

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет  
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Навчально-науковий інститут інформаційних  
технологій і механотроніки  
Навчально-науковий інститут нафти і газу

С.М. Гнітько, М.Я. Бучинський,  
С.В. Попов, Ю.А. Чернявський

# **ТЕХНОЛОГІЧНІ МАШИНИ**

---

Підручник для студентів спеціальностей  
механічної інженерії закладів вищої освіти

Київ  
Видавництво Ліра-К  
2020

**УДК 621**  
**Т 38**

*Рекомендовано до друку Науково-методичною радою  
Національного університету  
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
(протокол №8 від 23 грудня 2019 р.)*

**Рецензенти:**

**Є.А. Фролов**, доктор технічних наук, професор кафедри будівельних машин і обладнання Навчально-наукового інституту інформаційних технологій і механотроніки Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

**О.В. Шефер**, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Навчально-наукового інституту інформаційних технологій і механотроніки Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

**Гнітько С.М.**

Технологічні машини : підручник / С.М. Гнітько, М.Я. Бучинський, С.В. Попов, А.М. Чернявський. Київ : Видавництво Ліра-К, 2020. 258 с.

ISBN 978-617-7910-91-5

В основі цього підручника – загальні відомості про машини, за допомогою яких відбуваються технологічні процеси в різних галузях промисловості. Подано характеристики різних видів силового приводу, передавальних та виконавчих механізмів обладнання.

Для студентів вишів, які здобувають освіту з механічної інженерії за напрямками експлуатації та конструювання технологічних машин. Адресовано для всіх, хто прагне підвищити свою кваліфікацію.

**УДК 621**

© Гнітько С.М., Бучинський М.Я.,  
Попов С.В., Чернявський Ю.А., 2020  
© Видавництво Ліра-К, 2020

**ISBN 978-617-7910-91-5**

## ЗМІСТ

---

ВСТУП.....	6
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ТЕХНОЛОГІЧНІ МАШИНИ.....	7
1.1 Визначення .....	7
1.2 Види машин.....	10
1.3 Оцінка технічного рівня.....	11
1.4 Номенклатура.....	20
1.5 Стадійність створення .....	22
1.6 Кінематичні та динамічні показники руху.....	23
1.7 Режими навантаження.....	25
1.8 Перспективи розвитку.....	29
Питання для самоконтролю.....	35
2 ОКРЕМІ ПРИКЛАДИ .....	36
2.1 Токарний верстат .....	36
2.2 Фрезерний верстат .....	42
2.3 Компресор .....	49
2.4 Обладнання для виготовлення бетонів та будівельних розчинних сумішей .....	59
2.5 Верстат-качалка .....	68
2.6 Кривошипний прес .....	70
2.7 Пластинчастий конвеєр.....	75
Питання для самоконтролю.....	78
3 СИЛОВИЙ ПРИВІД.....	79
3.1 Загальні відомості.....	79
3.2 Тепловий двигун .....	81
3.2.1 Парова машина Ватта .....	90
3.2.2 Поршневий двигун зовнішнього згоряння...	93
3.2.3 Двигун внутрішнього згоряння .....	100

3.2.4	Двигун зовнішнього згоряння роторний.....	107
3.2.5	Двигун внутрішнього згоряння роторний ...	111
3.2.6	Реактивні двигуни.....	115
3.2.7	Парова турбіна .....	118
3.2.8	Газова турбіна .....	121
3.3	Гідравлічний привід .....	123
3.3.1	Загальні відомості.....	123
3.3.2	Історія розвитку .....	130
3.3.3	Перспективи розвитку.....	132
3.4	Пневматичний привід .....	133
3.4.1	Загальні відомості.....	133
3.4.2	Пнеumoприводи із поступальним рухом ..	136
3.5	Електричний привід .....	137
3.5.1	Загальні відомості.....	139
3.5.2	Розрахунок потужності електродвигуна ..	146
3.6	Механічні характеристики .....	151
3.7	Узгодження рухів .....	155
	Питання для самоконтролю.....	160
4	ПЕРЕДАВАЛЬНІ МЕХАНІЗМИ.....	161
4.1	Механічні передавальні механізми.....	165
4.1.1	Фрикційні .....	165
4.1.2	Зубчасті.....	169
4.1.3	Черв'ячні.....	172
4.1.4	Ланцюгові.....	173
4.1.5	Передачі із зубчастими пасами .....	175
4.2	Гідравлічні передавальні механізми.....	175
4.2.1	Гідравлічні механізми об'ємної дії.....	175
4.2.2	Гідравлічні механізми динамічної дії.....	177
4.2.3	Переваги та недоліки гідро- привідних механізмів .....	178
4.3	Пневматичні передавальні механізми .....	181
4.4	Електромагнітні передавальні механізми.....	185

4.4.1 Керовані електромагнітні муфти із фрикційним зв'язком .....	187
4.4.2 Керовані електромагнітні муфти із електромеханічним зв'язком феропорошком.....	189
4.4.3 Керовані електромагнітні муфти зі зв'язком через поле .....	193
Питання для самоконтролю .....	196
<b>5 ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ .....</b>	<b>197</b>
5.1 Кривошипно-шатунний виконавчий механізм .....	199
5.2 Кривошипно-кулісний виконавчий механізм .....	206
5.3 Синусний виконавчий механізм.....	209
5.4 Кривошипно-коромисловий виконавчий механізм .....	211
5.5 Одноланковий виконавчий механізм.....	213
5.6 Мальтійський виконавчий механізм.....	215
5.7 Осцилювальний виконавчий механізм .....	220
Питання для самоконтролю .....	222
<b>6 РОЗРОБКА СИЛОВОГО ПРИВОДУ .....</b>	<b>223</b>
6.1 Механічні характеристики.....	224
6.2 Графіки навантаження.....	236
6.3 Режими роботи технологічних машин і електроприводів.....	240
6.4 Час прискорення та уповільнення приводу.....	247
6.5 Визначення найвигіднішого передатного відношення передавального механізму .....	250
Питання для самоконтролю .....	251
<b>ЛІТЕРАТУРА .....</b>	<b>253</b>

## ВСТУП

---

*Тільки коли система  
«ЛЮДИНА-МАШИНА-ТЕХНОЛОГІЯ-СУСПІЛЬСТВО-ДОВКІЛЛЯ»  
має гармонійне поєднання у взаємодії одне з одним,  
можна прагнути високих результатів.*

Сучасний світ – це простір техніки та технологій, які у ньому посідають чи не найважливіше місце, ми живемо не в первісному світі, а фактично у техносфері.

Техніка та технологія практично впливають на всі сфери життя суспільства: матеріальну, виробничу, побутову та духовну – визначають їх розвиток і радикально змінюють систему комунікації та інформації. Впливаючи на суспільне та особисте життя людей, докорінно змінюють увесь їх спосіб життя.

Світовий досвід показує, що нові технічні ідеї, які втілюють передові технології та інновації, визначають ефективність соціально-економічного розвитку держави та її національну безпеку.

Впровадження передових технологій у життя відбувається через застосування нових технологічних машин, які є основою будь-якого виробництва. Сучасні технологічні машини являють собою складні технічні системи, які необхідно спроектувати, виготовити та освоїти перед тим, як вони зможуть виконувати прогресивні технологічні процеси. Будь-яка технологія не реалізується практично, якщо відсутні машини для її втілення. Ось чому потрібні знання про технологічні машини, створення яких є складним та трудомістким процесом.

Авторський колектив у цій роботі дає загальні відомості про технологічні машини, опираючись на історичний досвід, а також знайомить із особливостями виконання силового приводу, різновидами передавальних механізмів та особливостями побудови елементів машин для виконання технологічних процесів.

# 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

---

## 1.1 Визначення

*Технологічна машина* – це механічний пристрій, що складається із функціонально пов'язаних між собою механізмів, які оснащені силовим приводом і блоком керування [1, 2]. За алгоритмом дії та допомогою робочих органів вона може виконувати:

- робочий рух (узгоджений рух виконавчих ланок, які переміщують предмет обробки та інструмент), що забезпечує зміну форми, розмірів, властивостей або стану предмету обробки;

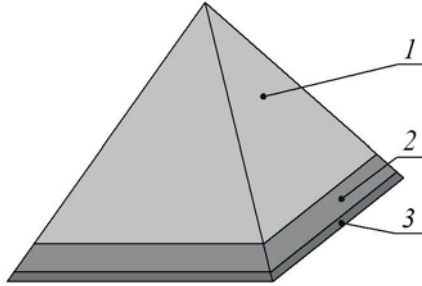
- допоміжні рухи, що спрямовані на підвищення ефективності та безпеки головного руху.

Відповідно до сучасних уявлень технологічна машина є автономною технічною системою.

*Технічна система* – це сукупність технічних об'єктів, поєднаних спільною метою та загальним алгоритмом функціонування. Вони призначені для виконання певного технологічного процесу. Таким чином, завдання технологічної технічної системи полягає в тому, щоб реалізувати певний технологічний процес на основі апріорної інформації, отриманої під час проведення прикладних досліджень [3].

Технічними об'єктами технологічної технічної системи є такі підсистеми: підсистема робочого руху, керування, подачі інструмента, закріплення заготовок, контролю, змащення, охолодження, нагрівання, технічної діагностики, утилізації відходів тощо.

Структурну схему технічної системи можна представити у вигляді піраміди (рисунок 1.1), основою якої є підсистема робочого руху, а на вершині розташовано підсистему керування.



*Рисунок 1.1 – Структурна схема технологічної машини:  
1 – підсистема керування; 2 – інші підсистеми;  
3 – підсистема робочого руху*

Нині на створення підсистеми керування витрачається до 80% ресурсів, а на підсистему робочого руху – буває не більше 5%. Решта витрачається на підсистеми допоміжного призначення. Слід зазначити, що 50 років тому на підсистему керування ці витрати становили не більше 20%.

Підсистеми робочого руху та керування є основними технічними об'єктами, без яких існування технологічної технічної системи не можливе. Інші підсистеми виконують допоміжні функції та слугують для збільшення надійності, підвищення ефективності та розширення технологічних можливостей технологічної технічної системи, тобто технологічної машини.

Підсистема керування у своєму складі, окрім апаратури та засобів керування, може містити інформаційні машини, що здатні керувати усіма технічними об'єктами технологічної технічної системи. А також, залежно від специфічних вимог виконуваної технологічної операції, програмувати алгоритм дії всіх підсистем технологічної машини, змінюючи за необхідністю траєкторію та послідовність руху робочих органів у межах технологічних можливостей машини.



Кожен технічний об'єкт технологічної технічної системи зазвичай містить такі складові частини: силовий привід, виконавчий механізм та робочий орган.

Силовий привід являє собою сукупність різних пристроїв (електричних, механічних, гідравлічних, пневматичних тощо), які призначені для приведення до дії виконавчих механізмів робочого руху та виконавчих механізмів інших технічних об'єктів, що входять до складу технологічної технічної системи. Силовий привід складається з двох частин: джерела механічного руху та передавального механізму.

Джерелами механічної енергії є теплові, електричні, гідравлічні, пневматичні, гравітаційні та інші види двигунів, що перетворюють споживану енергію в механічну роботу. Нині поширені електричні двигуни, вихідні ланки яких у переважній більшості здійснюють обертовий рух, тобто є валами. Розглянемо двигуни, що повідомляють передавальним механізмам обертовий рух.

**Передавальний механізм** – це пристрій різного принципу дії (механічний, електромагнітний, гідравлічний, пневматичний, комбінований та ін.), що призначений для передачі руху (у нашому випадку обертowego) від вала двигуна до ведучої ланки виконавчого механізму. Водночас передавальний механізм змінює кінематичні та динамічні параметри вихідної ланки джерела механічного руху до значень, які вимагає вхідна ланка виконавчого механізму [4, 5].

Механізм, вихідна ланка якого здійснює переміщення робочого органа за потрібною траєкторією, називається **виконавчим**. Розглянемо виконавчий механізм, вхідна ланка якого отримує від передавального механізму обертовий рух. Функціональне призначення виконавчого механізму полягає не тільки у тому, щоб довести параметри, які отримано від передавального механізму

обертowego руху, до потрібних показників. І якщо це потрібно, то й змінити характер руху, перетворити його у зворотно-поступальний, коливальний, переривчастий, рух гойдання, рух пульсації та інший, який вимагає робочий орган для виконання певної технологічної операції.

Можна уявити структурну схему механізму (підсистеми) головного руху так:



*Рисунок 1.2 – Структурна схема механізму головного руху:  
ДМР – джерело механічного руху (двигун); ПМ – передавальний механізм; ВМ – виконавчий механізм;  
РО – робочий орган (інструмент)*

Зазначимо, що структурні схеми інших підсистем технологічної машини практично не відрізняються від наведеної на рисунку 1.2 структурної схеми. Тому теоретичні викладки щодо механізму головного руху є прийнятними і для інших підсистем. Це суттєво полегшує аналітичні розрахунки підсистем технологічних машин.

## **1.2 Види машин**

Технологічні машини – це ніби спільнота, яку можна назвати технологічні технічні системи. Спрощено їх надалі називаємо «технологічні системи».

Їх можна поділити на групи: апаратні технологічні системи; машинні технологічні системи. Це залежить від зовнішніх умов здійснення технологічної операції.

**Апаратні технологічні системи** потребують для виконання технологічної операції спеціальних умов: підвищеного або низького тиску, хімічно активного середовища, високої або низької температури тощо. Тому в цих системах технологічні операції виконують у корпусі,

порожнина якого ізолювана від навколишнього середовища.

**Машинні технологічні системи** виконують технологічні операції в умовах доквілля.

Розглянемо найбільш поширені та вивчені підсистеми технічних систем, що входять до складу машинних технологічних систем.

Залежно від призначення та функцій машинні технологічні системи можна поділити на групи. Наприклад: металорізальні верстати; ковальсько-пресове обладнання; будівельні машини; ткацькі верстати; швейне обладнання; сільськогосподарські машини; машини для переробки сільськогосподарської сировини; гірничі машини; нафтопромислові машини і таке інше.

Машинні технологічні системи відрізняються кількістю сировини, що переробляється, або обсягом виробленої продукції за одинцю часу, тобто продуктивністю.

Залежно від потужності встановленого двигуна машинні технологічні системи поділяють на:

- малопотужні (до 1,0 кВт);
- середньої потужності (1,0...50,0 кВт);
- великої потужності (понад 50,0 кВт).

Можна поділити машинні технологічні системи і за структурно-конструктивною ознакою, коли машини мають різне функціональне призначення. Однак розпорошення уваги на технологічні процеси може негативно вплинути на засвоєння основ побудови технічних систем.

### **1.3 Оцінка технічного рівня**

У кожному нову технологічну машину втілено сучасні науково-технічні знання. Безперечно, їх важко піддати безпосередньому кількісному оцінюванню. Тому застосовують відносне оцінювання на основі порівняння технічних та економічних показників технологічних

машин, що призначені для реалізації аналогічних технологічних процесів. Технічний рівень машини визначають шляхом порівняння виробу, що оцінюється, із кращим світовим зразком.

Розрізняють технічний та економічний рівні.

Під технічним рівнем розуміють ступінь втілення у новому виробі накопичених знань та його технічну довершеність для повного і точного виконання виробничих цілей.

Під техніко-економічним рівнем розуміють ступінь втілення в конструкцію технологічної машини науково-технічних знань для повного і точного досягнення виробничої мети найбільш економічним способом.

З позицій споживача техніко-економічний рівень сприймається як компроміс між вигодою, що надходить від цього рівня, та витратами на придбання та експлуатацію відповідного обладнання. З позицій виробника цей компроміс є різницею між відпускнуою ціною на виріб із певним рівнем досконалості та витратами на забезпечення такого рівня. Тому мова піде не про техніко-економічний рівень, а про конкурентоспроможний технічний рівень. Необхідно зазначити, що існує єдиний світовий конкурентоспроможний рівень конкретних видів техніки. При оцінюванні переваг технологічних машин враховують не лише технічні, але й економічні показники.

Удосконалення техніки пов'язане із підвищенням її надійності та довговічності. Надійність визначається інтересами споживача. Вона є одним із пріоритетних показників виробу. Як і продуктивність, надійність визначає його ефективність.

Вирішальне значення на вдосконалення техніки має рівень наукового забезпечення, бо саме на етапі прикладних досліджень закладається потенціал нових технічних ідей, що матеріалізуються через дослідно-

конструкторські роботи у виробництво. Слід зазначити, що в країнах ринкової економіки системи управління технічним рівнем та якістю передусім спрямовані на попередження помилок саме на стадії наукових та дослідно-конструкторських робіт. Це дає можливість уникнути появи дефекту конструкції технологічної машини, вчасно виправити і не допустити до етапу виробництва.

Визначальною передумовою досягнення світового технічного рівня є наявність кваліфікованих кадрів. Досвід Японії підтверджує, що лише цілеспрямована робота вивела цю країну на позиції лідера в технологічному відношенні. Сьогодні Японія має найбільш кваліфікований у світі науково-технічний персонал у машинобудівній, приладобудівній, сільськогосподарській та інших галузях народного господарства.

Для України одним із факторів підвищення технічного рівня вітчизняної продукції є міжнародне співробітництво в галузі науки та техніки, зокрема прискорене впровадження в практику міжнародних стандартів.

Найважливішим фактором підвищення конкурентоспроможності нашої продукції на світовому ринку є створення системи сертифікації. Вона широко застосовується у світовій практиці. Поряд із національними функціонують і міжнародні системи. Наприклад, Міжнародна організація стандартизації, Міжнародна електротехнічна комісія, Європейська економічна комісія та інші.

Під сертифікацією розуміють комплекс дій, за допомогою яких незалежною стороною перевіряється та посвідчується відповідність продукції вимогам певних нормативно-технічних документів. Наявність на продукцію сертифіката (документа), виданого авторитетним органом, що має великий кредит довіри,

полегшує укладання зовнішніх договорів та вихід продукції на світовий ринок [6, 7].

Сертифікація передбачає не лише проведення типових досліджень та державний нагляд за якістю сертифікованої продукції через періодичні перевірки, але й оцінку умов виробництва. В результаті видається відповідний атестат відповідності виробництва.

Оцінка технічного рівня технологічних машин на стадії серійного виробництва передбачає спостереження за її сертифікацією. Показники сертифікації є індикатором міжнародного визнання.

Технічний рівень технологічних машин контролюється на таких стадіях життєвого циклу: розробка, виробництво, експлуатація.

Розробники, виробники та споживачі дають оцінку технічному рівню.

Номенклатура техніко-економічних показників, що застосовуються для оцінки технічного рівня технологічних машин, повинна бути однаковою для усіх аналогів та оцінюваного виробу. Її формують з урахуванням міжнародних стандартів. Окрім оціночних, у номенклатуру включають класифікаційні показники (призначення та галузь застосування, технічні параметри виробів, виконання та інше).

До групи аналогів при оцінюванні продукції, що розробляється, входять перспективні та експериментальні зразки, надходження яких на світовий ринок прогнозується на період випуску цієї продукції.

Якість технологічних машин можна характеризувати набором техніко-економічних показників трьох рівнів.

Основними інтегральними показниками першого рівня є ефективність, продуктивність, точність, надійність, та гнучкість. До показників другого рівня належать експлуатаційні, ергономічні, екологічні, естетичні