

**Бучинський М.Я., Горик О.В.,  
Чернявський А.М., Яхін С.В.**

# **ОСНОВИ ТВОРЕННЯ МАШИН**

**Підручник**

За редакцією О.В.Горика, доктора технічних наук, професора,  
заслуженого працівника народної освіти України

Київ  
Видавництво Ліра-К  
2020

УДК 621.01

РЕЦЕНЗЕНТИ:

---

**Білецький В.С.,** доктор технічних наук, професор, **Національний технічний університет «Харківський Політехнічний Інститут»;**  
**Шупіков О.М.,** доктор технічних наук, професор, **Інститут проблем машинобудування імені А. М. Підгорного НАН України;**  
**Шваб'юк В.І.,** доктор технічних наук, професор, **Луцький національний технічний університет.**

---

*Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Полтавської державної аграрної академії (протокол №3 від 29 листопада 2016р.)*

**Бучинський М.Я.**

**ОСНОВИ ТВОРЕННЯ МАШИН : підручник /** М.Я. Бучинський, О.В. Горик, А.М. Чернявський, С.В. Яхін ; за ред. О.В. Горика. Київ : Видавництво Ліра-К, 2020. — 448 с. : 52 іл.

ISBN 978-617-7910-89-2

Підручник спрямований на розвиток творчого мислення та професійної компетентності здобувачів вищої освіти з метою втілення науково-технічних ідей в реальні конструкції машин, впровадження нових технічних рішень у виробництво. В основу висвітлення алгоритму творення машин покладено історичний досвід появи перших об'єктів техніки й сучасні принципи розвитку машинобудування. Звернуто увагу на основи інженерної творчості, правила творення нової техніки та основи проектно-конструкторської діяльності. Розділи, присвячені приводу і механізмам передачі руху та різним конструкційним матеріалам логічно доповнюють цілісність викладення матеріалу. Не залишилися поза увагою й питання технічної експлуатації машин. Наведено приклади творення машин, які висвітлюють практичний хід інженерної думки при творенні нового.

Підручник розрахований на здобувачів вищої освіти механічних спеціальностей вищих навчальних закладів, які вивчають за скороченими програмами курси «Основи творення машин», «Основи створення нової техніки», «Теорія і технологія наукових досліджень», «Філософія техніки», «Теорія технічних систем», «Основи технічної творчості» та інші, що пов'язані із творенням нових машин, а також для практичного використання в інженерній діяльності.

**УДК 621.01**

ISBN 978-617-7910-89-2

© Колектив авторів, 2020

© Видавництво Ліра-К, 2020

ЗМІСТ

<b>ПЕРЕДМОВА</b> .....	3
<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>1 ІСТОРИЧНІ ФРАГМЕНТИ ТВОРЕННЯ МАШИН</b> .....	9
<b>1.1 ЗАРОДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ</b> .....	10
<b>1.2 ЗАРОДЖЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ТЕПЛОВИХ ЯВИЩ</b> .....	22
<b>1.3 ТЕНДЕНЦІЇ СУЧАСНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ</b> .....	25
<i>верстатобудування; сільськогосподарське машинобудування; хімічне машинобудування; електротехнічне машинобудування; зварювальне обладнання</i>	
<b>2 ТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ</b> .....	40
<b>2.1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА СТРУКТУРА</b> .....	40
<b>2.2 РОЗВИТОК ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ</b> .....	46
<b>2.3 ПРИНЦИПИ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ</b> .....	51
<i>принцип вдосконалення конструкції; принцип прогресивної еволюції; принцип поступального руху; принцип відповідності; принцип стадійного розвитку; принцип кореляції параметрів; принцип симетрії; принцип створення похідних; принцип блочно-модульної побудови; принцип стимулювання розвитку; принцип створення та впровадження; принцип прагнення</i>	
<b>2.4 МАТЕРІАЛІЗАЦІЯ НАУКОВИХ ІДЕЙ</b> .....	59
<i>п'ять кроків пошуку нового; погляд в минуле; послідовність процесу матеріалізації; критерії працездатності; технічні розрахунки</i>	
<b>3 ІНЖЕНЕРНА ТВОРЧІСТЬ</b> .....	71
<b>3.1 ТЕХНІЧНІ ПРОБЛЕМИ Й ЗАДАЧІ ТА ТЕХНІЧНІ ПРОТИРІЧЧЯ</b> .....	73
<b>3.2 МЕТОДИ ІНЖЕНЕРНОГО ТВОРЕННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ</b> .....	76
<i>системні методи; асоціативні методи; алгоритмічні методи; принципи усунення технічних протиріч</i>	
<b>3.3 ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ</b> .....	101
<i>постановка задачі; передумови побудови моделей; отримання та обробка результатів; оптимізація результатів; представлення та подача результатів</i>	
<b>3.4 ОСНОВИ ІНЖЕНЕРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ</b> .....	109
<i>теоретичні аспекти оптимізації; приклад оптимізації об'єкту</i>	

<b>3.5 ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ</b> .....	113
<i>загальні відомості; альтернативи в інженерних рішеннях; визначальні фактори в прийнятті рішень; порядок прийняття рішень</i>	
<b>3.6 МЕТОДИ АНАЛОГІЙ В МЕХАНІЦІ</b> .....	117
<i>фізичні аналогії; електромеханічні аналогії; рівняння Лагранжа-Максвела</i>	
<b>3.7 МОДЕЛЮВАННЯ В ІНЖЕНЕРНІЙ ТВОРЧОСТІ</b> .....	128
<i>принципи створення моделей; фізичне моделювання</i>	
<b>4 КОНЦЕПЦІЯ ТВОРЕННЯ НОВОЇ ТЕХНІКИ</b> .....	135
<b>4.1 ЗАСАДИ ТВОРЕННЯ</b> .....	136
<i>умови для творення нової техніки; інформаційний та техніко-економічний аналіз; правила успішного освоєння нової техніки</i>	
<b>4.2 ЕТАПИ ТВОРЕННЯ</b> .....	140
<i>зародження технічного рішення; підготовчі роботи; розробка конструкції; виготовлення дослідного зразка та його випробування; організація серійного виробництва</i>	
<b>4.3 ПОШУК НОВИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ</b> .....	146
<i>підходи до прийняття рішення; шляхи пошуку рішення; оцінка технічного рішення; перевірка технічного рішення</i>	
<b>4.4 ПРИКЛАДНІ ДОСЛІДЖЕННЯ</b> .....	155
<i>послідовність проведення досліджень; натурні випробування; підготовка експерименту; планування експерименту; обробка результатів експерименту</i>	
<b>4.5 ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МАШИН</b> .....	168
<i>покращення основних характеристик машин; удосконалення конструкції механізмів та технології їх виготовлення; створення похідних машин</i>	
<b>4.6 ТЕХНІЧНИЙ РІВЕНЬ МАШИН І АПАРАТІВ</b> .....	176
<i>номенклатура показників якості; оцінка технічного рівня та якості продукції; техніко-економічні показники машин</i>	
<b>5 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ВЛАСНІСТЬ</b> .....	183
<b>5.1 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ВЛАСНІСТЬ В ІННОВАЦІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ</b> .....	184
<i>роль інтелектуальної власності в інноваційній діяльності; управління інтелектуальною власністю; патентно-інформаційне забезпечення та патентна чистота; підтвердження конкурентоздатності машини</i>	
<b>5.2 НАУКОВО-ТЕХНІЧНА ПРОДУКЦІЯ</b> .....	188
<i>відкриття; винахід; корисна модель; раціоналізаторська пропозиція; промисловий зразок; товарний знак; ноу-хау; інжиніринг; комерційна реалізація об'єктів інтелектуальної власності</i>	

<b>5.3 ПАТЕНТУВАННЯ</b> .....	194
<i>рівні винаходів та їх патентоспроможність; процедура отримання патенту; опис винаходу; формула винаходу; патентний пошук; патентна класифікація; права власника патенту</i>	
<b>5.4 ІНФОРМАЦІЙНИЙ ПОШУК</b> .....	201
<i>процес і види інформаційного пошуку; завдання інформаційного пошуку; Інтернет-ресурси для патентного пошуку</i>	
<b>6 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ</b> .....	209
<b>6.1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ</b> .....	209
<i>загальні відомості; види виробів; види конструкторських документів; стадії розробки проектно-конструкторської документації; монтажна, експлуатаційна та ремонтна документація</i>	
<b>6.2 ЗАСАДИ КОНСТРУЮВАННЯ</b> .....	227
<i>задачі і правила конструювання; скорочення номенклатури машин; принципи конструювання; конструювання складальних одиниць</i>	
<b>6.3 СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ В МАШИНОБУДУВАННІ</b> .....	241
<i>автоматизація конструкторської діяльності; основні функції та проектні процедури; програмне забезпечення</i>	
<b>6.4 ОСНОВИ ЕРГОНОМІКИ</b> .....	253
<i>ергономічні показники; умови праці; система «людина-машина»; людино-машинний інтерфейс; функціональне фарбування в машинобудуванні</i>	
<b>6.5 СКЛАДАННЯ МАШИН</b> .....	261
<i>вихідні дані та аналіз підготовки до складання машин; розроблення технології складання; технологічність конструкції машин при складанні; класифікація з'єднань у машинобудуванні</i>	
<b>6.6 ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ ВИРОБУ</b> .....	268
<i>основні показники технологічності; технологічний контроль конструкторської документації; технологічність конструкції деталі, що обробляється різанням; технологічність конструкції складальної одиниці; експлуатаційна та ремонтна технологічність конструкції виробу</i>	
<b>7 ПРИВОДИ, МЕХАНІЗМИ ПЕРЕДАВАННЯ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ РУХУ</b> .....	273
<b>7.1 ПРИВОДИ МАШИН</b> .....	273
<i>загальні відомості про привод; розробка приводу машин</i>	
<b>7.2 ПОРІВНЯННЯ ПРИВОДІВ</b> .....	280
<i>порівняння електроприводу та гідроприводу; порівняння пневмоприводу та гідроприводу</i>	
<b>7.3 ПЕРЕДАЧІ ТА МУФТИ</b> .....	289
<i>передачі зачепленням; фрикційні передачі; багатопотокові передачі; муфти</i>	

<b>7.4 ЦИКЛОГРАМИ МАШИН</b> .....	295
<b>7.5 ПРОМИСЛОВІ РОБОТИ</b> .....	299
<i>історія розвитку; рухові функції; системи автоматизованого керування</i>	
<b>8 МАТЕРІАЛИ ТА ЇХ ОБРОБКА</b> .....	306
<b>8.1 КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ</b> .....	308
<i>чорні метали та їх сплави; кольорові метали та їх сплави; неметалеві та композитні матеріали</i>	
<b>8.2 МЕТОДИ ФОРМОУТВОРЕННЯ ДЕТАЛЕЙ</b> .....	322
<i>лиття металевих виробів; обробка тиском; обробка різанням; фізико-хімічна обробка; адитивні технології</i>	
<b>8.3 ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ</b> .....	335
<i>термічна обробка; хіміко-термічна обробка; поверхнєве пластичне деформування; обробка концентрованими потоками енергії</i>	
<b>9 ПОСТАНОВКА НА ВИРОБНИЦТВО ТА УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ МАШИН</b> .....	350
<b>9.1 ПІДГОТОВКА МАШИНОБУДІВНОЇ ПРОДУКЦІЇ ДО ВИРОБНИЦТВА</b> .....	350
<i>виготовлення та випробування дослідного зразка; конструкторська та технологічна підготовка виробництва; встановлення гарантійного терміну експлуатації</i>	
<b>9.2 ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ВАРТОСТІ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ МАШИН</b> .....	354
<i>прогнозування економічної ефективності нових машин; методологія модернізації обладнання</i>	
<b>9.3 ПІДТРИМАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ</b> .....	364
<i>фактори впливу та інциденти; стратегії технічного обслуговування й ремонту машин; організація життєвого циклу машини; облік роботи машин; ремонтний вплив на готовність машин; утилізація машин</i>	
<b>9.4 СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МАШИН</b> .....	382
<i>неперервний моніторинг технічного стану; структурно-діагностична схема машини; діагностичні параметри машин</i>	
<b>9.5 ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ВИРОБНИЦТВА</b> .....	390
<i>автоматизована система управління технічним станом машин; система управління виробничими процесами (MES); інформаційні технології менеджменту обслуговування</i>	

<b>ПРИКЛАДИ ТВОРЕННЯ МАШИН .....</b>	<b>402</b>
<b>ПРИКЛАД 1 – ПОШУК КОНКУРЕНТОЗДАТНОГО ВИРОБУ ІГРАШКОВОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ .....</b>	<b>402</b>
<i>опис конструкції і принципу дії винаходу; формулювання предмета винаходу запатентованого виробу; аспекти винаходу; технічні можливості реалізації; інженерний аналіз; post scriptum</i>	
<b>ПРИКЛАД 2 – РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЇ ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ АВТОМАТИЧНОГО МАНІПУЛЯТОРА ДЛЯ ДРОБОСТРУМИННОГО ОЧИЩЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ХІМІЧНОГО АПАРАТУ .....</b>	<b>413</b>
<i>аналіз можливих способів очищення й уточнення задачі; технологічні основи дробоструминного очищення; вивчення попиту та пропозиції; вибір технологічної схеми; деякі питання автоматизації процесу; визначення структури автоматичного маніпулятора; огляд конструкцій механізмів еліпсографу; вибір структурної схеми механічної руки автоматичного маніпулятора; опис технічної пропозиції; формулювання предмета винаходу</i>	
<b>ДОДАТОК «А» — АЛФАВІТИ І ЦИФРИ .....</b>	<b>435</b>
<b>ДОДАТОК «Б» — СИСТЕМИ ВИМІРЮВАНЬ .....</b>	<b>436</b>

## ПЕРЕДМОВА

Розвиток техніки характеризується створенням нових технічних систем, призначених для полегшення людської праці й забезпечення виконання того чи іншого технологічного процесу.

На сучасному етапі розвитку виробництва й практики проектування виникають складні проблеми, для вирішення яких необхідні не абиякий творчий пошук та дослідницькі навички. Сучасний фахівець повинен володіти не тільки необхідною компетенцією, а й досвідом творчого розв'язання практичних задач, умінням використовувати у своїй роботі все те нове, що з'являється в науці і техніці, а також зобов'язаний постійно вдосконалювати свою кваліфікацію, швидко адаптуватися до умов виробництва. Тому підготовці фахівців технічних спеціальностей, які займаються творенням машин, їх модернізацією та ремонтом слід приділяти особливу увагу, формувати їх високий потенціал, оскільки від цього залежить реалізація новаторських ідей, направлених на підвищення ефективності технічних систем.

У підручнику висвітлено принципи розвитку технічних систем, презентовано актуалізовану теорію, необхідну для ефективної практики творення нових машин та механізмів. Подано як фундаментальні проблеми питання, які виникають перед інженерами при проектуванні й конструюванні нової техніки, так і прикладні задачі, пов'язані з впровадженням, експлуатацією й модернізацією технічних систем.

Подана в підручнику інформація не дає відповіді на конкретні питання, наприклад, як створити певну машину, які технічні розрахунки слід виконати і таке інше. Автори намагалися сконцентрувати технічну інформацію та розкрити підходи до самостійного подолання творчих перепон задля стимулювання здобувачів вищої освіти до інтелектуальної діяльності – активного продуктивного мислення, пошуку та аргументації шляхів власного розв'язання технічних задач, як альтернативи звичному накопиченню знань.

У *першому розділі* наведено деякі історичні факти творення машин. Адже вислів «без минулого немає майбутнього» знають усі, але не всі усвідомлюють його глибину: після минулого настає теперішнє, а потім майбутнє, тобто ми сьогодні використовуючи досвід минулого творимо майбутнє. Здобувачі вищої освіти на основі ознайомлення з певними фактами минулого (історії виникнення



теплових двигунів) та пізнання тенденцій сучасного розвитку окремих галузей машинобудування, поданих у цьому розділі, певним чином підготовлюються до опрацювання наступних розділів, які присвячені вже безпосередньо творенню нової техніки.

У *другому розділі* «Технічні системи» подано поняття про структуру технічних систем як об'єкту творення, запропоновано та обґрунтовано дванадцять принципів їх розвитку, показано кроки та послідовність матеріалізації наукових ідей.

У *третьому розділі* «Інженерна творчість» описано саме творчий процес підходу до пошуку технічного рішення, різні методи інженерного творення систем, виконання інженерного аналізу та оптимізації. Висвітлено методи аналогій у механіці та принципи моделювання, які допомагають інженеру-творцю техніки прийняти правильні нові технічні рішення.

*Четвертий розділ* присвячено концепції творення нової техніки, а саме засадам та етапам творення, пошуку нових технічних рішень та прикладним дослідженням, які супроводжують цей процес. Подано основні тенденції розвитку машин, висвітлено оцінку показників їх технічного рівня.

Таким чином, другий, третій та четвертий розділи є теоретичною базою для здобувачів вищої освіти і визначають шляхи такої інтелектуальної діяльності, як творення машин. Тому наступний, *п'ятий розділ*, присвячено інтелектуальній власності. Тут показано роль інтелектуальної власності в інноваційній діяльності, принципи управління нею. Висвітлено поняття науково-технічної продукції, описано принципи патентування, а також методи здійснення інформаційного пошуку серед необмеженого поля інформаційних ресурсів.

*Шостий розділ* «Проектно-конструкторська діяльність» стосується практичної діяльності інженера. Розділ включає загальні відомості, інформацію про види виробів, конструкторських документів та стадій розробки документації. Висвітлено засади конструювання й основи систем автоматизованого проектування в машинобудуванні. Зміст включає й деякі питання ергономіки та складання машин, які слід враховувати при проектуванні.

У *сьомому розділі* «Привод, механізми передавання та перетворення руху» подано інформацію про привод, принципи його розробки, зіставлення різних видів приводів. Адже жодна машина не обходиться без приводу й механізмів передавання та перетворення руху. Окрім цього, в розділі є інформація про передачі та муфти, циклограми машин, історію розвитку та принципи роботи промислових роботів.

*Восьмий розділ* присвячено матеріалам та їх обробці, оскільки будь яка машина виготовлена з різноманітних матеріалів. У цьому розділі подано структуровану інформацію про широку номенклатуру конструкційних матеріалів, їх властивості та особливості застосування. Окремо акцентовано увагу на технологічності методів обробки матеріалів для досягнення мети творця – створення найбільш ефективної і надійної конструкції нової техніки.

*Дев'ятий розділ* присвячено питанням управління технічним станом машин, тобто, питанням забезпечення ефективності й надійності, які зумовлені не тільки властивостями, закладеними при створенні виробу, а й рівнем його технічної експлуатації. Тому робота творця машини не закінчується постановкою її на виробництво, а активно продовжується й на наступному етапі життєвого циклу – технічної експлуатації, коли відбувається реалізація потенційних можливостей технічної системи. У розділі акцентовано увагу на питання реалізації й дотриманні рекомендацій і вимог, закладених творцем в супровідній документації, стосовно організації експлуатації машин та управління її технічним станом. Окремо висвітлено використання інформаційних технологій в управлінні виробництвом.

Наостанок подано два приклади творення машин, які наглядно ілюструють весь хід думки та можливі сходинки роботи інженера-творця.

На сторінках підручника неодноразово наголошується на тому, що тісна співпраця інженерів на різних етапах творення машин та на етапах її життєвого циклу є запорукою досягнення високого результату. Здобувачі вищої освіти, як майбутні інженери, повинні знати основи суміжних галузей, етапи творення, основи роботи машин протягом всього її життєвого циклу, що є обов'язковою вимогою до сучасного творця техніки.

Беручи за основу матеріали відомих авторитетних джерел щодо цієї тематики, автори, поряд із класичними, пропонують і своє бачення основ творення машин та сучасних шляхів розвитку цієї галузі знань і творчої діяльності людини.

Інформація, викладена в книзі, на нашу думку, є актуальною, має багатоплановий характер підходу до творення машин. Сподіваємося, що пропонований підручник зацікавить не тільки здобувачів вищої технічної освіти, а також зможе стати в нагоді конструкторам й інженерам, які займаються проектуванням, виробництвом й експлуатацією машин різного призначення та об'єктів нової техніки.

Автори висловлюють щире подяку: професору Білецькому Володимирі Стефановичу (Національний технічний університет

«Харківський Політехнічний Інститут»), професору Шупікову Олександрю Миколаєвичу. (Інститут проблем машинобудування імені А. М. Підгорного НАН України), професору Шваб'юку Василю Івановичу. (Луцький національний технічний університет), професору Романишину Любомиру Івановичу (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу) та колегам за слушні зауваження й пропозиції щодо змісту та оформлення підручника.

Розуміємо, що під час написання цього підручника не вдалося уникнути певних недоліків, за які автори несуть повну відповідальність. Побажання, поради та повідомлення про описки, помилки та можливі недоречності автори з вдячністю приймуть за електронною адресою [goruk007@rambler.ru](mailto:goruk007@rambler.ru), [buchynskyy@ukr.net](mailto:buchynskyy@ukr.net), [sergii.iakhin@pdaa.edu.ua](mailto:sergii.iakhin@pdaa.edu.ua) або особисто.

## ВСТУП

Науково-технічний прогрес є основоположним фактором, який забезпечує економічний розвиток суспільства. Творення нових технічних засобів поряд із підвищенням до них вимог, з одного боку, та новими методами вирішення технічних завдань, з іншого боку, викликають необхідність перегляду методів вивчення та створення технічних систем. Систематизація загальних законів розвитку техніки та розвиток сучасних методів вирішення технічних задач при створенні об'єктів нової техніки дозволяє прискорити терміни впровадження нових технічних рішень у виробництво, зробити процес творення нової техніки більш ефективним та підвищити кваліфікацію майбутніх фахівців з інженерної механіки як новаторів, творців та винахідників.

«Техніка», за визначенням енциклопедичних словників, – це сукупність пристроїв та прийомів, що застосовуються людиною у виробничій та невиробничій діяльності для полегшення та прискорення трудових процесів. Техніка – це машини, верстати, прилади, інструменти тощо; це будови та споруди, дороги та канали, засоби транспортування; це невиробниче обладнання та інструменти; комунальне устаткування, холодильники, кухонні та пральні машини, пилососи; засоби зв'язку та транспорту особистого користування і таке інше. До поняття «техніка» належить й технологія, що є сукупністю ефективних прийомів, методів, способів використання обладнання та інших технічних засобів для обробки сировини, матеріалів, виробів та отримання як напівфабрикатів так і готової продукції.

Алоїз Хунінг, професор Дюссельдорфського університету, вважає: «Завдання техніки – перетворювати природу і світ людини відповідно до цілей, поставлених людьми на основі їх потреб і бажань. Лише інколи люди можуть вижити без своєї перетворюючої діяльності. Без техніки люди не змогли б упоратися з оточуючим їх природним середовищем. Отже, техніка – це необхідна частина людського існування протягом всієї історії».

Із розвитком техніки змінюється й сама людина. Особливо значимі зміни відбулися в ХХ столітті. Очевидно, що розвиток техніки з кожним роком йде все швидше. Таке прискорення технічного прогресу несе людині не лише комфорт, але й створює багато проблем, нерідко дуже серйозних.

Тому відповідальність людини при всіх динамічних змінах у техніці та технологіях постійно зростає, адже саме діяльність людини визначає розвиток науки й техніки, вдосконалення виробництва,

суспільного життя в цілому. Машина ніколи не зможе усвідомити, що таке творець, хто він, яку мету намагається досягнути при її творенні. Людина створює машини. А машини, навіть найскладніші, не можуть зрозуміти, чим вони є. Головна відмінність полягає у тому, що не машина керує людиною, а людина – машиною. Це є основною ознакою сучасного техногенного суспільства, яке виникло на індустріальній та постіндустріальній стадії розвитку людства.

Про це влучно написано Марком Твенем у творі «Листи із Землі» при описі суду над машиною:

*Суддя: Обвинувачена, доведено, що ви погано складені і кепсько сконструйовані. Що ви можете сказати на своє виправдання?*

*Машина: Не я себе сконструювала. Не я себе складала.*

*Суддя: Доведено, що ви рухалися, коли вам не слід було рухатися; що ви звернули, коли вам належало їхати прямо; що ви просувалися через натовпи перехожих зі швидкістю, забороненою законом і небезпечною для громадського спокою; що ви поширюєте сморід і вперті в цьому, хоча вам відомо, що це непристойно і інші машини так не роблять. Що ви можете сказати на своє виправдання?*

*Машина: Я машина. Я рабськи підкоряюся закону моєї конструкції і не можу його порушити ні за яких умов. Сама по собі я нічого не роблю. Мене приводять у рух зовнішні сили, сама себе в рух я приводити не здатна.*

*Суддя: Ви вільні. Вашого пояснення досить. Ви – жалюгідне творіння, наділене деякими хорошими і деякими поганими якостями, але хвалити вас за поведінку, що виникає з перших, і засуджувати за поведінку, що впливає з других, було б нечесно і несправедливо. Тобто по відношенню до машини... По відношенню до машини!*

Для чого б не була призначена машина, її функціонування направлене на реалізацію поставленої мети: забезпечити певний технологічний процес. Творячи ту чи іншу машину, інженер може не усвідомлювати соціальної вагомості результатів своєї діяльності. Тоді він стає простим ремісником. Щоб цього не трапилось, інженер повинен подолати професійну обмеженість. Його інженерне мислення повинно охоплювати як фізичні процеси, що характеризують властивості, функції та структуру технічних систем, так і фактори анатомічної і фізіологічної особливості людини, сферу функціонування технічної системи, передбачати майбутнє технічного об'єкта, в тому числі й у соціальному аспекті. Адже соціальний і науково-технічний прогрес безпосередньо пов'язаний із діяльністю технічних фахівців. Інженери є творцями нової техніки й соціальних технологій, і саме від їх творчого мислення залежить якість життя на планеті.

## 1 ІСТОРИЧНІ ФРАГМЕНТИ ТВОРЕННЯ МАШИН

Історія техніки нараховує майже 50 тис. років. Якщо за цей проміжок часу взяти середню тривалість життя одного покоління 30...32 роки, то існуючий рівень техніки був досягнутий приблизно за 1600 поколінь. Іншими словами, людству знадобилося 1600 сходинок, щоб винайти ракету та досягнути Місяця. За перші 1100...1300 сходинок люди освоїли такі традиційні природні матеріали, як дерево, глина та камінь, решта сходинок знадобилося для освоєння міді, бронзи, заліза та інших нових конструкційних матеріалів.

Але цей розвиток немислимий без застосування енергії. Вогонь люди навчилися добувати приблизно 250 тис. років тому, отримувати водяну пару понад 2000 років тому, а використовувати енергію води, що рухається, в першому сторіччі до нашої ери. В історії людства водяні двигуни завжди відігравали особливу роль. Протягом багатьох століть різні водяні механізми були головним джерелом енергії у виробництві. Перші водяні колеса з'явилися в першому столітті до нашої ери, а ось водяна турбіна з високим *ККД* (до 80%) була винайдена лише в першій половині XIX століття. Її конструкцію створювали та удосконалювали такі відомі творці, як Сегнер, Ейлер, Понселе, Фурнейрон, Пельтон та інші.

Вперше енергетичні машини, що перетворювали внутрішню енергію водяної пари в механічну роботу, тобто парові машини, з'явилися лише у кінці XVII століття. А перший поршневий двигун внутрішнього згорання був створений у 1860 році французьким інженером Етьєном Ленуаром. При цьому за значимістю для людства винайдення двигуна внутрішнього згорання прирівнюється до винайдення колеса, що сталося приблизно 6000 років тому в Месопотамії, що започаткувало освоєння обертового руху.

Першу працюючу парову турбіну, що одразу створювала обертовий рух, створив у 1883 році шведський інженер Густав Лаваль. Відомо, що підґрунтя для побудови токарного верстату на основі обертового руху заготовки заклав ще древньогрецький механік Ктесібій із Александрії приблизно в III столітті до нашої ери. А створений токарно-гвинтовий верстат лише в 1800 році англійцем Генрі Модслі.

Хоча деякі електричні явища були відомі ще древнім грекам, винайдення промислового електродвигуна відбулося лише в кінці XIX століття завдяки роботам таких видатних учених, як Франклін, Кавендиш, Кулон, Гальвані, Герц, Ампер, Сіменс, Тесла та інших. Особливо слід відмітити важливу закономірність, що встановив у 1831 році англійський фізик Майкл Фарадей. Ним було доведено, що електричний струм викликає магнітні явища, а магнітні явища породжують появу електричного струму. Відкриття Фарадея

мало великі наслідки для розвитку техніки та всієї людської цивілізації, так як стало відомо, як механічну енергію перетворювати в електричну, а електричну назад в механічну. Перше з цих явищ лягло в основу роботи електрогенератора, а друге – в роботу електродвигуна.

Наведені приклади свідчать про те, що між першими спробами людей оволодіти певними фізичними явищами (горіння, плавлення, кипіння, випаровування, обертання, рух води, електризація, намагніченість, розщеплювання атомного ядра тощо) та початком промислового використання енергетичних та робочих машин, що побудовані на основі відомих фізичних принципів, проходять десятки, сотні та навіть тисячі років.

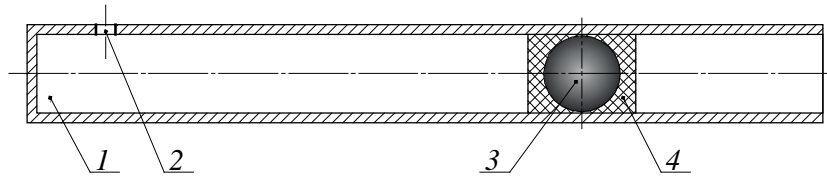
Важливим історичним періодом в становленні творення техніки тих часів зайняв період розробки, побудови, впровадження та розвитку теплових двигунів, для перетворення енергії в корисну роботу, який тривав понад тисячоліття. Тому теплові двигуни заслуговують на окрему сторінку в історії розвитку техніки.

## 1.1 ЗАРОДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ

Тепловим двигуном називається машина, що перетворює теплову енергію в механічну роботу.

Як зазначалося вище, робота машин немислима без застосування енергії. До другої половини XVIII століття люди використовували для потреб виробництва в основному водяні двигуни. Оскільки передавати механічний рух від водяного колеса на великі відстані неможливо, усі фабрики доводилося будувати на берегах річок, що не завжди було зручно. Крім того, для ефективної роботи такого двигуна часто були потрібні дорогі підготовчі роботи. Відповідно першим механічним двигуном, що знайшов широке практичне застосування та дав поштовх розвитку техніки, був тепловий двигун, який перетворював внутрішню енергію водяної пари в механічну роботу.

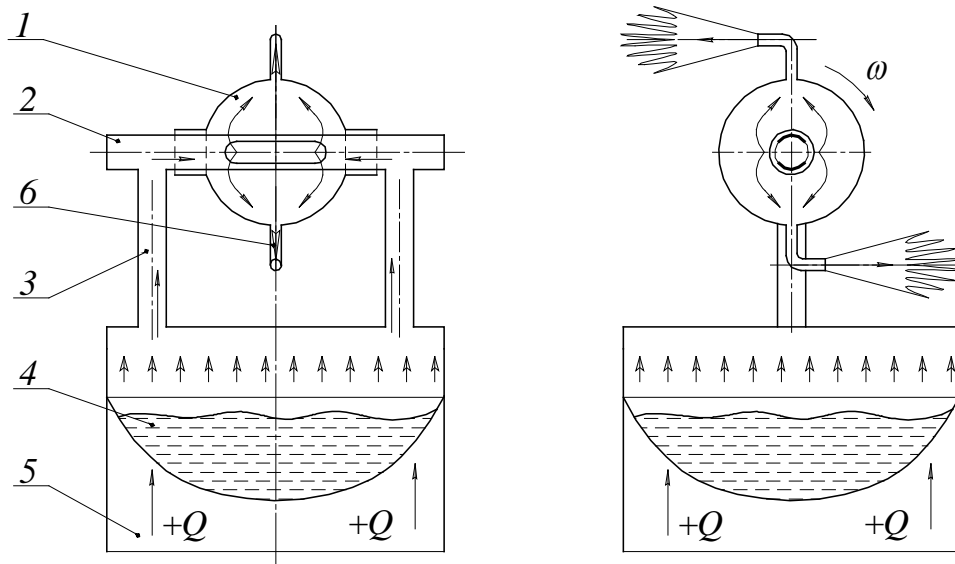
Ще дві з лишком тисячі років тому, в III столітті до нашої ери, великий грецький математик та механік Архімед побудував гармату (рис. 1.1), що стріляла за допомогою пари. Гармата являла собою глухий з одного торця ствол 1 з отвором 2 на циліндричній поверхні поблизу заглушеної сторони. Відкриту порожнину ствола закривали ядром 3 з пижом 4, а протилежну частину ствола, що заглушена, розжарювали на вогні. Потім у нагріту порожнину ствола через отвір 2 заливали воду. Вода миттєво перетворювалась у пару, яка, розширюючись, з гуркотом та силою виштовхувала ядро 3. Для нас цікаво тут те, що ствол гармати являє собою циліндр, всередині якого, як поршень, ковзає ядро.



**Рисунок 1.1 Гармата Архімеда**

1 – ствол, 2 – отвір, 3 – ядро, 4 – пиж

Приблизно трьома століттями пізніше в Олександрії – культурному та багатому місті на африканському узбережжі Середземного моря – жив та працював видатний вчений Герон, котрого історики називають Героном Олександрійським. Декілька його творів дійшло і до нас. У них описано різноманітні машини, механізми та прилади, які були відомі в ті часи. У творах Герона є опис цікавого пристрою, що зараз називають кулею Герона (рис. 1.2). На цьому рисунку схематично зображено характерні розрізи пристрою. Це пустотіла металічна куля 1, що утворює обертову пару з порожнистою горизонтальною віссю 2, закріпленою за допомогою труб-стійок 3 до водяного котла 4. Котел, в якому кип'ятять воду (+ Q), встановлений на каркасі 5. З котла водяна пара по трубках 3 через порожнисту вісь 2 надходить в порожнину кулі 1. Із кулі водяна пара викидається через зігнуті Г-подібно трубки 6. При цьому куля починає обертатися. Таким чином, внутрішня енергія водяної пари перетворюється в механічну енергію обертання кулі. Геронова куля є прообразом реактивних двигунів.



**Рисунок 1.2 – Куля Герона**

1 – пустотіла куля, 2 – порожниста вісь, 3 – труби-стійки,  
4 – котел водяний, 5 – каркас, 6 – Г-подібно зігнуті трубки



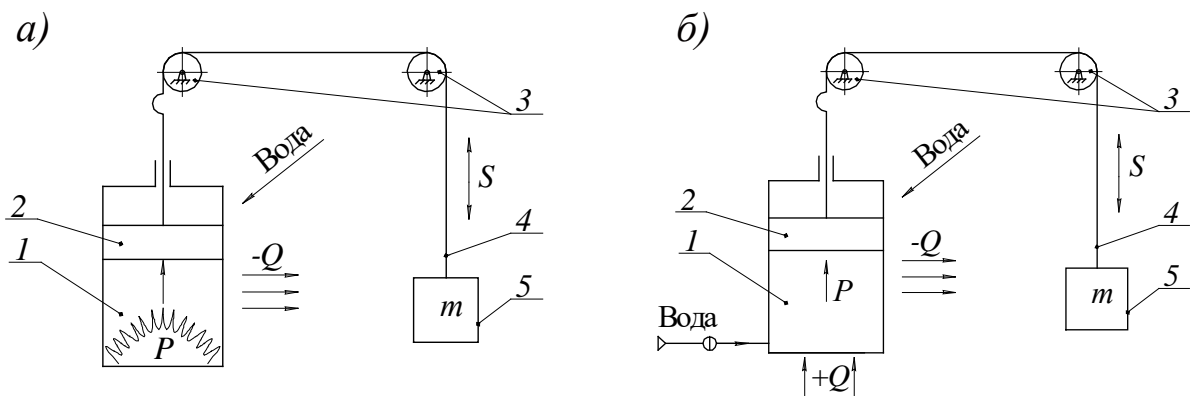
Прошло п'ятнадцять століть. Після похмурого періоду середньовіччя прийшов новий розквіт науки й культури. Геніальний італієць Леонардо да Вінчі (1452 — 1519 рр.) замислюється над тим, як можна використати внутрішню енергію водяної пари. У його рукописах є декілька рисунків із зображенням циліндра та поршня. Під поршнем у циліндрі знаходиться вода, а сам циліндр нагрівається. Леонардо да Вінчі вважав, що утворена в результаті нагрівання води пара, розширюючись та збільшуючись в об'ємі, буде шукати вихід, штовхаючи поршень догори. Під час свого руху поршень міг би здійснювати корисну роботу.

Приблизно через сто з лишком років після Леонардо да Вінчі інший італієць, Джованні Бранка, придумав двигун, де використовується енергія водяної пари по-іншому. Двигун виконано у вигляді колеса з лопатками, на які направляється струмінь пари. Вдаряючись по лопатках, водяна пара примушує колесо обертатися. Таким чином, по суті, була відображена парова турбіна.

Ось деякі ідеї, що були відомі людям до того часу, коли вони почали працювати над створенням робочого теплового двигуна, здатного приводити в дію різноманітні механізми та машини. Над винайденням парової машини в XVII — XVIII століття працювало багато винахідників: англійці Томас Севері, Томас Ньюкомен, Джеймс Уатт; француз Дені Папен; росіянин Іван Ползунов та багато інших.

Папен виготовив циліндр 1, в якому догори та донизу вільно переміщувався поршень 2 (рис. 1.3). Він був зв'язаний перекинутим через блоки 3 тросом 4 з вантажем 5, що слідом за поршнем опускався та піднімався. На думку Папена, поршень можна було зв'язати з якою-небудь машиною, наприклад, водяним насосом, який би качав воду. У перших експериментах у нижню відкидну частину циліндра (рис. 1.3, а) насипали порох, який потім підпалювали. Утворені гази розширялися і штовхали поршень догори. Після досягнення поршнем верхнього положення, циліндр із зовнішнього боку обливали холодною водою. Гази в циліндрі охолоджувались, тиск їх на поршень зменшувався. Поршень під дією власної ваги та зовнішнього атмосферного тиску опускався донизу, піднімаючи при цьому вантаж. Двигун здійснював корисну роботу. Однак для практичної мети він не був придатним. У запропонованому Папеном двигуні можна було помітити основні риси сучасного двигуна внутрішнього згорання. Але було необхідно багато часу та праці великої кількості дослідників, щоб двигун внутрішнього згорання був побудований. Сам Папен далі пішов іншим шляхом – шляхом створення поршневих

парових машин (рис. 1.3, б). У новому двигуні Папен, замість пороху, використовував воду. Воду наливали під поршень, а циліндр знизу підігрівали. Пара, що утворювалася при цьому, піднімала поршень. Потім циліндр охолоджували ( $-Q$ ) водою з зовнішньої сторони і пара, що знаходилася у ньому, конденсувалася, перетворюючись знову у воду. Поршень, як і у випадку з пороховим двигуном, під дією власної ваги та атмосферного тиску опускався донизу. Цей двигун працював краще, ніж пороховий. Однак для практичного використання від був також малопридатним.



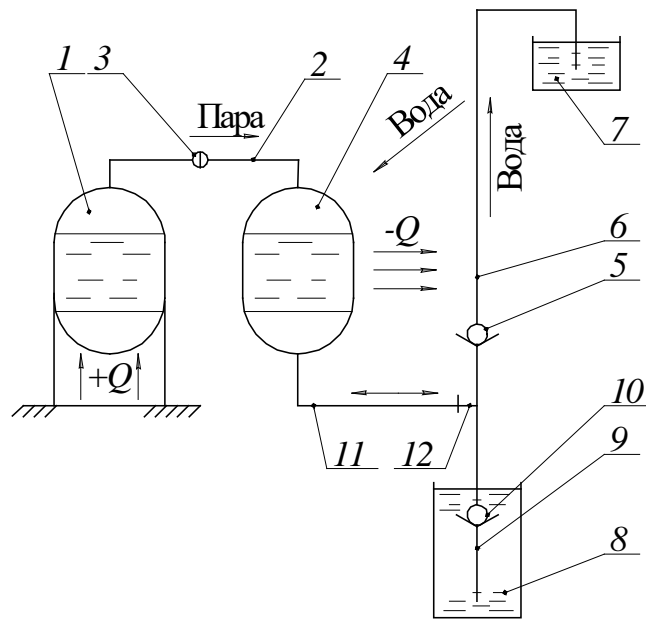
**Рисунок 1.3 – Схема машини Папена**

а) пороховий двигун; б) паровий двигун

1 – циліндр, 2 – поршень, 3 – блоки, 4 – трос, 5 - вантаж

А якщо в циліндр впускати вже готову водяну пару, отриману, наприклад, в окремому котлі? Тоді було б достатньо впускати в циліндр то пару, то охолоджену воду, і двигун працював би із більшою швидкістю та меншим використанням палива. Дені Папен цього не зробив. Про це здогадався його сучасник, англієць Томас Севері, побудувавши насос для відкачування води з шахти. У його машині пару отримували поза циліндром – у водяному котлі.

Паровий насос Севері (рис. 1.4) складається з водяного котла 1, верхня частина якого трубою 2 з краном 3 з'єднана з порожниною циліндричного резервуара 4. Нижня частина порожнини резервуара 4 за допомогою трубопроводу 11 через трійник 12 з'єднана з вертикальним трубопроводом, що має верхню ділянку 6 та нижню ділянку 9. Нижня ділянка 9 має зворотний клапан 10, що опущений у колодязь 8 із водою. Верхня ділянка 6 має зворотний клапан 5 і закінчується коліном у баку 7. У вихідному положенні кран 3, зворотні клапани 5 і 10 є закритими. Резервуар 4 заповнений водою. Водяний котел 1 розігрітий, а його верхня частина заповнена водяною парою.



**Рисунок 1.4 – Схема насоса Севері**

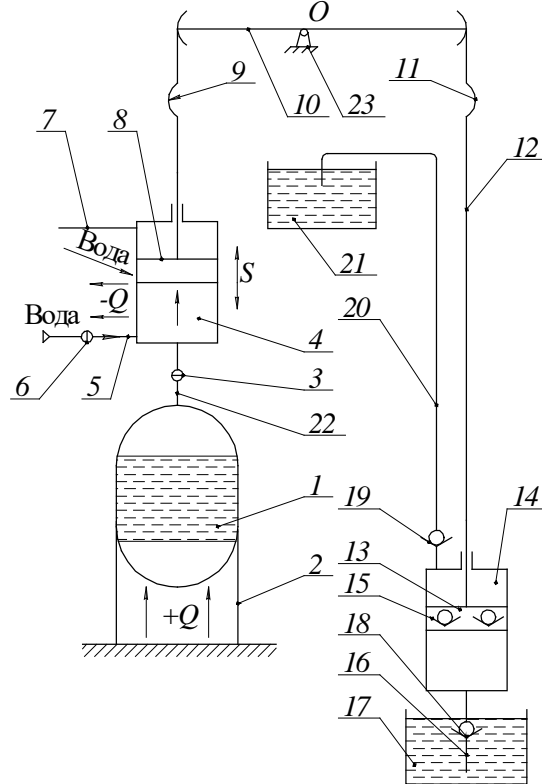
1 – котел водяний, 2 – трубка, 3 – кран, 4 – резервуар, 5 – клапан зворотний, 6 – трубопровід, 7 – бак, 8 – колодязь, 9 – трубопровід, 10 – клапан зворотний, 11 – трубопровід, 12 – трійник

Принцип дії водяного насоса Севері полягає у всмоктуванні та витісненні певного об'єму води за допомогою водяної пари. Призначення насоса полягає в тому, щоб викачувати воду з колодязя 8 та переміщувати її в бак 7, що знаходиться на певній висоті. Насос працює циклічно.

Відкривають кран 3, водяна пара з котла 1 по трубопроводу 2 прямує в порожнину резервуара 4. Під тиском водяної пари вода витісняється з порожнини резервуара 4 по трубопроводу 11 через трійник 12 та зворотний клапан 5 потрапляє в трубопровід 6, із якого виливається в бак 7. При цьому зворотний клапан 10 буде закритим. Після витіснення води з порожнини резервуара 4 під натиском водяної пари в бак 7 кран 3 закривають та починають охолоджувати резервуар 4 із зовнішньої сторони холодною водою. Водяна пара конденсується та створює вакуум в порожнині резервуара 4, під дією якого зворотний клапан 10 відкривається і вода з колодязя 8 по трубопроводах 9 та 11 засмоктується в порожнину резервуара 4. При всмоктуванні води зворотний клапан 5 буде закритим. Після заповнення порожнини резервуара 4 до певного об'єму, всмоктування води припиняється. Насос повертається у вихідне положення й готовий до повторного циклу.

Паровий насос Севері отримав доволі широке застосування в кінці XVII на початку XVIII століття. Більш сучасну машину,

що використовує силу пари для відкачування води з шахт, побудував на початку XVIII століття англійський коваль Ньюкомен. Машина Ньюкомена вже мала основні деталі парової машини: циліндр та поршень. Гідрокінематична схема парового насоса Ньюкомена подана на рисунку 1.5.



**Рисунок 1.5 – Паровий насос Ньюкомена**

- 1 – котел водяний, 2 – каркас, 3 – кран, 4 – циліндр,  
 5 – трубопровід, 6 – кран, 7 – трубопровід, 8 – поршень,  
 9 – ланка гнучка, 10 – балансір, 11 – ланка гнучка, 12 – штанга,  
 13 – поршень насоса, 14 – насос водяний, 15 – зворотні клапани поршня,  
 16 – трубопровід, 17 – колодязь, 18, 19 – зворотний клапан,  
 20 – трубопровід, 21 – бак, 22 – трубопровід пари, 23 – стійка

Насос складається з водяного котла 1, розташованого на каркасі 2, що за допомогою трубопроводу пари 22 з краном 3 з'єднаний із нижньою порожниною циліндра 4. До нижньої порожнини циліндра 4 підведений також трубопровід 5 для подачі холодної води, що перекривається краном 6, а верхня порожнина циліндра трубопроводом 7 з'єднана з атмосферою. Розміщений у циліндрі 4 поршень 8 за допомогою штока й гнучкої ланки 9 з'єднаний із лівим плечем балансира 10, який утворює обертову пару з опорою O стійки 23. Праве плече балансира 10 через гнучку ланку 11 та штангу 12 приєднано до поршня 13 водяного насоса 14. Поршень 13 має зворотні клапани 15. Нижня порожнина водяного насоса забезпечена впускним трубопроводом