність випромінювання Сонця ($3,8 \cdot 10^{20}$ МВт) дуже велика. Енергія, випромінювана Сонцем кожен день, є джерелом життя на Землі. Вона підтримує в газоподібному стані земну атмосферу, постійно нагріває сушу і водойми, дає енергію вітрам і водоспадам, морським течіям і хвилям, забезпечує життєдіяльність тварин і рослин.



Мал. 5.10. Схема будови Сонця:
1 – ядро; 2 – конвективна зона; 3 – фотосфера



Мал. 5.11. Проходження сонячних променів через атмосферу

Частина сонячної енергії запасена у надрах Землі у вигляді кам'яного вугілля, нафти, природного газу й інших корисних копалин. Усе це підкреслює роль Сонця як первинного джерела енергії.

Середня кількість сонячної енергії, що потрапляє в атмосферу Землі, величезна – біля 1,353 кВт/м², або 178 000 ТВт. Набагато менша її кількість досягає поверхні Землі, а частка, яку можна використовувати, ще менша. Проте, сонячна енергія і поновлювана сировина являють собою такий ресурсний потенціал, який набагато перевищує потенціал викопних ресурсів. Обсяг енергії, яка щорічно віддається Землі Сонцем, у 15 000 разів більше річного споживання атомної енергії й енергії з викопних джерел. Одній Італії воно віддає в 6 разів більше енергії, ніж використовується протягом року у всьому світі. Щорічна продуктивність фотосинтезу флори в 10 000 разів переви-

щує річну продуктивність хімічної промисловості усього світу. Це значить, що в перспективі є можливість замінити весь потенціал викопних ресурсів ресурсами сонячної енергії.

Іноді ми не цілком усвідомлюємо, що маємо справу із найбільш, може бути, феноменальним явищем природи: на нашу планету безупинно падає нескінченний потік енергії.

Ця енергія доступна всім і кожному. Її кількість практично необмежена. Вона екологічна, нічого не забруднює, нічого не порушує, ні у що не влямується згубним дисонансом (за деякими винятками). Вона дає життя всьому сущому на Землі. Більше того, ця енергія дарова. Вона розлита всюди: бери, скільки хочеш, ніяких начебто б перешкод. Поток її постійний, незалежно від того, використовуємо ми його чи ні.

Загалом можна сказати, що це ідеальна

Якби за останні тридцять років на розробку використання сонячної енергії було витрачено стільки ж сил і коштів, скільки на використання атомної енергії, то до 2000 року «сонячний струм» спроможний був би замінити «атомний». До такого висновку дійшли німецькі вчені.

Енергетична віддача Сонця рівнозначна спалюванню або перетворенню в енергію маси в кількості $4,2 \cdot 10^6$ т за секунду. Земля, яка знаходиться на відстані 150 млн. км від Сонця, одержує приблизно 2 мільярди частки його загального випромінювання. Загальна кількість сонячної енергії, що досягає поверхні Землі за рік, в 50 разів перевищує всю енергію, яку можна одержати з доведених запасів викопного палива і в 35 000 разів перевищує теперішнє щорічне споживання енергії в світі.

За тиждень на територію Росії надходить сонячна енергія, що перевищує енергію усіх російських ресурсів нафти, газу, вугілля та урану.

енергія. Тоді чому ж внесок сонячного випромінювання в паливно-енергетичний баланс усіх країн Землі незначний? Очевидно, щоб серйозно пустити його в справу і зробити цей внесок вагомим, необхідно виконати кілька головних умов.

При всіх позитивних якостях сонячної енергії її використання сьогодні є найвитратним (мал. 5.12). Отже, треба удосконалювати існуючі технології перетворення сонячної енергії з метою збільшення їх ефективності та зниження вартості.

Дуже розсіяним, нещільним потоком приходить на Землю випромінювання нашого світила. Потрібно його якимось згущати, шукати ефективні способи його концентрації.

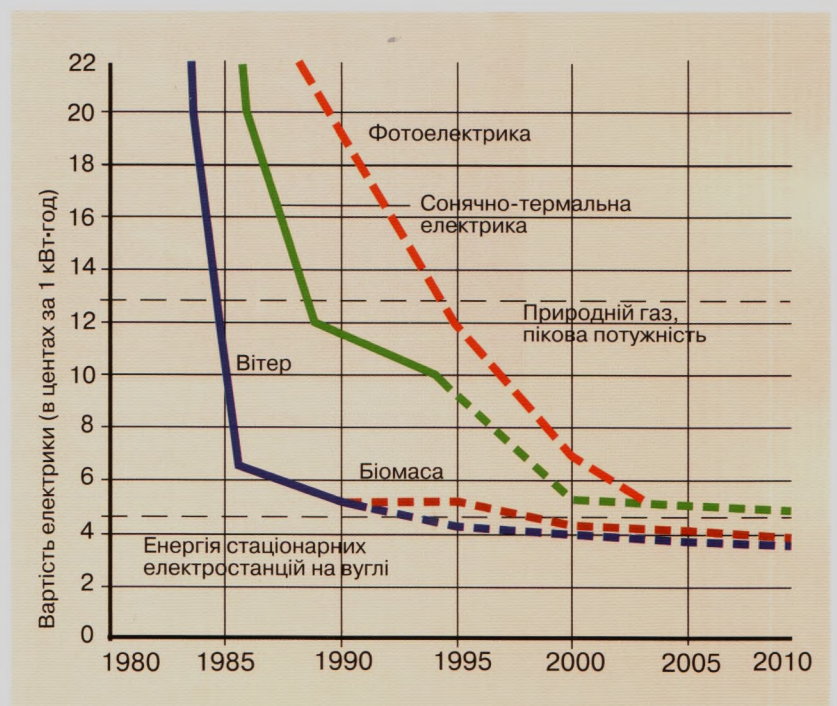
Для створення сонячних орбітальних електростанцій необхідно навчитися збирати в космосі гігантські й одночасно легкі конструкції. З панелі площею в 100 км² можна знімати потужність біля 10 мільйонів кіловатів. Треба забезпечити передачу цієї енергії на Землю, мати багаторазові транспортні засоби для доставки вантажів на орбіту.

Для одержання фотоелектрохімічних сонячних елементів, що ефективно абсорбують світло і мають прийнятні ККД, необхідно від наукових розробок перейти до промислового освоєння і комерційного застосування наноструктурних технологій.

Важлива умова використання сонячної енергії – об'єднання в одному пристрої фотогоальванічних елементів з процесом електролізу з метою одержання кисню і водню.

Сонячна енергетика відноситься до найбільш матеріаловмісних видів виробництва енергії. Великомасштабне її використання потребує розробки нових матеріалів, збільшення видобутку сировини і росту трудових ресурсів для його збагачення.

Характеризуючи потенціал сонячної енергії, не можна не сказати про сенсаційне повідомлення журналу «Examiner»: люди можуть харчуватися енергією Сонця. Так стверджує 66-річний інженер-механік з Калькутти Ратан Манег. Починаючи з 1995 р. він не споживає твердої їжі. Почуття голоду придушує, всмоктуючи очима сонячну енергію. Манег переконаний, що люди здатні змінити потреби свого організму дуже простим способом – треба дивитися на Сонце в першу частину світанку або на його заході, стоячи на землі босими ногами. Через кілька днів тренувань можна відчувати, як енергія сонячних променів проникає в тіло через очі. Головний мозок починає використовувати свої незадіяні ресурси, живлячі організм. За визнанням Манега,



Мал. 5.12. Вартість електроенергії, яка одержується у США за рахунок відновлювальних джерел енергії

сонячна енергія рятує людину не тільки від фізичних, але і від різних психічних недуг. Цей феномен уже три роки вивчає команда індійських лікарів, а нещодавно до них приєдналися американські вчені. Результати його обстеження фахівцями з Університету Томаса Джефферсона у Філадельфії показали, що індус дійсно абсолютно здоровий.

Симптоми прийдешньої катастрофи помітні в погіршенні екологічної обстановки, нестримному рості населення, посиленні політичної напруженості й в інших напрямках. Стає очевидним, що подібний некерований розвиток цивілізації продовжуватися не може.

Одна з найголовніших задач нового століття – зменшити техногенний вплив на клімат Землі. При цьому альтернатива – со-

нячна енергетика. Сонячні (як наземні, так і космічні) електростанції, сонячні й термальні батареї, сонячні ставки, геліохімія, сонячно-воднева енергетика, сонячні тепловитрані електростанції, системи біоконверсії – це лише найбільш яскраві віхи, штрихи, окремі риси того сценарію, який пишеться на наших очах і який можна назвати завтрашнім днем енергетики.

До цього дня шлях довгий, непростий і тернистий. Але в людства немає іншого вибору. Сонячна енергія з точки зору екології дійсно ідеальна, оскільки не порушує рівновагу в природі. Тому зусилля світового співтовариства, задачі міжнародного співробітництва повинні бути сконцентровані та спрямовані на якнайшвидше подолання цього шляху до ери енергетичного достатку.



Системи сонячних електростанцій завдяки своєму к.к.д. матимуть у майбутньому широке комерційне використання

7.1. Історія відкриття та використання викопного вугілля та його походження

7.1.1. Історія відкриття та використання викопного вугілля

Періоди накопичення та активного використання викопного вугілля не порівнянні з періодом існування людства. Вік вугільних родовищ, що накопичувалися протягом мільйонів років, становить десятки та сотні мільйонів років; активне використання вугілля почалося менш ніж 270 років тому. За теперішніх темпів вуглевидобутку розвіданих запасів вугілля вистачить приблизно на 500 років.

Горюче каміння – викопне кам'яне вугілля – було відоме ще в давнину. Примитивний видобуток вугілля здійснювався в стародавньому Китаї та античній Греції, де його використовували як паливо. Давньоримські вілли опалювались вугіллям родовищ Греції та Італії. Хоча старогрецький філософ Арістотель порівнював деякі властивості деревного та викопного вугілля, багато віків існувала думка про мінеральне походження викопного вугілля. Так, у 315 році до нашої ери учень Арістотеля Теофраст називав його «камінням, що горить», – «антраксом» (звідки і з'явилася назва «антрацит»). У XVI столітті нашої ери лікар і алхімік Парацельс розглядав природне вугілля як «каміння, яке змінене дією вулканічного вогню», а природознавець Агрікола (мал. 7.1) говорив, що кам'яне вугілля – це нафта, що затверділа.

Російський вчений М.В. Ломоносов у своєму трактаті «Про шари земні» (1763) висунув гіпотезу про походження викопного вугілля з торфу, а торфу – зі скупчень залишків рослин на дні боліт. Органічне походження викопного вугілля було остаточно доведене лише у XIX столітті шляхом мікро-

скопичних досліджень, що виявили у структурі вугільної речовини обвуглені чи частково розкладені залишки рослинних тканин, зерняток смоли, насіння, спор.

На всіх континентах Землі та більшості островів Світового океану існують родовища вугілля. Відкриття кожного з них має свою історію.

Про видобування та використання кам'яного вугілля в Україні існують різні відомості. Так, при геологічних дослідженнях були виявлені відвали старовинної розробки вугілля в районі м. Бахмут (зараз м. Артемівськ), які свідчать, що вже у IX–X ст. місцеве населення видобувало і використовувало його як паливо при виробництві різних предметів побуту.

У Західній Європі вугілля почало використовуватись пізніше. До XVII ст. для виплавки металу застосовувалося винятково деревне вугілля. Бурхливий розвиток мета-



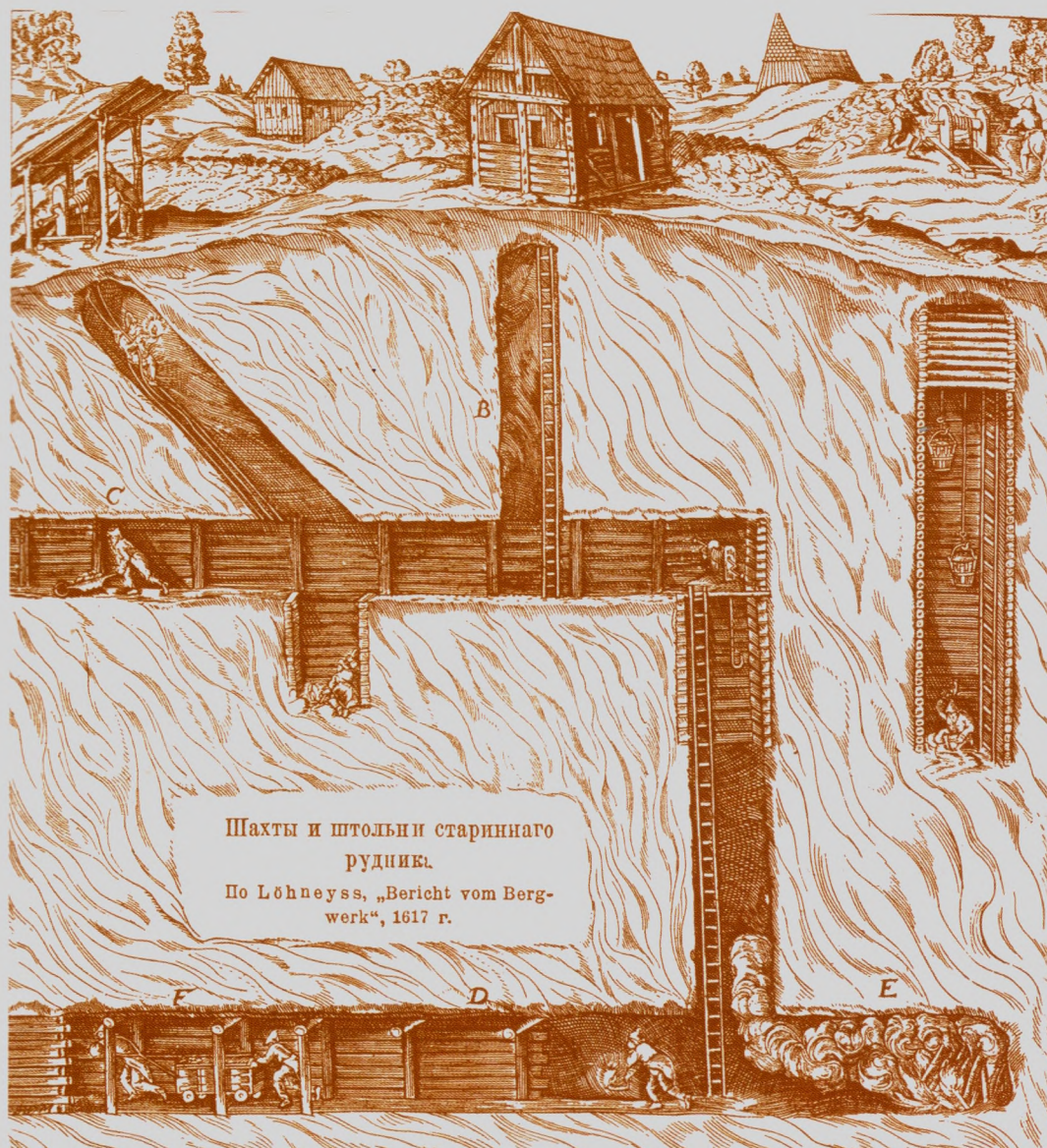
Мал. 7.1. Георг Агрікола

Георг Аґрікола (Agricola) (1494–1555), справжнє прізвище Бауер (Bauer), – німецький вчений в області геології, гірничої справи та металургії, природознавець. У 1527–1530 рр. він працював в Санкт-Іоакімсталі (Богемія) лікарем та аптекарем. Там він ознайомився з гірничим пробірним аналізом і технікою плавки, набув широких знань з мінералогії, геології, гірничої справи та металургії. У 1530 р. Г. Аґрікола опублікував свою першу написану латинською мовою книгу «Берманнус. Розмова про гірничу справу», в якій мова йшла переважно про гірниче добування срібла та «досвід роботи з мінералами». У наступній науковій праці Аґріколи розповідається в основному про розробку рудних родовищ, виплавку металу, видобуток солі та гірничі машини. Ця монографія, яка складається з 12 книг, вийшла в світ у 1556 р., через декілька місяців після його смерті, під назвою «Про гірничу справу та металургію» (De re metallica, libri XII).

Більш двохсот років цей труд з гірничої справи, багато ілюстрований чудовими малюнками (див., наприклад, мал. 7.2) – майже три сотні гравюр на дереві, – був основним підручником для гірників і металургів.

лургії в XVIII ст. вимагав більшої кількості палива, тому запаси промислової деревини

різко скорочувались. Заміною деревному вугіллю могло стати викопне вугілля.



Мал. 7.2. Шахти та штольні старовинного рудника