

Навчальний посібник

# Великі наукові ідеї, які змінили світ



Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**«ВЕЛИКІ НАУКОВІ ІДЕЇ, ЯКІ ЗМІНИЛИ СВІТ»**

**Навчальний посібник**  
**до циклу уроків міждисциплінарного освітнього проекту**  
**для вчителів природничих дисциплін**

Рекомендовано  
вченою радою НТУ «ХП»,  
протокол № 2 від 04.02.2022 р.

Харків  
НТУ «ХП»  
2022

УДК 373.5.016

ББК 74.26

М 62

*Рецензенти:*

*А.П. Марченко*, доктор техн. наук, проф., проректор НТУ «ХП»

*Л.Д. Костенко*, доктор пед. наук, начальник управління освіти

Кропивницької міської ради

**Мінакова К.О.**

**М 62 «Великі наукові ідеї, які змінили Світ»:** навч. посіб. до циклу уроків міждисциплінарного освітнього проекту «Великі наукові ідеї, які змінили Світ» / Мінакова К.О., Петров С.О., Радогуз С.А., Сокол Є.І., Матюхов Д.В., Білик С.Ю., Ліньков О.Ю., Іванова М.С., Басова Є.В., Скидан Н.П., Кіріченко М.В., Данильченко Д.О., Костусяк В.В., Лебедев В.В., Вировець С.В., Чепелюк О.О., Анан'єва В.В., Циганков О.В., Лаврова І.О., Тихомирова Т.С., Гетта О.С., Пустовойтов П.Є. – Харків: НТУ «ХП», 2022. – 220 с.

Посібник підготовлено колективом авторів з різних наукових та освітніх галузей як цикл уроків міждисциплінарного освітнього проекту **«Великі наукові ідеї, які змінили Світ»**. На прикладі всесвітньовідомих відкриттів та досліджень запропоновані методики викладання природничо-математичних дисципліни через зв'язок з історією наукових відкриттів та винаходів, які змінили життя людства. Посібник містить ілюстрації, довідкові дані у формі таблиць та схем, питання для самоперевірки та літературу для подальшого ознайомлення з матеріалом.

Для вчителів природничих та математичних дисциплін та учнів старших класів закладів середньої загальної освіти .

Табл. 4. Іл. 130 Бібліогр. 72

УДК 373.5.016

ББК 74.26

© К.О. Мінакова, С.О. Петров,

С.А. Радогуз, 2022 р.

Наука – це магія, яка діє.  
*Курт Воннегут*





## Зміст

Вступ.....	6
Розділ 1. Мило: відкриття довжиною в тисячоліття.....	10
Розділ 2. Як теплові машини змінили світ.....	37
Розділ 3. Токарний верстат. Що? Де? Коли? Для чого?.....	64
Розділ 4. Як оптика XVII століття змінила погляд на науку.....	76
Розділ 5. Електрика: відкриття, становлення, розвиток та застосування.....	114
Розділ 6. Вулканізація резини - початок полімерної ери розвитку промисловості.....	127
Розділ 7. Чи просто зупинити аварійний струм?.....	139
Розділ 8. Саліцилова кислота та аспірин - від часів Гіпократу до лабораторії Bayer AG.....	159
Розділ 9. Процес промислової перегонки нафти, як основного джерела моторних палив та сировини для органічного синтезу....	165
Розділ 10. Біосфера - найважливіше відкриття академіка Вернадського.....	178
Розділ 11. Процес промислового коксування вугілля – спусковий гачок промислової революції.....	185
Розділ 12. Нова епоха людства: Інтернет та мережі.....	201

## Вступ

### Для вчителя...

Шановний Вчитель!

Посібник, який Ви тримаєте в руках не є типовим підручником. «Великі наукові ідеї, які змінили Світ» це ліпше карта скарбів для вчителя, який бажає, об'єднавши всі можливі навчальні дисципліни провести своїх учнів шляхом дивовижних чудес, на які здатна людська фантазія та наука.

Головна ідея цього міждисциплінарного проекту – продемонструвати, як наукові відкриття та винаходи змінили життя людства.

Мета проекту:

- мотивація школярів до вивчення дисциплін природничо-математичного профілю;
- популяризація природничо-математичних наук та інженерно-технічних спеціальностей;
- підвищення рівня мультидисциплінароності та багатопрофільності у навчанні;
- розвиток у учнів фантазії та уяви, а також розуміння необхідності потреби всебічного розвитку;
- підготовка нового покоління фахівців, здатного приймати виклики майбутнього і створювати нові безпечні технології та продукти.

Навчальний посібник містить дванадцять розділів (уроків) з таких навчальних дисциплін, як фізика, хімія, астрономія, біологія, математика, інформатика, історія, трудове навчання та технології. Кожен розділ має необхідне методичне забезпечення для проведення уроку за тематикою. Всі розділи мають однакову структуру і включають в себе: тему, мету та завдання, історичний екскурс щодо того чи іншого наукового відкриття, його теоретичне обґрунтування.

Наприкінці кожного розділу міститься лабораторна робота, яка дозволяє учням на практиці познайомитися із предметом дослідження. Всі лабораторні роботи та наочні демонстрації розроблялися таким чином, щоб їх легко можна було повторити в рамках шкільного уроку. Додавання практичної складової сприятиме кращому усвідомленню школярами теми уроку та їхньому всебічному розвитку.

Всі розділи упорядковані у посібнику таким чином, щоб висвітлені теми викладалися у хронологічному порядку, рухаючись від давніх часів до сьогодення.

*Посібник містить наступні теми Уроків:*

1. Мило: відкриття довжиною в тисячоліття.
2. Як теплові машини змінили світ.
3. Токарний верстат. Що? Де? Коли? Для чого?
4. Як оптика XVII століття змінила погляд на науку.
5. Електрика: відкриття, становлення, розвиток та застосування.
6. Вулканізація резини - початок полімерної ери розвитку промисловості.
7. Чи просто зупинити аварійний струм?
8. Саліцилова кислота та аспірин – від часів Гіпократу до лабораторії Bayer AG.
9. Процес промислової перегонки нафти, як основного джерела моторних палив та сировини для органічного синтезу.
10. Біосфера - найважливіше відкриття академіка Вернадського.
11. Процес промислового коксування вугілля – спусковий гачок промислової революції.
12. Нова епоха людства: мережа та Інтернет.

Цей навчальний посібник став результатом кількох років кропіткої праці. Автори уроків – досвідчені викладачі та молоді вчені НТУ "ХПІ", що займаються популяризацією природничо-математичних та інженерно-технічних наук і мають багаторічний досвід в організації та проведенні STEM-заходів, серед яких: #STEMCampSchool, Міжнародний день Світла, Канікули з Політехом, Слідами CHORNOBYL тощо.

Навчальний посібник рекомендовано для проведення у школах серії уроків протягом лютого-квітня із завершенням відкритим заходом, приуроченим до Дня Науки (третя неділя квітня).

Рекомендовано розглядати запропоновані у посібнику теми, як комплекс явищ, наукових та інженерних відкриттів у історичному контексті з обов'язковим виконанням лабораторної роботи чи наочної демонстрації. Подібний підхід не лише дозволить увести до навчання аспекти мультидисциплінарності та вказати на взаємозв'язки різних за своїм характером наук, а ще й сприятиме кращому усвідомленню школярами необхідності всебічного розвитку, мотивуватиме до обрання природничо-математичних та інженерно-технічних спеціальностей у подальшій освіті та підготує їх до вирішення завдань майбутнього.



### Для учня...

Одного разу Джон Кеннеді сказав, що найнезвичайніший комп'ютер на землі це людина. У січні 1961 року Джон Кеннеді став 35 президентом США. А вже 12 квітня того ж року трапилася подія, яка змінила весь світ на «до» та «після». Молодий, нікому невідомий старший лейтенант сказавши «Поїхали!» із космічного корабля «Восток», зробив перший у світі політ у космічний простір облетівши навколо Землі за 108 хвилин (згадаємо героїв Жюль Верна які сторіччя тому витратили на цю подорож 80 днів). А вже через вісім років троє американців на космічному кораблі “Аполло-11” стартували в бік Місяця і 20 червня 1969 року на весь світ пролунала фраза Ніла Армстронга - “The Eagle has landed. Це один маленький крок для людини та величезний стрибок для людства”, який вперше в історії ступив на поверхню іншого небесного тіла.

З тих пір пройшло понад 60 років. Типовий сучасний смартфон за своїми обчислювальними можливостями в рази перевищує Apollo Guidance Computer, які допомогли людям висадитись на поверхню Місяця. Сукупна пам'ять комп'ютерів в десятки разів перевищує людську. Але є те, чого комп'ютери все ще не вміють. Це здатність створювати ідеї...

Ідеї не народжуються у вакуумі. З'явившись одного разу, вона залишається жити на Землі. Ними діляться. Їх розвивають. Іноді забувають, щоб згадати через кілька років, а чи десятиліть, якщо час ідеї ще не настав. А буває, що і «позичають», а чи навіть крадуть! Протягом століть наші ідеї розвивалися. Вони створювали нові технології, рухали вперед технічний прогрес. Сьогодні вже важко сказати, що є головними засобами виробництва: робоча сила і капітал, чи, можливо, людський інтелект?

Коли Ньютон від падіння яблука перейшов до роздумів про місяць – це був стрибок уяви. У Фарадея гра думок завжди передувала його дослідям. Ще у XIX столітті на це звернув увагу англійський фізик Джон Тиндаль у своїй праці «Про роль уяви у розвитку науки».

Саме уява є тим, що відрізняє нас від комп'ютерів. Ми можемо скільки завгодно говорити про нейромережі та штучний інтелект. Але для машинного навчання, як і раніше необхідні цілком конкретні приклади. Фантазія та уява все ще залишає нас унікальними і безцінними. І важливо не втрати це вміння. Перший директор Харківського технологічного університету Віктор Львович Кирпичов одного разу сказав: «Важко піднятися самому на високу гору. Але коли вас підняли на висоту, то легко піднятися трішки вище».

Якими б чудовими не були сучасні технології. Їх завжди можна зробити трішки краще. Досліджуйте їх. Вивчайте їх. Повторюйте їх. Але наприкінці обов'язково спробуйте зробити їх трішки кращими. І якщо Вам це вдасться, хто знає, про кого будуть писати в підручниках через наступні шістдесят років.

Далі на Вас чекають змістовні розділи, присвячені різним епохам та відкриттям, а ми працюємо над продовженням для того, щоб ще різноманітніше продемонструвати учням середніх та старших класів роль вчених, винахідників та інженерів у розвитку нашої цивілізації.

Книга, яку ви тримаєте в руках, дозволила поринути у дивовижний світ науки. Сподіваємося, вам було цікаво ним подорожувати. Тож давайте не будемо зупинятися! В наступній частині ми продовжимо знайомитися з науковими ідеями, вплив яких на суспільство не послаблюється з плином часу.

Ми відправимося у мандрівку у часі, від древніх греків, які винайшли нуль та зуміли розрахувати радіус Землі й до електроніки та віртуальної реальності. Будемо знайомитися з Великими науковими ідеями, які змінювали наш Світ з давніх давен й надалі продовжують змінювати його і сьогодні. Математика, фізика, хімія, біологія, інформатика, технології та, звісно ж, історія знов будуть невід'ємно пов'язані не тільки в теорії, але й на реальних прикладах з нашого життя.

Ви та Ваші учні зможуть поринути в реальний світ науки та нових знань.

## Розділ 1

# МИЛО: ВІДКРИТТЯ ДОВЖИНОЮ В ТИСЯЧОЛІТТЯ

*Матюхов Дмитро Володимирович  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»  
Кафедра технології жирів та продуків бродіння*

**Тема:** Мило як речовина і товарний продукт. Хімія і технологія миловаріння.

**Мета та завдання уроку:**

- Пояснення зв'язку між базовими знаннями з хімії та побутовими явищами і виробничими технологіями на прикладі мила та процесу його виробництва.
- Ознайомлення учнів зі складом та структурою таких класів речовин як триацилгліцероли (жири), карбонові кислоти, солі вищих карбонових кислот (мила).
- Наповнення практичним змістом хімічних понять «водневий показник», «хімічна рівновага», реакції нейтралізації та гідролізу.
- Створення теоретичного та мотиваційного підґрунтя для застосування отриманих знань на практиці і стимулювання до набуття власного експериментального досвіду.

**Мотивація учнів до навчальної діяльності** здійснюється завдяки:

- залученню до лекційного матеріалу відомостей та кейсів з актуальних серед молоді культурних явищ
- екскурсам в історію науки та її успіхів і розгляду теми у контексті розвитку цивілізації загалом.
- запрошенню до обговорення, сумісному пошуку відповідей на поставлені запитання та можливості продовження дискусії після виконання домашнього завдання.

Вчитель може використовувати заздалегідь підготовлений матеріал для його демонстрації засобами мультимедіа з метою поживлення реакції учнів. Текст, викладений нижче, містить кількість відомостей, можливо, занадто велику для одного уроку, але в такому випадку його можна використовувати з врахуванням активності, інтересів учнів, їх рівня підготовки та ін. обставин, або матеріал може бути застосований впродовж декількох уроків чи в межах факультативу на розсуд вчителя.

### План уроку:

#### 1. Виявлення ступеню готовності учнів до уроку.

2. Вступне слово. Мотиваційна частина. Постановка актуальних питань.
3. Викладення основного матеріалу уроку.
4. Видача домашнього завдання. Висновки. Підсумки уроку.

### 1.1. Велике у повсякденному.

Мабуть, ви очікуєте від уроку хімії з темою «Мило», що він почнеться словами «Мило - це речовина, яка належить до класу...» Можливо, так і треба, але для більшості людей мило – це просто предмет побуту. А що ми можемо сказати про мило з нашого побутового досвіду? Наприклад, що воно завжди під рукою. Навіть у буквальному розумінні, тому що саме ним ми звикли мити руки, воно має таку форму і розмір, щоб його зручно було тримати, хоча всім відомо, що воно слизьке, коли вологе, і його важко втримати, коли воно змилюється і стає маленьким. А можливо, ви помічали, що різне мило змилюється (витрачається) з різною швидкістю, воно по-різному «милке», тобто краще чи гірше переходить на руки, може давати різну кількість та якість піни. Іноді мило «підводить»: розтріскується, а іноді - розм'якає. Іноді після миття рук (хоча за самим милом такого могло не спостерігатися) на них залишається не дуже приємний запах. Ну що, помічали щось із цього? Вочевидь, мило не таке просте і однакове, як здається на перший погляд. Чи достатньо цього, щоб захотіти дізнатися про нього більше?

Що ми ще знаємо про мило? Воно прийшло до нас з глибин століть, і можливо, ви вважаєте, що мило у брусківній формі вже не актуальне, не прогресивне і от-от витісниться «рідким милом» з дозатору, якими оснащені солідні місця суспільного користування; а крім того, такі ж рішення для миття рук пропонуються давно і для домашнього вжитку. Більш того, для миття голови та тіла, а також прання, мило давно таки витіснено відповідно шампунями, гелями для душу та пральними порошками. Але суспільні місця – то суспільні місця, мінімізація контактів відвідувачів для них є метою і нормою, особливо коли на перший план впливає епідеміологічний фактор. Окрім того, фактом залишається те, що на дотик «рідке мило» не таке приємне як «звичайне», гірше змивається, і забігаючи наперед, з хімічної точки зору часто не зовсім мило, чи взагалі не мило.

А окрім перелічених вже форм, впевнений, ви одразу згадаєте про такі відомі різновиди, як мило-крем, бактерицидне мило, декоративне крафтове мило, яке останнім часом дуже популярне, як і його виробництво (як легко переконатись за допомогою відеосервісу youtube).

Навіть якби ви не вивчали хімію чи історію (до речі, ЗНО з обох цих предметів на вибір зараз можна здавати, щоб стати після навчання в університеті професійним миловаром) культурний вплив мила ви точно



відчуваєте. В популярному аніме Dr. Stone, що побачило світ у 2019 р., в якому за сюжетом людство припинило своє існування, перетворившись на кам'яні статуї, герої, яким вдалося скинути свою кам'яну оболонку через тисячі років потому змушені з нуля, виходячи з найпростіших природних ресурсів, відроджувати цивілізацію з її технічними благами.



Рисунок 1.1 Постер до аніме «Dr Stone», 2019 р.

Це досить нетипове аніме, зроблене під явним впливом наукопопу, але від цього не менш цікаве. Одним з найвизначніших винаходів людства, які герої відтворили у першу чергу, було мило, яке розглядалося як санітарний засіб, без якого зусилля малої групи людей в перспективі були майже приречені. І це навряд чи перебільшення.

Зараз, здається, всім відомо, що у лікарнях інструмент стерилізується і взагалі, дезінфікуються повітря, поверхні, одяг, а руки персоналу проходять асептизацію. Про всяк випадок, як можна подумати. Але мало хто уявляє можливі наслідки відмови від таких процедур. Ось абсолютно реальна історія. У XIX столітті в Європі, зокрема в Австро-угорської імперії, в клініках часто спалахували епідемії «родильної гарячки», як її називали і яку вважали за окрему, специфічну хворобу, яка забирала до 60% життів пацієнток та їх дітей. Акушер Ігнац Земельвейс здогадався, що пацієнти помирали від сепсису, який було викликано отруйними речовинами на недостатньо чистих руках персоналу, який оглядав хворих. Миття рук з милом виявилось навіть недостатньо і Земельвейс запровадив миття інструменту та рук хлорною водою, що

зменшило кількість смертей більш ніж у 10 разів. Цей приклад вчить, що гігієна рук – річ дуже серйозна. А ми віддячимо доктору публікацією його портрету.



Рисунок 1.2 Ігнац Земельвейс

### **1.2 Зухвалість та нахабство.**

Мило з повним правом можна вважати культовим предметом в масштабах людства.

А пам'ятаєте, чим заробляє на життя харизматичний герой Бреда Піта з не менш культового фільму «Бійцівський клуб»?

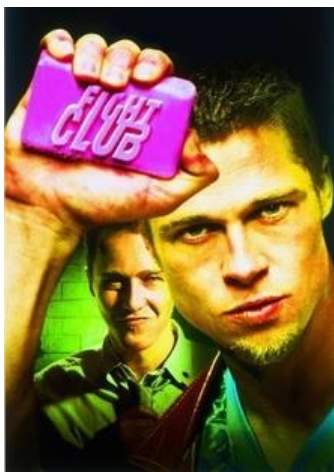


Рисунок 1.3 Постер фільму «Fight Club» (1999 р.)

Так, він робить власне те саме крафтове мило, при чому дуже похуліганські: застосовуючи для виробництва викрадений з лікарень людський жир, точніше, жир з запасних тканин людини, вилучений під час косметичних операцій. Не дуже приємні подробиці, але ж мистецтво не цурається провокації і виклику. До речі, в справжній історії бувало і не таке, але це вже тема гідна вечора Геловіна. Інша річ, що Тайлер Дерден у фільмі заявляє, що людський жир – якнайкраще підходить для цієї мети.

*“The best fat for making soap -- because the salt balance is just right - comes from human bodies.”*

Стривайте, культовий статус кіно – річ зрозуміла, але чи правдивим є наведене твердження? І що потрібно, щоб відповісти на це питання? Спойлер: Скоро нам знадобиться хімія.

Одразу треба попередити, що придивляючись до популярних джерел серед мистецьких творів, особливо набагато молодших за «Breaking Bad» де хімічні пригоди, нарешті, виглядають більш-менш правдоподібними, треба бути пильним і проявляти значну міру скепсису. От і тут, про який сольовий баланс йдеться, м'яко кажучи, не дуже зрозуміло. Що ж, нарешті прийшов момент розкрити хімічну сутність мила.

### 1.3 Формула мила.

Взагалі, милами називають солі вищих карбонових (а по-іншому «жирних») кислот. В більш вузькому та практичному сенсі – солі саме лужних металів (в першу чергу натрію та калію), бо тільки вони характеризуються достатньою розчинністю у воді і головне – поверхневою активністю і миючою здатністю. А з самими карбоновими кислотами ви точно знайомі, принаймні, з однією. Оцет, що використовується в кулінарії як приправа, - це розчин оцтової кислоти, вона ж за міжнародною, професійною номенклатурою хіміків – етанова кислота, друга в гомологічному ряді карбонових кислот.

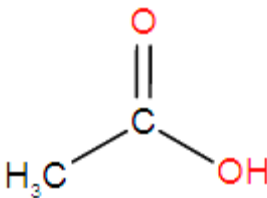


Рисунок 1.4 Оцетна кислота.

А жирними кислотами вважаються кислоти з кількістю атомів вуглецю у вуглеводневому ланцюгу (у оцтової кислоти їх, як видно з картинки, два) більше 10-ти, найчастіше 18, але також часто 12, 14, та 16. Ось, наприклад, октадеканова (вона ж стеаринова) кислота.

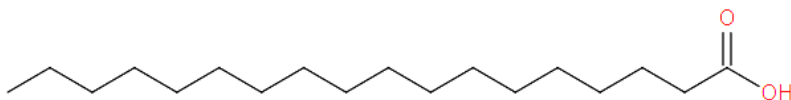


Рисунок 1.5 Вища карбонова (жирна) кислота.

Джерелом атомів натрію та калію для мил є луги, або лужні агенти. А от де ми візьмемо жирні кислоти? Саме тут назва влучно нам підказує – з жирів, бо жири в академічному тлумаченні є складними ефірами (це знов така назва класу речовин) жирних кислот та гліцерину.

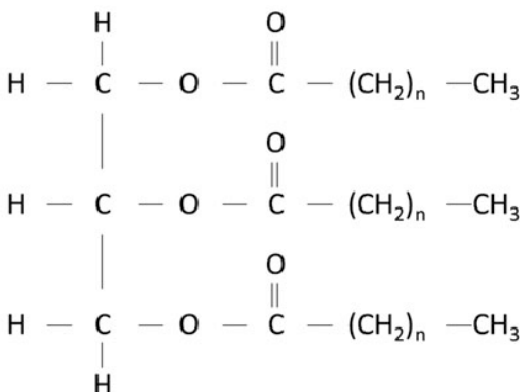


Рисунок 1.6 Молекула триацилгліцеролу.

Впізнаєте в структурній формулі цієї молекули три ацили (залишки) карбонових кислот?

#### 1.4 Хімія милоутворення.

Насправді, маємо два схожих, але все ж таки хімічно принципово різних способи отримати мило. Перший – провести реакцію між жирною кислотою та лужним агентом (це буде називатись нейтралізацією) Другий – між ацилгліцеролом та лужним агентом. Це вже буде реакція омилення.

В якості лужного агенту в промислових масштабах застосовують або гідроксид натрію (традиційна назва «каустична сода»), або карбонат натрію (традиційна назва «кальцинована сода»). Розглянемо нейтралізацію карбонової кислоти гідроксидом натрію.





А як відбувається реакція тієї ж кислоти з содою? Чому сода «їсть руки»? Вочевидь, тому що має лужну реакцію, але чому так? Справа у частковому гідролізі соди за рівнянням:



Як бачимо, утворюється луг, який вступає в реакцію нейтралізації за наведеним вище рівнянням.

А гідрокарбонат натрію розкладається, вивільняючи двоокис вуглецю. Рівновага процесу зміщується, а сода поступово витрачається.



Цікаво, що мило також піддається гідролізу



Насправді це просто реакція зворотна нейтралізації, тобто існує рівновага в цьому процесі, а повної чи майже повної нейтралізації при миловарінні вдається досягти завдяки надлишку лугу.

В нейтральних та кислих розчинах молекули жирної кислоти, що слабо дисоційовані, та мила, що сильно дисоційовані, утворюють комплекси, так звані кислі мила, різного стехіометричного складу.



Кислі мила майже нерозчинні. Зруйнувати їх складно, особливо виправити ситуацію під час технологічного процесу з великою масою речовини. Тому є дуже принциповим підтримувати лужне середовище під час всього процесу миловаріння. З тієї ж причини саме жирні кислоти додають до лужного розчину і ніколи не навпаки.

### 1.5 Як і з чого варять мило?

Отже, з точки зору промисловості все упирається в сировинні джерела. Жири та жирні кислоти можна отримати з різних природних ресурсів та навіть синтетичним шляхом, але все одно без природних ресурсів не обходиться, просто вони в останньому випадку інші. Мило можна варити з джерел, що відновлюються, та таких, що не відновлюються; з першокласних харчових жирів та з жаклих відходів виробництва; з

деяких нафтопродуктів та навіть з каніфолі (тієї, що електронники використовують для паяння).

Властивості кускового мила можна поділити на користувацькі як миюча здатність, швидкість розчинності, пінотворна здатність, стабільність піни, здатність опиратися і розкисанню і розтріскуванню; та технологічні, бо мило має добре піддаватись обробці на різних стадіях свого виготовлення. Воно має бути то достатньо пластичним, то достатньо твердим. Має бути зрозумілим, що всі ці властивості дуже значною мірою залежать від того, які саме жирні кислоти і в якій кількості входили до складу сировини, тобто від його жирнокислотного складу.

І ще зрозуміло, що найкращого мила на всі випадки життя, поза залежністю від умов не може існувати, бо насправді умови використання мила коливаються (жорсткість та температура води, наприклад), і взагалі, різні властивості навіть для одних і тих самих умов мають кожна свій, залежний від жирнокислотного складу оптимум. Можна лише сподіватися досягти компромісу – за допомогою балансування між вимогами шляхом варіювання вмістом компонентів. Чи не це намагався сказати автор через Тайлера Дердена?

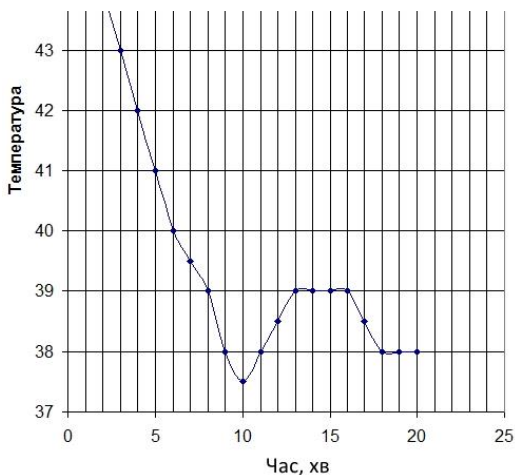


Рисунок 1.7 Титр жиру.

Якщо визначити найголовніші вимоги до мила, то отримаємо такий перелік: мило має бути твердим, пластичним при гарячій обробці, помірно добре милитись, давати стійку пишну піну, не розтріскуватись, не змилюватись занадто швидко. У згаданому балансі можуть приймати участь багато компонентів, тому бажано мати якесь узагальнене однозначне вираження. Таким чисельним вираженням є так званий **титр**

**жиру.** Це локальний максимум температури, що спостерігається при твердінні (під час охолодження) жирних кислот, виділених з жиру внаслідок гідролізу (розщеплення) триацилгліцеролів.

З рисунка видно, що титр досліджуваної суміші жирних кислот в даному випадку дорівнює 39 °С. Титр суміші жирів, яка дасть жирні кислоти для отримання мила, що є компромісним, має лежати в межах 35-41 °С. Вкластися в цей інтервал можна багатьма способами, бо як вже було сказано, існує багато різновидів сировини, однак, деякі його види особливо цінні. На їхній основі створено так звану «класичну рецептуру» жирової сировини. Вона складається.. ні, не з людського жиру. З яловичого жиру (80-85%) та кокосової олії (15-20%). Жирнокислотний склад цієї суміші у порівнянні з людським жиром надамо в наступній таблиці:

Таблиця 1.1 – Порівняння складу жирів

Назва кислоти	Вміст кислоти, %	
	Жир запасної тканини людини	Жирова суміш за класичною рецептурою
Міристинова+Лауринова	3-6	11-15
Пальмітинова	24	23-25
Стеаринова	4-8	20-22
Олеїнова	45	35-37
Лінолева	10	1
Пальмітолеїнова	5-7	5

Прийнятний результат та збалансованість **класичної рецептури** досягаються за рахунок наявності солей міристинової та лауринової кислот, які додають пластичності милу, добре розчиняються та піняться; пальмітинової та стеаринової кислот, що додають твердості та економічності при розходуванні.

Олеїнова кислота в рецептурі також потрібна для підвищення розчинності мила, а також для зниження показника титру. Як видно з таблиці на відміну від класичної рецептури в людському жирі забагато олеїнової кислоти, замало стеаринової, а окрім того, в значній кількості міститься лінолева кислота, що також знижує титр жиру і до того ж призводить до більш швидкого прогоркання (окислення, псування) мила. Таким чином жир запасних тканин людини має істотні недоліки перед класичною рецептурою.

Інша бажана сировина для уведення до рецептур мила представлена пальмовим маслом та продуктами його переробки

(пальмовим стеарином), а також пальмоядровим маслом, бавовняною, оливковою, та деякими іншими оліями.

Але омилення жиру (отримання мильного клею) – це тільки перша суттєва стадія на шляху до отримання твердого мила. Далі технологія може піти одним з двох шляхів, які носять назву прямий та непрямий метод. Другий дозволяє паралельно в якійсь мірі позбутися забруднень, що майже завжди присутні у жировій сировині, тому при періодичному процесі у великому котлі частіше використовують саме його. Це відбувається завдяки процесу висолювання мила з отриманням мильного ядра та підмильного лугу (до якого переходять домішки). Процес базується на тому, що мильний клей при додаванні до нього розчину електроліту розшаровується на два указані вище продукти.

З огляду на це жири та масла цікаво і корисно розглянути ще з точки зору легкості отримання концентрованого мильного ядра (його концентрація у перерахунку на жирні кислоти від 48 до 63%), яка визначається через критичну концентрацію електроліту (наприклад, NaOH), тобто таку мінімальну його концентрацію, за якої відбувається розшаровування мильного клею.

Жири, що дають мило, яке легко висолюється, називають ядровими. До таких відносять яловичий жир, соняшникову, оливкову, кукурудзяну олію. Для обробки мильного клею з них достатньо мати концентрацію лугу 4,6%. Для пальмової олії вона також невисока – 5%. А от пальмоядрове, кокосове масло та рицинова олія відносяться до клейових жирів. Мило, зварене з них, висолити важко і потрібні високі концентрації електроліту: для пальмоядрового масла 13,6%, для кокосового 17,7 %, а для рицинової олії 23,0%.

Надмірний вміст електролітів в готовому продукті – твердому милі буде приводити до розтріскування мила, тому наступною стадією є шліфування мильного ядра, тобто уведення до нього слабколужної води. В результаті від ядра відокремлюється нова фаза, мильний клей, який можна використовувати у наступному циклі варки мила, концентрація електроліта падає, структура ядра поліпшується. Далі мильне ядро підсушується. До отриманої мильної стружки (основи) додаються різноманітні добавки: ароматизатори, барвники, наповнювачі, пластифікатори, антиоксиданти та інші компоненти. Суміш ретельно вимішується і потім починається процес формування мильної штанги, що ріжеться на шматочки, яким надається остаточна форма. Ця частина технологічного процесу конвеєрного характеру носить назву механічної обробки мила.

Мило, як ви розумієте, має лужну реакцію. І залишок лугу, який в ньому міститься має бути невеликим, щоб з одного боку не допускати істотного гідролізу мила, а з іншого – не призводити до подразнення шкіри.

Лужність вимірюється і контролюється за рН, а також за вмістом содопродуктів (у перерахунку на  $\text{Na}_2\text{O}$ ) і це справа заводської лабораторії і хіміків-аналітиків. Рівень останнього показника – не більше 0,1-0,2%. Не дуже просто втримати такий! До речі, оцініть приблизно, якому значенню рН розчину буде відповідати такий вміст содопродуктів?

### **1.6 Бонус! Хімічна історія або Історична хімія мила.**

Тепер, коли ми знаємо, що собою становить мило та як можна його отримати, пропоную подумки здійснити подорож у часі, щоб оцінити, наскільки є правдоподібними версії його виникнення та дізнатись про шлях мила до теперішнього status quo.

Коли точно чи навіть приблизно мильні розчини увійшли у побут людей, ніхто насправді і не скаже. Ясно тільки, що це було так давно, що люди далеко не одразу усвідомили, що відбулося і у чому річ. Ну а що до брускового твердого концентрованого мила, до нього справа взагалі дійшла відносно нещодавно.

Давні люди перші блага отримували безпосередньо з природи, а в природі мила нема, для його утворення потрібні певні умови. Тому існує версія, що першими миючими засобами на службі людства були не мила, а рослинні екстракти природних поверхнево-активних речовин (ПАР), аналоги мила. Аналогами їх ми звемо тут умовно, бо аналогічними є їхні властивості: пінотворна здатність, а тож емульгуюча, та миюча. Закономірним чином історія повторюється, і зараз чимало можна знайти серед сучасних людей фанатів природних миючих засобів (останні, щоправда далеко не такі ефективні, як мила чи інші, синтетичні ПАР). Досі ми не зачіпали цього терміну і не характеризували мило як ПАР, хоча це ключ до відповіді на питання «чому мило мие?», але ми робили це навмисно, щоб не відволікатись від розповіді про виготовлення мила як продукту, а те, що воно мие, здається, і так, усім відомо. Але зараз цей момент можна і пояснити.

Якщо максимально коротко і образно, то розчини поверхнево-активних речовин в більшій чи меншій мірі проявляють миючу дію, бо їм вдається всидіти на двох стільцях, «подружити» два середовища – миючий розчин та забруднену поверхню і таким чином полегшити перехід бруду з поверхні у розчин. ПАР – це не клас речовин, ними можуть бути представники різних класів, які поєднує принцип побудови молекули. Це принцип діфільності. Часто про таку структуру говорять: полярна «голова» - неполярний «хвіст». Ось вона схематично на прикладі мила:



Рисунок 1.7 Схематичне зображення будови молекули ПАР.

А якщо не схематично, то іноді картина виглядає складнішою, як у одного з сапонінів (соланіну), формула якого зображена нижче. Ліворуч - «голова», праворуч - «хвіст».

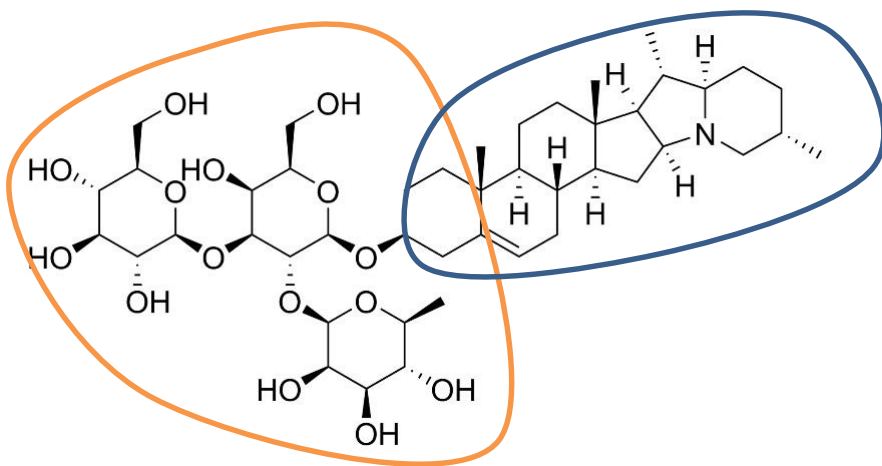


Рисунок 1.8 Структурна формула молекули соланіну.

Сапоніни – клас складних різноманітних речовин, корисних і небезпечних завдяки своїй біологічній активності в залежності від умов. Деякі з них вводять у вітчизняні рецептури халви. Завдяки цим харчовим ПАР вдається «подружити» полярні цукри і неполярну олію, які в великій кількості присутні в складі халви. Отже, скоріш за все, що саме сапоніни чи якісь інші природні ПАР були першими миючими засобами, відомими людству.

Більш ніж за 2000 років до РХ на шумерських глиняних табличках вже було знайдено такий рецепт: вода, луг та корична олія. Роль лугу в ті часи, вочевидь, виконувала зола певних рослин. І дійсно, деякі з них вельми багаті на карбонат калію (традиційна назва – поташ,  $K_2CO_3$ ) який, як і кальцинована сода  $Na_2CO_3$ , гідролізуючись водою, дає відповідний луг.

Наприклад, в золі, отриманої з деревини, міститься від 7 до 13% поташу, а в золі від стеблів соняшника - до 40%! Можливо, якщо нанести на жирну шкіру водну суспензію золи можна досягти ефекту очищення. У Біблії, у Старому Заповіті згадується в контексті очищення продукт, значення якого у перекладі «сіль, отримана з дерева».

Дуже популярна легенда про те, що сучасне англійське слово soap (мило) пішло від назви пагорба (Sapo) де в часи стародавнього Риму приносилися в жертву (тобто спалювалися) тварини. Таким чином мали шанс змішатися дощова вода, зола та жир. Жителі, що прали одяг у річці, куди стікали води з пагорбу помічали, що одяг у тих водах очищується значно краще.

За іншою версією давні гали отримали мило, коли намагалися вдосконалити процес витоплювання жиру з сала, застосувавши лужну воду.

Розкопки всім відомої Помпеї (місто загинуло у 79 році нашої ери) показали, що у місті існувало облаштоване виробництво якогось чи то косметичного, чи то гігієнічного засобу. Багато хто думає, що це могло бути мило.

Тут треба зупинитись, щоб трохи притримати фантазію і нагадати: всі ці події – це в першу чергу тлумачення дослідниками текстів стародавніми мовами з усіма наслідками від перекладів. Без сумніву, у згаданих випадках мило мало шанс утворитись, але з яким виходом? Чи достатнім був ефект багатьох із згаданих рецептів та засобів саме як від мила?

Насправді, коли цілеспрямовано почали отримувати, а особливо «варити» те, що ми зараз хоча б з натяжкою назвали б милом – це дискусійне питання. Проте з упевненістю можна стверджувати, що якимось це трапилось. Можливо, поступово людство підвищувало вихід мила в своїх спробах, вчилось його концентрувати. Шкода, але тодішні науковці воліли радше займатися високими науками, фундаментальними, як сказали би зараз, і не вважали за потрібне писати методики та підручники з миловаріння. Торговці возили мило туди-сюди, але яким воно було?

Вважається що фінікійці були тими хто значно розвинув виробництво мила і поставив його «на широку ногу». Мило робили усі: араби, тюрки, вікінги, кельти, скіфи. З IX-го століття Марсель – знаний центр виробництва мила в Європі, а також Савона (Італія) і Кастіла (Іспанія). В Англії (Бристоль) мило виробляють з XII-го століття.

Говорячи про Русь, деякі обставини, пов'язані з милом, можна з'ясувати, як це часто буває, з різних бюрократичних джерел: митних, торговельних, судових. У Львові у XIV столітті існувала миловарня вірменина Аміра. Відомо, що у XV столітті милом торгували як у бочках, так і брусках. Очевидно, що раніше за XVII століття відкривається роль

повареної солі в тому, щоб перетворити більш рідкі калійні мила (з золи і поташу) на тверді (натрові) та його висолоююча спроможність.

До XVI-го століття в Європі мило - не дуже актуальний товар. Це задоволення, як і купання загалом, залишається доступним лише багатим людям.

У XVII-XVIII століттях ситуація не змінюється на краще. Високі податки та монополія, і як наслідок, високі ціни, не дозволяли милу стати масовим товаром. І тільки в другій половині XIX століття Вільям Гладстоун, британський прем'єр-міністр, подав добрий приклад, вирішивши проблему з податками на мило, що стало причиною бума виробництва.

Але передумови бурхливого розвитку миловаріння були створені трохи раніше. І зроблено це було завдяки зусиллям хіміків.

У 1787 р. Ніколя Леблан винайшов спосіб отримання каустичної соди (NaOH) з хлориду натрію.

У 1823р. Мішель Євген Шеврель відкрив природу жирів і встановив остаточно хімізм реакції омилення.

У 1861 Ернест Сольве знайшов ще один спосіб отримувати кальциновану соду з аміаку, хлориду натрію та вуглекислого газу, що відкрило шлях для широкого використання альтернативного лужного агента.

Згодом м'ясна промисловість досягла успіхів у збиранні та зберіганні відходів виробництва, і таким чином забезпечила миловарів доступною та якісною сировиною.

## **1.7 Мило та королі.**

### **1.7.1 Славне мило з Марселю. Народження стандарту.**

Король-Сонце, Людовик XIV у 1688 р. видав указ, який забороняв використовувати тваринні жири для миловаріння. Так миловари перейшли (вкотре і не в останнє в історії) на оливкову та пальмову олії, а вміст за жирними кислотами в милі мав бути не менше 72%, що підтверджувалось спеціальним клеймом. Хоча це мило було дещо незвичної для нас, кубічної форми, у іншому, як бачите, воно дуже нагадувало те, що ми можемо «напромити» сьогодні.





Рисунок 1.9 72%! Стабільність у світі. Від Людовика XIV до наших днів.

### **1.7.2 Сучасник Карла I, що живе досі.**

Одного разу молода людина, дехто William Yardley, заплатила королю Карлу I велику суму грошей за право виробляти мило для всього Лондона. Деталі цієї угоди втрачено у великій пожежі 1666 року. Але вже 1770 року сімейна справа Yardley, а точніше їх лавандове мило, перетворилося на перший мильний бренд в історії. Те мило позиціонувалось як засіб для гоління. Дуже скоро з'ясувалось, що завдяки привабливому аромату продукт користується великою популярністю і серед жінок. Можу закластися, що ваші бабусі (чи прабабусі) мали звичку ароматизувати дорогим імпортом милом білизну у шухлядках комодів.

Як не дивно, мило цього бренду випускається і досі, хоча навряд чи воно колись до вас потрапить. Існують компанії, які зробили собі ім'я на милі, як Colgate-Palmolive (заснована в 1806 р.), хоча вам вона відома зараз завдяки іншим продуктам. А от Procter & Gamble (заснована в 1837 р.), яка потім перейшла переважно на синтетичні та косметичні засоби, хараз володіє брендом Saveguard, який першим, мабуть, асоціюється у нас з антибактеріальним чи медичним милом.

### **1.7.3 Харків – місто мила. Зв'язок поколінь.**

Легендарні королі – це, звісно, цікаво, скаже практично налаштований слухач. А коли, запитає він, історія, нарешті переходить у сучасність і починає мати відношення до нас? Автори книжки, яку ви тримаєте в руках, працюють у НТУ «ХПІ», який було створено на виклик часу і який з перших років свого існування обслуговував потреби промисловості кадрами, дослідженнями і технологіями.

Якщо ви відкриєте будь-який класичний підручник чи довідник з миловаріння, виданий за часів СРСР чи в Україні, обов'язково зустрінете

там такі прізвища, як Тютюнников, Науменко, Без'ятов та описання досвіду Харківського миловарного комбінату, який завдяки праці згаданих науковців та інженерів увійшов до вітчизняної історії як інноваційне підприємство, на якому у 1954 р. було реалізовано безперервний процес миловаріння прямим карбонатним методом, що безумовно, стало новим словом на шляху механізації та автоматизації виробництва мила. Установа отримала назву ТНБ за початковими літерами прізвищ розробників цієї технології. Прямий метод означає, що мило утворюється внаслідок нейтралізації жирних кислот, які у промислових масштабах ще потрібно отримати. Способами отримання жирних кислот гідролізом та окисленням парафінів, а також перетворенням рідких жирних кислот на тверді, більш цінні для миловаріння і займалися науковці славетної харківської школи. Всі вони закінчили в свій час Харківський Політех.

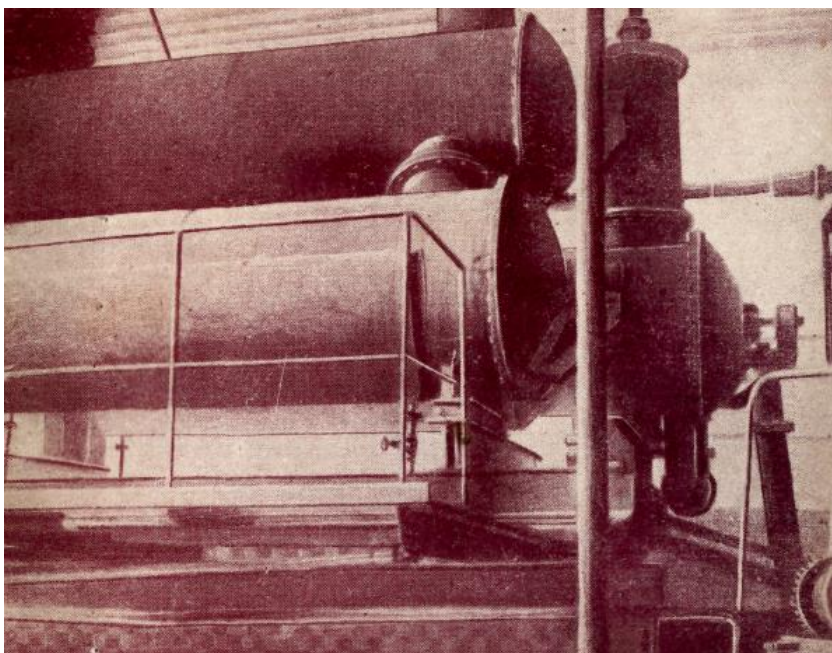


Рисунок 1.10 Установа безперервного миловаріння ТНБ.

Безп'ятов Михайло Прокопович працював доцентом на кафедрі технології жирів, досліджував фізико-хімічні властивості розчинів мил, розробляв контактний спосіб розщеплення (гідролізу) жирів, займався питанням омилення синтетичних жирних кислот (СЖК). Згодом, в результаті цих робіт, в країні вироблялось 450 000 тон СЖК на рік, що лише

в декілька разів менше, ніж можна було отримати з усієї олійної сировини, що вирощувалася на території України.

Науменко Петро Васильович після закінчення Політеху працював головним інженером харківського миловарного комбінату. У 1951 році він стає заступником міністра харчової промисловості СРСР. Його відзначено державними нагородами за розробку і впровадження метода безреактивного гідролізу жирів.

Лауреата Державної премії Бориса Никаноровича Тютюнникова знає кожен студент кафедри технології жирів та продуктів бродіння. Можна сказати, що це він створив харківську наукову школу в галузі хімії та технології жирів і очолював кафедру майже 50 років. Учень Б.Н. Тютюнникова - Федір Федорович Гладкий, який завідував кафедрою технології жирів 40 років, успішно продовжував його роботи. Ну, а строки, написані учнем Ф.Ф. Гладкого, ви зараз читаєте. От вам і жива історія, і зв'язок поколінь.

Насамкінець мені залишається висловити сподівання, що тепер ви станете частіше замислюватись над науковим підґрунтям побутових речей і більше розмірковувати про мило, а не тільки про те, що його треба не забути купити у супермаркеті.

## **1.8 Практична частина до теми «Мило»**

### **1.8.1 Актуальність знань про склад мила.**

З теоретичної частини (а також з власного досвіду) ви знаєте, що мило, як і інші миючі засоби, не тільки очищує, але може і «сушити» шкіру. Річ у тім, що разом з брудом мило «вимиває» з верхнього шару епідермісу ліпіди, склад яких досить специфічний: кераміди, вільні жирні кислоти та холестерол (в мольному співвідношенні 1:1:1) [1]. Окрім того, мило як продукт містить певну кількість лужних агентів, зокрема, власне, вільного лугу, NaOH, який має вплив майже на всі компоненти шкіряного покрову. Абсолютно очевидно, що він буде вступати в реакцію з жирними кислотами епідермісу, нейтралізуючи їх, тобто утворюючи мило прямо з компонента шкіри. Лужні агенти з рН від 10,5 і вище є відомими кератолітиками. Вони руйнують кератин, розрихлюють роговий шар, призводять до відшелушування корнеоцитів (мертві клітини епідермісу). Певною мірою це можна вважати бажаним ефектом пілінгу, але з іншого боку при неконтрольованій дії лужного фактору шкіра в результаті втрачає не тільки вологу, якої в роговому шарі має бути близько 30%, але і інші речовини, які допомагають її утримувати: амінокислоти, мочеви́ну, молочну кислоту.

Щоб позбутися ефекту сухості шкіри до складу мила додають так звані «пережирючі добавки», наприклад, ланолін, гліцерин тощо,

завдання яких взяти на себе функції тимчасового відновлення ліпідного бар'єру та утримання вологи внаслідок гігроскопічності. Може здатися парадоксальним, але гліцерин разом з тим підвищує кератолітичну активність лугів.

Тепер, думаю, цілком зрозуміло, навіщо кількість лугу в милі необхідно контролювати. Також може виникнути питання: чому тоді взагалі не вирішити проблему виготовленням нейтрального мила?

По-перше, такий продукт існує і призначений для людей з дуже чутливою до лугу шкірою, але для більшості він не потрібен, до того ж вам вже відомі технологічні складнощі, пов'язані з утворенням кислих мил поза лужним середовищем. Більше того, навіть підтримання незначного надлишку лугу довгий час було також технологічно досить складною задачею.

### **1.8.2 Способи визначення лужності.**

Як відомо, у розчині лужність зручно контролювати за показником рН.

Які практичні запитання можуть виникнути на цьому етапі? Наприклад: «яким є показник рН розчину, яким ми миємо руки?»

Нагадаю, що у перерахунку на  $\text{Na}_2\text{O}$  у милі загальний вміст содопродуктів коливається в межах 0,1-0,2%. Це, означає, що в 100г шматку мила може міститися (припустимо) 0,2 г лугу. Якщо припустити далі, що на одне миття рук витрачається 2 г мила, то на руки потрапляє 0,004 г лугу, що розчиняється у..., а ось тут наші розрахунки стають вже дуже неточними, не тільки тому що оцінити кількість води, в якій розчиняється мило, інтуїтивно складно, а й тому, що не все мило, нанесене на руки, встигає розчинитися під час миття. Але я впевнений, ви щось придумаете, щоб оцінити цю величину теоретично або експериментально.

☺

Нескладно поміряти рН приготовленого розчину мила. Для цього існують різні можливості, що характеризуються різною точністю і ціною:

1) За допомогою розчину індикатору з відомим діапазоном переходу кольору можна визначити більший чи менший рівень рН відносно цього діапазону, має робочий розчин.

2) За допомогою універсального індикаторного папірця (Рисунок 1.11) можна встановити рН розчину з точністю до одиниці (є і точніші папірці, але визначення кольору в межах цього методу залишається суб'єктивною справою).



Рисунок 1.11 Папір універсальний індикаторний.

3) Портативний рН-метр з гелевим електролітом (Рисунок 1.12), китайського виробництва, коштує приблизно 200 грн. Має розрядність цифрового табло до десятих часток рН. Точність вимірювання ним може бути суттєво вищою за звичайний індикаторний папірець, якщо його повіряти за іншим, більш точним приладом (але тоді сенс цієї дії не є зрозумілим), або градувати по одній точці, як пропонується виробником, за допомогою стандартного буферного розчину.

4) Фірмові портативні чи стаціонарні моделі рН-метрів з електродами порівняння у тому числі у комбінованому варіанті (рис 1.13). Стаціонарні рН-метри з можливістю визначення рН з похибкою 2 од. у другому знаці після коми коштують від 7000 грн. Такий прилад потрібно постійно доглядати, правила користування ним складніші, і краще добре розуміти принцип його дії. Градування відбувається вже за 2-ма чи 3-ма точками. Застосовуючи такий прилад для визначенні рН мильного розчину теоретично за допомогою перерахунку можна сподіватися отримати дані про вміст лугу в мілі з бажаною точністю, але ж насправді рН залежить не тільки від вмісту вільного лугу.



Рисунок 1.12 Портативний китайський рН-метр з гелевим електролітом.



Рисунок 1.13 рН-метр з комбінованим електродом і компенсацією впливу температури.

5) Нарешті, існують хімічні методи визначення вільного лугу в милі, а також карбонату натрію, що разом дає нам вміст содопродуктів.

### **1.8.3 Лабораторна робота «Визначення вмісту вільного лугу (NaOH) в милі»**

#### **1.8.3.1 Апаратура і реактиви.**

*Ваги лабораторні.*

За офіційною методикою використовують ваги 2-го класу точності з можливістю визначати масу до третього знаку після коми. Вони можуть коштувати від 6000 грн. Але для навчальних цілей можна використати так звані «ювелірні ваги», котрі в безмежній кількості виробляє Китай. Вони дозволяють бачити лише другий знак, проте коштують всього близько 100 грн. Зважаючи, що точність бюретки, яка також використовується в цій методиці, – це також другий знак, а на практиці, коливання об'єму титранту в паралельних визначеннях – навіть перший знак після коми, тому невідома точно похибка недовірих ювелірних вагів, у другому знаці є цілком терпимою, якщо результати визначень, отриманих за допомогою цих вагів не видавати під маркою справжніх наукових досліджень.



Рисунок 1.14 Ювелірні ваги.

*Колби конічні, 250 мл.* Хоча можна використовувати і інші пласкадонні колби номінальним об'ємом, що не сильно відрізняється (наприклад, 200, 300 мл).

*Холодильник зворотний трубчастий довжиною від 1 м.*

Найпростіший зворотний повітряний холодильник - це коркова чи резинова пробка з отвором, через який вставлена достатньо щільно підігнана скляна трубка довжиною від 1 м.

*Мірні циліндри* на 25 мл та 100 мл. *Бюретки* на 25 мл.

Основний хімічний посуд, згаданий вище, зображено на рисунку 1.15.



Рисунок 1.15 Основний хімічний посуд для визначення вмісту луку в милі (циліндр, колба конічна, бюретки).

### 1.8.3.2 Баня водяна.

*Штатив, лапка, кільце, муфти.*

Лабораторна алюмінієва водяна баня, чи колбонагрівач коштує чимало, але баню можна отримати із будь-якої електричної плитки, що використовується у побуті, і невисокої каstrулі зручного об'єму, на дно якої кладеться ганчірочка, щоб запобігти перегріву днища колби. Щоб запобігти перекиданню колби штатив обладнується кільцем, до якого кріпиться трубка зворотного холодильника, наприклад, проволочкою.

Вода, в яку занурюється колба із зворотним холодильником, береться в такій кількості, щоб після занурення її рівень трохи перевищував рівень речовини у колбі, та щоб колба з холодильником під дією власної ваги спиралась на днище каstrулі, тобто не знаходилась у плаваючому стані. При цьому трубка холодильника все одно фіксується біля краю кільця.

Добре, коли кипіння води в бані (а для економії часу можна розігріти баньку заздалегідь) не буде бурхливим, тому що це може зрушити колбу з місця і вивести її з рівноваги. Для більш надійного кріплення колби можна застосовувати лапку, закріплену в штативі. Під час нагрівання колби



на водяній бані потрібно постійно бути поруч, щоб швидко зреагувати на несподівані ситуації.



Рисунок 1.16 Штатив Бунзена з лапками і кільцем.

#### *Розчин етилового спирту 60 %(об.)*

Готується розведенням спирту-ректифікату (який можна придбати в кожній аптеці, 25 грн за 100 мл). Щоб правильно провести розведення можна скористатися спиртометричними таблицями [2]. Так, щоб отримати 60%-й (об.) спирт з 95%-го (об.) до 100 мл другого потрібно додати 62,9 мл води (потрібно пам'ятати про явище контракції). Додатковим завданням може бути перевірка реальної об'ємної концентрації спирту з аптеки та уточнення необхідної кількості води на додавання за довідниковими даними.

#### *Розчин барію хлористого 10% (мас.)*

У продажу можна знайти барію хлорид двохводний різних кваліфікацій (ч., ч.д.а., х.ч.). Масова доля двохводного хлориду барію для всіх перелічених випадків більше 98%. Можна використовувати будь-яку кваліфікацію реактиву, не варто застосовувати лише технічний хлорид барію. Ціна сильно залежить від чистоти реактиву та кількості у замовленні, але вона прийнятна, наприклад, 50 грн. за 100 г  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (ч), або 90 грн. за 1000 г  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (ч.д.а.) (джерело – prom.ua, на грудень 2021р.).

**ПОПЕРЕДЖЕННЯ.** Хлорид барію – токсична речовина другого класу небезпеки, ГДК у повітрі робочої зони  $0,3 \text{ мг/м}^3$ . Слід уникати

прямого контакту з ним. Шкоди він може завдати, потрапляючи в дихальні шляхи, на слизові оболонки, шкіру, до шлунку.

Працювати з ним, особливо в концентрованому, порошкоподібному виді (що підвищує вірогідність контакту із його пилом, необхідно в рукавичках, окулярах, респираторі в приміщенні, обладнаному приточно-витяжною вентиляцією.

Тара з ним має обов'язково бути підписана (як і будь-яка інша), щільно закупорена. Також на тару наноситься інформація про небезпечність і токсичність реактиву. Зберігати хлорид барію потрібно у зачиненій за замок шафі для реактивів. До роботи з ним допускаються тільки особи, які пройшли інструктаж з техніки безпеки.

*Титрант: кислота соляна,  $C(HCl) = 0,1$  моль/дм<sup>3</sup>.*

Готується з фіксаналу (стандарт-титр) за окремою методикою, суть якої в розведенні вмісту ампули або флакону з концентрованою кислотою до об'єму точно 1 дм<sup>3</sup>, для чого використовується техніка кількісного переносу та мірна колба на 1 дм<sup>3</sup> [3].



Рисунок 1.17 Мірна колба для приготування розчину титранту.

Набір фіксаналу з 10 флакончиків (кожен з котрих використовується для отримання 1 дм<sup>3</sup> робочого розчину титранту) коштує приблизно 130 грн.

*Фенолфталеїну спиртовий розчин, 1%.*

З огляду на те, що цей індикатор дуже поширений, і на те, що його розчину потрібні буквально краплини, його простіше буде «дістати» (тобто попросити у знайомого хіміка), ніж купити, хоча і останнє не є проблемою: 50 грн за упаковку 50 г. Часто у продажу можна зустріти «старі запаси»

приблизно за такою ж ціною, але перевагу краще віддавати свіжому реактиву.

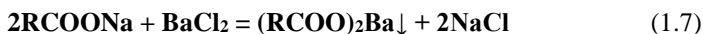
У продажу існує навіть готовий розчин (170 грн за 100 г) з великою вірогідністю він вже є в кабінеті хімії.

### 1.8.3.3 Суть аналізу [4,5].

Аналітична реакція оснований на взаємодії вільного лугу з наважки мила з соляною кислотою з титранту (розчину точно відомої концентрації).



Для того, щоб кислота витрачалась тільки на цю реакцією, бо за її відміряним об'ємом буде відбуватися розрахунок вмісту лугу, потрібно прибрати з наважки мила натрові солі жирних кислот та карбонат натрію. Обмінна реакція з хлоридом барію призведе до отримання нерозчинних у водно-спиртовому середовищі солей барію.



### 1.8.3.4 Хід роботи.

- 1) У колбі зважують  $(5 \pm 0,5)$  г мила, записуючи результат до другого знаку після коми. Для економії часу при демонстрації зважування можна зробити заздалегідь.
- 2) Додають 100 мл спирту нейтралізованого попередньо у присутності фенолфталеїну.
- 3) Колбу з'єднують із зворотним холодильником і нагрівають на водяній бані до розчинення мила.
- 4) До гарячого розчину додають 25 мл подібним чином нейтралізованого розчину хлориду барію.
- 5) Вміст колби титрують в гарячому стані, інтенсивно перемішуючи, розчином соляної кислоти в присутності 2-3 крапель фенолфталеїну до зміни кольору. В присутності фенолфталеїну розчин мила, в якому є вільний луг, буде мати рожево-малинове забарвлення. В момент нейтралізації ці кольори зникнуть.

При аналізі забарвленого мила момент закінчення титрування визначають, порівнюючи робочий дослід з контрольним. Контрольну пробу готують так само як і основну, тільки без додавання фенолфталеїну. Робочу (основну) пробу титрують до кольору контрольної проби.

Масову долю вільного лугу у відсотках вираховують за формулою:

$$X = \frac{V \cdot K \cdot 0,004 \cdot 100}{m} \quad (1.9)$$

де V- об'єм розчину соляної кислоти з С (HCl) = 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, що витрачено на титрування, мл;

K- поправка, що враховує відношення дійсної концентрації розчину соляної кислоти в моль/дм<sup>3</sup> до номінальної концентрації 0,1 моль/дм<sup>3</sup>. Коли немає можливості визначати поправку, приймають K = 1.

m- маса наважки мила, г.

0,004 - маса NaOH, еквівалентна 1 мл розчину соляної кислоти з конц. = 0,1 моль/дм<sup>3</sup>.

Дослід проводять як мінімум двічі і результат усереднюють, записуючи його з точністю до другого знаку.

Розходження результатів між паралельними дослідями можуть лежати в межах 0,03-0,05%.

В методиці можливі такі варіації: якщо колір мила червоний чи рожевий, то замість фенолфталеїну можна використати тимол синій (0,1% розчин) для спостереження більш чіткого кольорового переходу. Також можна спробувати обійтись без хлориду барію, якщо немає умов для роботи з ним. Титрування кислотою в такому випадку потрібно вести в холодному стані (за температури менше кімнатної) і швидко, щоб запобігти впливу гідролізу мила. Але тоді результат буде трохи завищений.

Вчитель підбиває **підсумок уроку**, відмічає найбільш вдалі моменти у відповідях учнів, дає домашнє завдання.

#### Перелік джерел.

1. Vávrová K. Ceramides in the skin barrier / Vávrová K., Kováčik A., Opálka L. // Eur. Pharm. J. – 2017. – №64 (2). – P. 28-35.
2. Державна Фармакопея України / Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів». — 2-е вид. — Доповнення 5. — Харків: Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2021. — 424 с.
3. Гурвич, Я. А. Химический анализ / Я. А. Гурвич. — М. : Высш. шк., 1985. — 295 с.
4. Мельник А.П., Чумак О.П., Березка Т.О. Практикум з хімії та технології поверхнево-активних похідних вуглеводневої сировини. — Харків: Курсор, 2004. — 377 с.
5. Арутюнян Н.С., Янова Л.И., Аришева Е.А., Косачев В.С., Камышан М.А. Лабораторный практикум по технологии переработки жиров [Текст] / Н.С. Арутюнян — М.: Агропромиздат, 1991. — 160с.
6. Spitz, L. Soap manufacturing technology / L. Spitz. — Urbana, Ill: AOCS, 2009.
7. Товбин, И. М. Справочник по мыловаренному производству [Текст] / под ред. канд. техн. наук И.М. Товбина. - М. : Пищевая пром-сть, 1974. - 518 с. : ил.

**8.** Товбин, И.М. Производство мыла [Текст] : [учеб. пособие для подгот. рабочих на производстве] / И.М. Товбин, А.М. Журавлев, М.Н. Залипо. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Пищевая пром-сть, 1976. - 205 с. : ил.

**9.** Поварнин, И.Г. Моющие средства / И. Г. Поварнин. – 2-е изд. – Москва : Государственное издательство местной промышленности РСФСР, 1946. – 82 с.

**10.** Ключевич, А.С. Из истории материальной культуры и народного хозяйства России. Моющие средства, переработка жиров. С древнейших времен по 1917 год [Текст]: монография / А.С. Ключевич. - Казань : изд. Казан. ун-та, 1971. - 496 с.

**11.** Тимченко В. К., Попсуйшапка А.В. Теорія і практика миловаріння: монографія. – Харків: Курсор, 2005. – 144с.

## **Розділ 2**

### **ЯК ТЕПЛОВІ МАШИНИ ЗМІНИЛИ СВІТ**

*Білик Сергій Юрійович*

*Ліньков Олег Юрійович*

*Національний технічний університет*

*«Харківський політехнічний інститут»*

*Кафедра двигунів та гібридних енергетичних установок*

**Тема:** Теплові машина як крок до промислової еволюції. Фізика теплових процесів.

**Мета та завдання уроку:**

- Узагальнення та систематизація знань учнів на тему «Створення та еволюції теплових машин в аспекті розвитку техніки та виробництва»;
- Ознайомлення учнів з еволюційними етапами розвитку перших конструкцій двигунів внутрішнього згоряння;
- Ознайомлення учнів з лабораторною установкою еоліпіла та двигуна Стірлінга;
- Створення мотивації до поглиблення знань у галузі двигунобудування.

#### **Мотивація учнів до навчальної діяльності.**

Вступне слово вчителя стосовно появи у античний час теплових двигунів, що пройшли довгий шлях становлення від забавок ентузіастів до основи розвитку промисловості. Познайомившись з історією створення перших теплових двигунів можна побачити що саме поява промислових зразків джерел механічної енергії дала основний поштовх розвитку сучасної цивілізації. Багато застосовувати презентації з максимумом графічного та фотоматеріалу.

#### **План уроку:**

1. Заявлення теми, обговорення організаційних моментів та правил безпеки.
2. Вступне слово вчителя
3. Презентаційна частина уроку:
  - презентація і обговорення історії створення перших теплових двигунів;
  - експериментальна частина – демонстрація теплових процесів машин та двигуна Стірлінга (можливо у вигляді відеопрезентації).
4. Висновки.

З'явившись у античний час теплові двигуни пройшли довгий шлях становлення від забавок ентузіастів до основи розвитку промисловості. Познайомившись з історією створення перших теплових двигунів можна побачити що саме поява промислових зразків джерел механічної енергії дала основний поштовх розвитку сучасної цивілізації.

Щойно з'явившись парові машини мали значення ККД близько 1% і за період розвитку досягли 12...17 %. На початку 20 сторіччя їм на зміну прийшли двигуни внутрішнього згорання зі значення ми ККД що перевищували парові машини. На сьогодні ККД двигунів внутрішнього згорання складає до 50%.

## **2.1 Історія розвитку парових машин**

Довгий час в історії людства основним джерелом енергії була мускульна сила. Спочатку людини, а потім тварин.

Це відкладало відповідний відбиток на розвиток техніки та виробництва.

Поступово мускульна енергія доповнювалась та заміщалась енергією води та вітру. З'явилися та отримали розповсюдження водяні та вітряні млини, приводи ткацьких верстатів, міхів у металургії. Як результат – промисловість розміщувалась на берегах річок.

Для отримання більшої потужності водяні та вітряні колеса збільшувались у розмірах та будувались у декілька рядів. Найбільше водяне колесо було побудовано на острові Мен: 22 м у діаметрі, потужність 200 к.с. (150 кВт).

Найбільша потреба у незалежних від природи джерелах енергії виникла у гірничій промисловості. До 1700 року з'явилися копальні глибші за 100 м, з яких необхідно було відкачувати воду.

Проте перші теплові машини з'явилися набагато раніше і їх поява пов'язана з ім'ям видатного вченого – Герона Александрійського.

Забуті винаходи Герона Александрійського

Одним з дивних вчених античності є Герон Олександрійський. Він створив свого часу величезний внесок в розвиток науки, але більшість його праць і винаходів втрачено і було забуто.

Герон жив на території сучасного Єгипту в місті Олександрія і тому став відомий як Герон Олександрійський. Сучасні історики припускають, що він жив в 1-му столітті н.е. деś між 10-75 роками.

До наших часів дійшли лише переписані копії праць Герона виконані його учнями і послідовниками. Частина з них грецькою, а частина арабською мовами. Існують переклади на латину, виконані в XVI столітті.

Герон не був теоретиком, всі виведені ним формули і правила, він вважав за краще пояснювати наочними практичними прикладами.

Одним з найцікавіших праць Герона є "Пневматика". У книзі наведені описи близько 80 пристроїв і механізмів, що діють з використанням принципів пневматики і гідравліки. Найбільш відомим пристроєм є еоліпіл (в перекладі з грецького: "куля бога вітрів Еола").



Рисунок 2.1 Еоліпіл.

Еоліпіл уявляв собою наглухо запаяний котел з двома трубками на кришці. На трубках встановлювалася порожня куля що могла обертатися, на поверхні кулі були встановлені два Г-образних патрубків-соплів. В котел через отвір заливалася вода, отвір закривався пробкою, і котел встановлювався над вогнем. Вода скипала, утворювалася пара, яка по трубках надходила в кулю і виходила через Г-образні патрубків. При достатньому тиску струменя пара, вириваючись з сопел, швидко обертала кулю. Побудований сучасними вченими за кресленнями Герона еоліпіл розвивав до 3500 оборотів в хвилину!

Як відомо, в епоху античності величезний вплив на людей мала релігія. Оскільки добробут жерців того чи іншого храму прямо залежав від кількості прихожан, жреці намагалися заманити їх чим завгодно. Для



створення божественних чудес жрецам довелося скористатися розумом і науковими знаннями Герона. Одним з найбільш вражаючих чудес став розроблений ним механізм, який відкривав двері в храм при розпалюванні вогню на вівтарі. Нагріте від вогню повітря надходило в посудину з водою і видавлювало певну кількість води в підвішену на канаті бочку. Бочка, наповнюючись водою, опускалася вниз і за допомогою каната обертала циліндри, які приводили в рух поворотні двері. Двері відкривалися. Коли вогонь гаснув, вода з бочки переливалася назад в судину, а підвішені на канаті противаги, обертаючи циліндри, закривали двері.

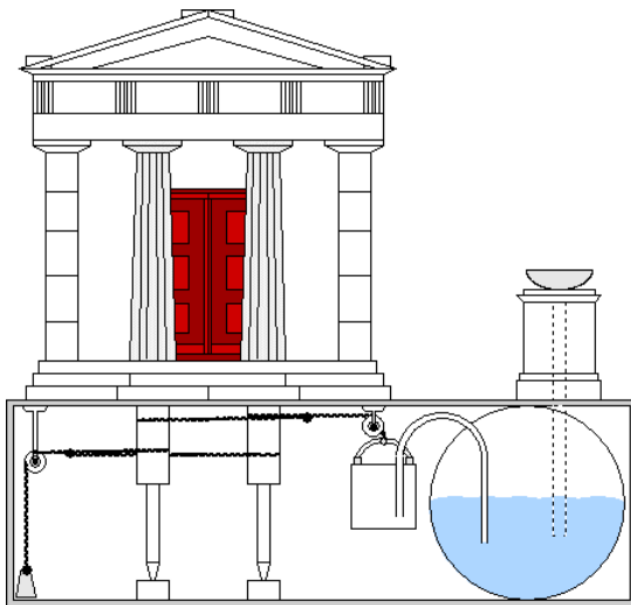


Рисунок 2.2 Схема "магічного" відкриття дверей в храмі.

Протягом свого життя Герон створив багато різноманітних винаходів, цікавих не тільки його сучасникам, але і нам – що живуть два тисячоліття тому.

Але після Герона про його винаходи на довгий час забули. Необхідність у машинах для виробництва з'явилась лише на початку 17 сторіччя.

Саломон де Косс (Salomon de Causs; 1576-1630) - французький вчений, інженер. У його творі «Les raisons des forces mouvantes» описана перша машина, заснована на пружності пара. Однак він не є власне

винахідником парової машини, тим більше, що за 14 років до нього подібні креслення опублікував Джамбаттиста делла Порта.



Рисунок 2.3 Винахід Саломона де Косса.

Пристрій не знайшов практичного застосування через переривистість його роботи.

Значним внеском у розвиток теплових машин, які у подальшому отримують назву «атмосферні», стали дослідження бургомістра міста Магдебург Отто фон Геріке. Загальновідомий дослід із магдебурзькими півкулями було проведено у 1654 році в Регенсбурзі, коли зібралися члени Рейхстагу. Зі з'єднаних півкуль було відкачано повітря і їх не могли роз'єднати 16 коней. Для того щоб відкачати повітря, Геріке винайшов перший вакуумний насос (тепер таку конструкцію мають велосипедні насоси, що відрізняються від насоса Геріке тільки розташуванням клапанів). Геріке слід вважати винахідником тільки повітряної розріджувальної помпи, бо нагнітальні були відомі ще в давнину. Їх винахід приписують Ктесібеві, що жив у II столітті до н. е. в Александрії. Духові рушніці теж були вже відомі Геріке, однак до уявлення про пружність повітря він дійшов лише після багатьох дослідів із цією помпою. У Регенсбурзі 1654 року він дізнався від монаха Магнуса про досліди

Торрічеллі. Близько 1657 року Геріке спорудив великий водяний барометр. Переконавшись, що свічка не може горіти у вакуумі, Геріке експериментально довів необхідність участі повітря в горінні. Його повітряний термометр нічим суттєвим не відрізнявся від уже відомих тоді аналогічних приладів (на той час в Італії термометр називали лат. *caloris mensor*), проте ми можемо сміливо сказати, що він був першим за часом метеорологом. Можна зробити висновок, що хоча перші спроби відзначити нуль на шкалі термометра належали науковцям Флорентійської академії (італ. *Del Cimento*), однак і Геріке розумів, що конче треба мати на термометричній шкалі хоча б одну постійну точку. Тож він вибрав точку відліку, що відповідала першим осіннім заморозкам.

У 1654 р. Геріке продемонстрував в Регенсбурзі ще один цікавий досвід. Поршень зафіксували в верхньому положенні, створивши під ним і над ним вакуум, і прив'язали мотузку, перекинуту через блок. За кінець мотузки вхопилися двадцять чоловіків. Коли Геріке відкрив доступ повітря з атмосфери в простір над поршнем, то під тиском атмосферного повітря поршень опустився, піднявши тих, хто хотів його утримати.



Рисунок 2.4 Оригінальні магдебурзькі півкулі та вакуумна помпа в Німецькому музеї Мюнхена.

У 1683 р англієць Семюель Морленд видав твір, в якому вперше чітко виклав думку, що для підйому води шляхом використання теплоти горіння потрібно спочатку воду перетворити на пару. У творі наводилися навіть розміри циліндра, хід поршня і значення висоти, на яку можна підняти воду.

Отримана за розрахунками Морленд висота 1,2 м непорівнянна з глибиною шахт, і роботи Морленд не могли знайти застосування. Але визнання необхідності перетворення води в пару - це велика заслуга Морленда. Водяна пара стала першим робочим тілом теплових двигунів. На тому етапі це було найприроднішим, оскільки в машинах для відкачування води таке робоче тіло було, так би мовити, "під рукою".

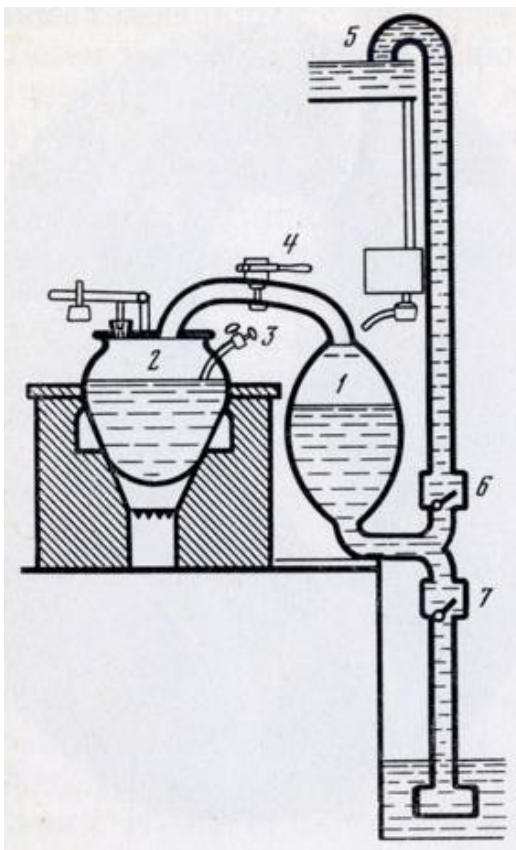


Рисунок 2.5 Схема машини Севері «Друг рудокопа»: 1 - робочий об'єм; 2 - котел; 3 - кран для заповнення водою; 4 - кран подавання пари до робочого об'єму; 5 - смість до якої відкачують рідину; 6, 7 - зворотні клапани

Але для використання водяної пари, крім встановленого Морлендом факту, потрібно було виконати ще одну важливу умову. До розуміння цієї умови підійшли практично одночасно француз Дені Папен і англієць Томас Севері.

Томас Севері в юності був рудокопом, потім моряком і навіть капітаном торгового флоту, але згодом став шахтовласником і гостро відчув потребу в машині для відкачування води з копалин. У 1698 р. Севері отримав патент № 356 з формулюванням, що він виданий на пристрій "для підйому води і для отримання руху всіх видів виробництва за допомогою рушійної сили вогню ..."

Севері першим відокремив робоче тіло (водяна пара) від води, що перекачується. Для цього він зробив окремий котел, а пар, який отримували в котлі, через кран випускав в посудину з водою, і пар витісняв воду в напірну (верхню) трубу.

У цій частині пропозиція Севері дуже нагадувала пропозицію де Ко, але на відміну від де Ко Севері зумів реалізувати повторення циклів. Це досягалося тим, що, коли вода повністю витіснялася, а посуд залишався заповненим паром, напірну трубу перекривали і посуд обливали холодною водою, внаслідок чого пар в посуді конденсувався, виникало розрідження і через вхідну трубу всмоктувалася наступна порція води. У 1702 р. Севері опублікував опис машини під назвою "Друг рудокопа".

Назва розкривала її основне призначення. Але машини Севері годилися для різних цілей: для водопостачання міст і великих будівель, для осушення боліт і лук. Правда, висота підйому води у них була обмежена, і для глибоких копалин вони не годилися.

Згодом машина Севері була вдосконалена Дезагюльє, який запропонував охолоджувати пар в посудині шляхом уприскування в нього води. Це істотно скоротило тривалість конденсації і збільшило частоту робочих циклів, тобто продуктивність.

Машини Севері мало відповідали сформованим пізніше уявленням про парову машину, так як у них не було рухомих частин. Тепер їх називають термомеханічними насосами. Проте це була перша машина, здатна працювати безперервно. Вона мала великий промисловий попит, незважаючи на те що була вкрай неекономічна. Через відсутність рухомих частин машини Севері виявилися дуже надійними і довговічними. Ці якості, властиві термомеханічним насосам, є причиною того, що інтерес до них зберігся і донині. Так, в кінці XIX ст. американський інженер Галль отримав 29 патентів на вдосконалений насос типу Севері, який під назвою пульзометра, або парового насоса, широко використовувався в заводському і залізничному водопостачанні.

Пізніше винахідник Гауссман запропонував встановити між парою й водою гнучку плівку, щоб зменшити конденсацію пара. І зараз час від часу з'являються нові термомеханічні насоси, використовувані в тих випадках, коли економічність не настільки важлива, як надійність і довговічність.

Великий вплив на подальший розвиток теплових двигунів надав Дені Папен. Папен людина дуже цікавої долі, член багатьох академій, працював спочатку у Парижі з відомим голландським фізиком Християном Гюйгенсом, а в 1675 р. переселився в Лондон, де довгий час працював з іншим відомим фізиком Робертом Бойлем. В ході спільних робіт з Гюйгенсом Папен ознайомився з принципом отримання роботи за рахунок використання поршня в циліндрі. Ця ідея спочатку розвивалася паризьким абатом Жаном Готфейлем.

Пропозиції Гюйгенса і Готфейля були дуже схожі. У циліндр поміщали поршень і під ним підпалювали порох. Під дією продуктів згоряння поршень піднімався, його фіксували в цьому положенні, продукти згоряння охолоджували. В результаті їх обсяг зменшувався, під поршнем виникало розрідження. Під дією атмосферного тиску поршень опускався і міг робити корисну роботу.

Використання атмосферного тиску було в той час природним рішенням проблеми, навіяним впливом відкритого в XVII в. атмосферного тиску, силу якого так наочно продемонстрував 1654 р. бургомістр Магдебурга Отто фон Геріке.

Розробки Гюйгенса і Готфейля навели Папена на думку замінити продукти згоряння паром, який можна сконденсувати. Оскільки обсяг конденсату набагато менше, можна отримати більш високе розрідження, і корисна робота буде більше.

У його парову машину, яку він запропонував за 8 років до появи машин Севері, циліндр встановлювали вертикально і під поршень наливали воду. Потім дно циліндра нагрівали, і поршень піднімався під тиском пари. Розрідження під поршнем виникало, коли переставали нагрівати дно циліндра і пар охолоджувався.

У 1707 р., працюючи в Касселі, Папен під впливом Севері повертається до ідеї створення поршневої машини. Тепер котел вже відділено від циліндра. Пара тисне на поршень зверху, і він витісняє з циліндра воду через отвір в дні. Ця машина теж сильно поступалася машині Севері, так як у неї не було всмоктуючого ходу, і тому вона теж не набула поширення.

Але важливо, що процес конденсації Папен виніс за межі циліндра (відпрацьована пара випускалася в атмосферу). Крім того, він передбачив подачу води на лопатки водяного колеса для отримання безперервного обертання валу відбору потужності і в цьому сильно випередив багатьох винахідників.

До ідеї з водяним колесом поверталися потім неодноразово. У промисловця Ригеля в Манчестері, наприклад, паровий насос Севері використовувався для подачі води на водяне колесо, яке обертало верстат. Пізніше ця ж ідея в дещо зміненому вигляді лягла в основу турбіни.

Важливий крок у створенні теплових двигунів зробив Томас Ньюкомен. У 1705 році він побудував машину у якій поділив функції насоса та двигуна.

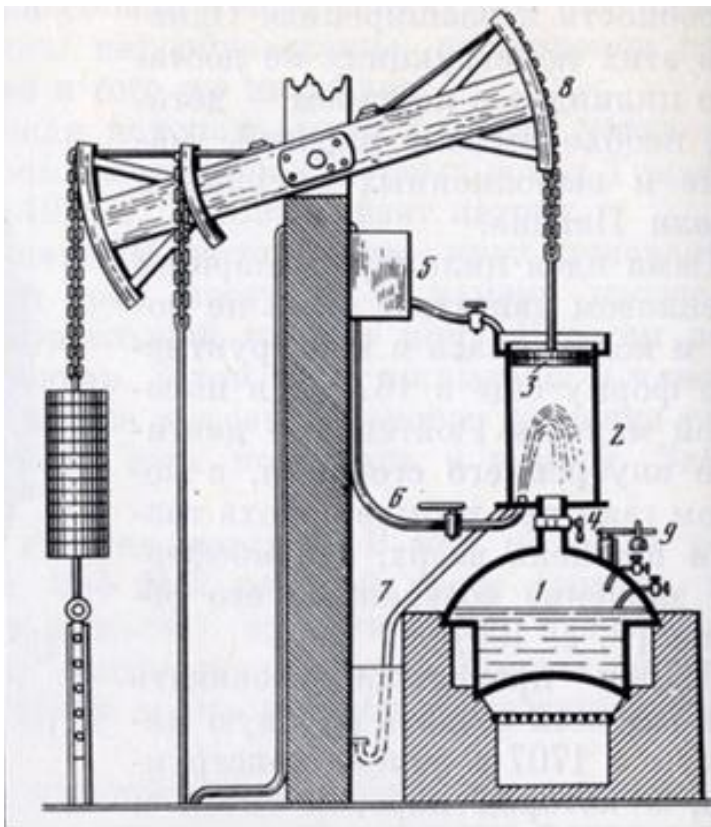


Рисунок 2.6 Машина Томаса Ньюкомена: 1 - котел; 2 - робочий циліндр; 3 - поршень; 4 - кран подавання пари до робочого циліндру; 5 - смісць з рідиною для охолодження; 6 - кран подавання рідини для охолодження до циліндра; 7 - відведення охолоджуючої рідини; 8 - коромисло; 9 - клапан контролю надмірного тиску.

Паровий циліндр містився у Ньюкомена над паровим котлом. Поршневий шток (стрижень, з'єднаний з поршнем) був з'єднаний гнучким зв'язком з кінцем балансира. З іншим кінцем балансира був з'єднаний шток насоса. Поршень піднімався у верхнє положення під дією протитяги, прикріпленого до протилежного кінця балансира. Крім того рух поршня вгору допомагав пар, що запускався в цей час до циліндру. Коли поршень знаходився в крайньому верхньому положенні, закривали кран, впускали

пар з котла в циліндр, і впорскували до циліндру воду. Під дією цієї води пара в циліндрі швидко охолоджувалася, конденсувалася, і тиск в циліндрі падав. Внаслідок створювалася різниця тисків всередині циліндра і поза ним, силою атмосферного тиску поршень рухався вниз, здійснюючи при цьому корисну роботу - надавав рух балансиру, який рухав шток насоса. Таким чином, корисна робота виконувалася тільки при русі поршня вниз. Потім знову запускали пар в циліндр. Поршень знову піднімався вгору, і циліндр наповнювався паром. Коли знову впорскували воду, пара знову конденсувалася, після чого поршень робив новий корисний рух вниз і так далі. Фактично в машині Ньюкомена роботу здійснював атмосферний тиск, а пара слугувала тільки для створення розрідженого простору.

Не дивлячись на низький ККД (1%), машина Ньюкомена отримала в Англії поширення, особливо на шахтах, де вугілля було дешеве. Спочатку охолодження циліндра відбувалось ззовні. Одного разу Ньюкомен побачив що частота робочих циклів машини збільшується. Як з'ясувалось це відбулось через потрапляння води через погане ущільнення між поршнем і циліндром. Тоді він ввів охолодження впорскуванням води до циліндра.

Наступні винахідники внесли кілька удосконалень в насос Ньюкомена. Зокрема, в 1718 р. Бейтон придумав автоматичний розподільний механізм, який автоматично включав або відключав пар і впускав воду. Він же доповнив паровий котел запобіжним клапаном.

У 1769 році Джеймс Ватт отримав патент на універсальний тепловий двигун.

Джеймс Ватт (англ. James Watt; 19 січня 1736, Грінок — 19 серпня 1819 року, Гендсворт, графство Західний Мідленд) — шотландський винахідник-механік, член Лондонського королівського товариства, творець універсальної парової машини подвійної дії. Роботи Ватта поклали початок промислової революції спочатку в Англії, а потім і у всьому світі. Його ім'ям названа одиниця потужності — Ват та Університет Геріот-Ватт в Единбурзі.

Шлях Ватта до всесвітньої слави почався зі звичайної, рутинної роботи. У 1763 році Джон Андерсон, професор Університету Глазго, доручив йому відремонтувати модель машини Ньюкомена, що використовувалась для pompування води. У нього нічого не виходило, поки Ватт не зрозумів, що винна не модель, а принципи, закладені в основу її роботи. Стало очевидним, що основний недолік машини Ньюкомена полягав у перемінному нагріванні й охолодженні парового циліндра: кожен наступний хід поршня вимагав нагрівання, з наступним охолодженням водяної пари аж до її конденсації. Ватт показав, що майже три чверті енергії гарячої пари витрачаються неефективно: при кожному циклі пара повинна нагрівати циліндр, бо перед цим у циліндр надходила холодна вода, щоб сконденсувати пару для зменшення тиску. Таким чином енергія пари



витрачалася на постійний розігрів циліндра, замість того, щоб бути перетвореною в механічну енергію.

Під час заміської прогулянки йому прийшла в голову думка: «Оскільки пара є пружним тілом, вона кинеється у вакуум. Якщо між циліндром і вихлопним пристроєм існуватиме сполучення, то пара проникне туди. Саме там її можна буде конденсувати, не охолоджуючи циліндр».

Більше того, циліндр може залишатися гарячим, а конденсор холодним, якщо їх розділити теплоізоляційним матеріалом. Так народилася ідея важливої частини парової машини — конденсатора, відокремленого від робочого циліндра. Крім того, Ватт зробив ще декілька удосконалень, що остаточно перетворили пароатмосферну машину у парову. На основі цих принципів Ватт збудував свою модель, яка дотепер зберіглася в Музеї науки у Лондоні.

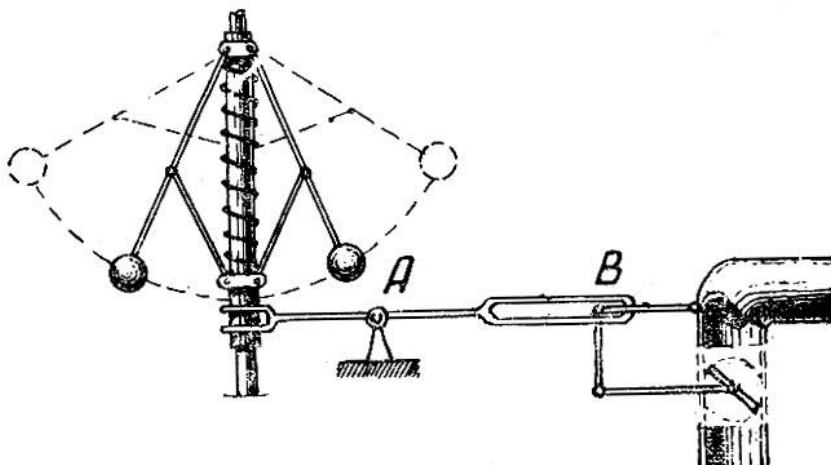


Рисунок 2.7 Регулятор Ватта.

А - одним циліндром; В - з відокремленими витиснюючим та робочим об'ємами.

Завдяки підтримці промисловця Джона Робака (англ. John Roebuck) 5 січня 1769 року Ватт одержав патент № 913 на «способи зменшення споживання пари і внаслідок цього — палива у вогняних машинах», але побудувати парову машину йому довго не вдалося. Основна складність полягала в тому, щоб змусити ефективно працювати поршень та циліндр. Металовиробництво того часу було не здатне забезпечити потрібну точність виготовлення. Машина зацікавила промисловця Метью Бултона, власника ливарного заводу в Бірмінгемі, але

відсутність згоди між Робаком і Ваттом завадили впровадити розробку. На якийсь час Ватт втратив інтерес до парових двигунів і працював геодезистом на будівництві каналів.

І тільки в 1776 році парова машина Ватта була побудована й успішно пройшла випробовування. Вона виявилася значно ефективнішою за машину Ньюкомена, споживаючи втричі менше вугілля.

У 1782 році Ватт створив нову машину — першу універсальну парову машину подвійної дії (Патент № 1321). Кришку циліндра він оснастив винайденим незадовго до того сальниковим ущільненням, що забезпечувало вільний рух штока поршня без витоку пари з циліндра. Пара надходила у циліндр поперемінно то з однієї сторони поршня, то з другої. Тому поршень робив і робочий і зворотний хід за допомогою пари, чого не було у попередніх конструкціях парових машин.

Джеймсом Ваттом у 1788 році на основі пропозицій його партнера по бізнесу Метью Бултона уперше було застосовано відцентровий регулятор для стабілізації частоти обертання вихідного валу парової машини, що пізніше отримав назву «регулятор Ватта».

Таким чином, парова машина Ватта стала винаходом століття, що поклав початок промисловій революції. Парова машина завдяки економічності набула широкого використання і відіграла величезну роль у переході до машинного виробництва.

У 1800 році дія патенту Ватта на парову машину скінчилася і їх виробництвом почали займатись багато виробництв. На наступні більш ніж 100 років вони стають основним джерелом механічної енергії на промисловості та транспорті.

Джордж Стéфенсон (англ. George Stephenson; 9 червня 1781 — 12 серпня 1848), англійський винахідник. Відомий як винахідник паротяга. Ознайомившись з пристроєм парової машини Ватта, в 1813 році приступив до конструювання паровоза. 1814 р. Стефенсон спроектував і успішно випробував свій перший паротяг «Блюхер» (названо на честь пруського генерала Гебхарда Леберехта фон Блюхера (нім. Gebhard Leberecht von Blücher), який прославився своєю перемогою в битві з Наполеоном при Ватерлоо.), призначений для транспортування вугілля рудничною рейковою колією. Успішний пробний рейс паровоза відбувся 25 липня 1814 року.

Рóберт Фúлтон (англ. Robert Fulton; 14 листопада, 1765, округ Ланкастер, штат Пенсильванія — 24 лютого, 1815, Нью-Йорк) — американський інженер і винахідник, творець першого пароплава. Вже в 1793 році Фултон представив плани побудови пароплава урядам США і Великої Британії. 1797 — переїхав у Францію, де експериментував з торпедами, а 1800 року представив Наполеону «Наутілус» — практичну

модель гвинтового підводного човна з ручним двигуном. Того ж року, на прохання посла США Роберта Лівінгстона, почав експерименти з паровими двигунами.

1803 — парове судно конструкції Фултона (довжина — 20 м; ширина — 2,4 м) пройшло випробування на Сені, досягнувши швидкості 3 вузлів проти течії.

1807 — у США збудував перший пасажирський пароплав Clermont («Пароплав Північної Річки»)

11 лютого 1809 р. — запатентував свій пароплав

1812–1814 — збудував перший військовий корабель з паровим двигуном.

Головна причина використання водяної пари у якості робочого тіла у тепловому двигуні – доступність води. Але ще більш доступним є повітря.

Роберт Стірлінг (англ. Robert Stirling) (нар. 25 жовтня 1790 Клог Фарм, Шотландія — пом. 6 червня 1878 Галстон, Шотландія) — шотландський науковець. Творець двигуна, що носить його ім'я.

Стірлінг був досить занепокоєний травматизмом робітників, що працювали в його приході з паровими двигунами. Ці двигуни часто вибухали через низьку якість металу, з якого вони виготовлялися. Більш міцнішого матеріалу в ті роки не існувало. Стірлінг вирішив удосконалити конструкцію теплового двигуна зробивши його більш безпечним.

Стірлінг придумав пристрій, який він назвав «економ тепла» (зараз такий пристрій називають регенератором або теплообмінником). Ці пристрої служать для підвищення теплової ефективності різних процесів. Стірлінг одержав патент на двигун з «економ тепла» в 1816 році. Двигун Стірлінга не може вибухнути, тому що працює при більш низькому тиску, ніж парова машина, і не може спричинити опіки паром. У 1818 році він побудував перший практичний варіант свого двигуна і використав його в насосі для відкачування води з кар'єра.

Теоретичних основ роботи двигуна Стірлінга не існувало до тих пір, поки не з'явилася робота Саді Карно. Карно розробив і опублікував у 1825 році загальну теорію роботи теплових двигунів, з якого цикл Стірлінга будується аналогічним чином.

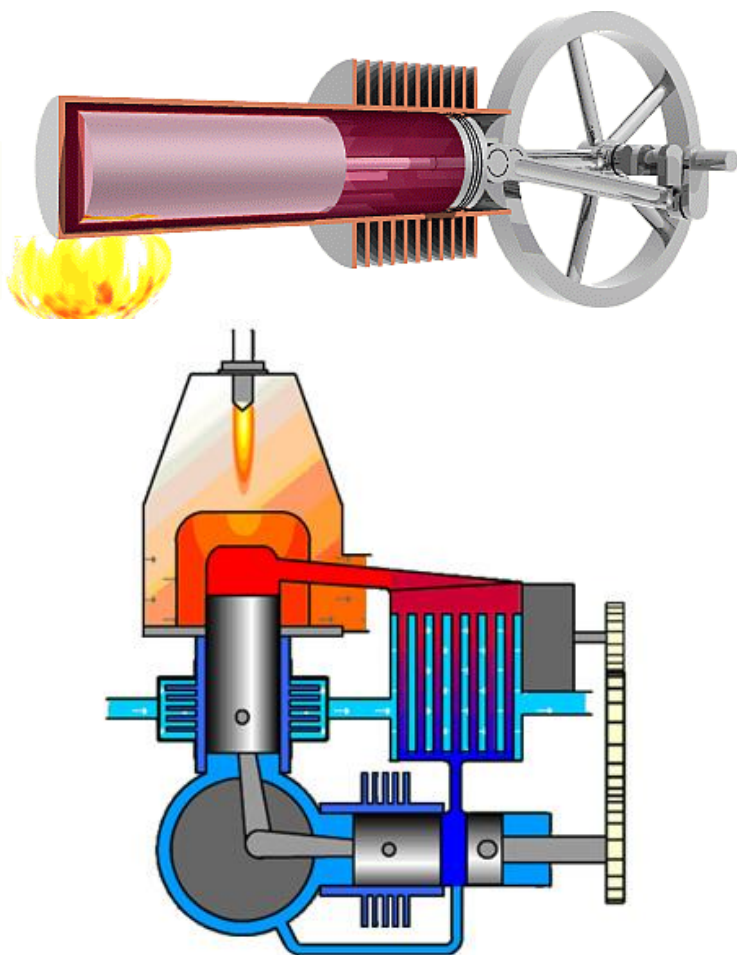


Рисунок 2.8 Конструкції двигуна Стірлінга.

Машина Стірлінга - це двигун зовнішнього згоряння, в ньому немає клапанів, а робоче тіло залишається газоподібним і циркулює в замкнутому просторі. Він може працювати при дуже малій різниці температур від будь-якого джерела тепла - від газових пальників до сонячних концентраторів і навіть тепла рук (останнє люблять демонструвати викладачі фізики під час лекцій з термодинаміки). Конструкція машин проста, газ знаходиться всередині під невисоким тиском, тому вони більш безпечні, ніж парові машини. При низьких температурах двигун Стірлінга навіть більш ефективний (на відміну від

ДВЗ, двигуна внутрішнього згоряння). І він майже безшумний, що може бути критично в деяких випадках (наприклад, при русі субмарин в підводному стані).

Є у цих двигунів і недоліки. По-перше, навіть при досить великому теоретичному та практичному ККД для реалізації великої потужності двигун повинен розсіювати велику кількість тепла, а це призводить до збільшення розмірів і появи громіздких радіаторів охолодження. Для збільшення потужності доводиться збільшувати різницю температур і тиск робочого тіла, а це ускладнює конструкцію. На відміну від ДВЗ, він не може «стартувати» відразу - для початку роботи йому необхідно досягти достатньої різниці температур між гарячою і холодною частинами. Втім, це характерно для всіх типів двигунів зовнішнього згоряння, а «стірлінг» стартує все ж набагато швидше, ніж, скажімо, парова машина. Потужність працюючого двигуна Стірлінга вельми непросто швидко змінити, хіба що додаванням робочого тіла (такі рішення існують, але призводять до ускладнення конструкції). До речі, повітря далеко не найефективніше робоче тіло. Водень завдяки своїй високій теплопровідності, теплоємності і низькою в'язкості набагато більш ефективний, але він має тенденцію просочуватися крізь ущільнювачі і до того ж горить (також досить часто в якості робочого тіла використовують гелій).

Таким чином, якщо нам не потрібно часто запускати і зупиняти машину, а також змінювати її потужність і при цьому у нас є джерело тепла, гарне охолодження і необмежений розмір - напевно чи існує щось більш підходяще, ніж двигун Стірлінга.

За життя винахідника двигун не надто успішно намагався конкурувати з паровими машинами. Один з двигунів потужністю в півсотні кінських сил з ККД близько 10% (що перевищувало аналогічний показник парових машин), побудований Робертом і його молодшим братом Джеймсом, кілька років пропрацював в ливарному цеху в Данді в середині 1840-х. Потім гарячий циліндр лопнув: тоді не існувало жароміцних сталей, тому створити надійні і довговічні деталі машин з м'якого заліза було проблематично. Втім, те ж саме стосувалося і парових машин.

На початку XX століття на сцену вийшли двигуни внутрішнього згоряння, і машини Стірлінга, здавалося б, назавжди залишилися в історії. Однак в 1950-х до них знову виник інтерес завдяки голландської компанії Philips, що створила на базі конструкції Стірлінга ефективну криогенну машину (двигун Стірлінга може працювати як тепловий насос, перетворюючи механічну роботу і перекачуючи тепло від одного тіла до іншого). Зараз і двигуни, і холодильні машини Стірлінга, реалізовані на сучасному рівні, випускаються багатьма великими компаніями. Вони дозволяють використовувати будь-яке паливо (і взагалі будь-які джерела

тепла) і при цьому більш ефективні (ККД може досягати майже 40-45%) і значно більш екологічні, тихі і надійні, ніж ДВЗ.

## **2.2 Історія створення двигунів внутрішнього згорання.**

Основним що стримувало появу двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) була відсутність відповідного палива. Це повинно бути таке паливо, яке можна без проблем подати до циліндра двигуна.

Першим передвісником ДВЗ можна вважати пороховий двигун Папена, в якому він спалював порох на донці робочого циліндру. Але для постійної роботи такого двигуна був необхідний складний пристрій для подавання нової порції палива.

Одними з перших спробували реалізувати цикл ДВЗ брати Ньєпси, Клод і Нісефор. У 1806 році вони представили в Національний інститут (так називалася тоді французька Академія наук) доповідь про нову машину, яка «за силою була б порівнянна з паровою, але споживала б менше палива». Брати назвали її «піреолофор». З грецької це можна перекласти як «ваблена вогненним вітром». Спочатку у якості палива використовували «лікоподій» - спори рослини плауна, які використовували у театральних виставах для імітації полум'я. Пізніше вона працювала на вугільному пилу. Цей винахід викликав великий інтерес. Двом комісарам було доручено розібратися у винаході. Одним з комісарів був Лазар Карно. Карно дав позитивний відгук, який навіть потрапив у газети. Хоча у двигуна був ряд недоробок, чимало з них не можна було усунути на той час через відсутність необхідних технологій: підпал пилу, наприклад, здійснювався при атмосферному тиску, розподіл палива всередині камери був нерівномірним, та й прилягання поршня до стінок циліндра вимагало вдосконалення. У ті часи поршень парової машини вважався підігнаним до стінок циліндра, якщо між ними насилу проходила монета (!).

Брати побудували двигун і оснастили ним в 1806 році триметровий човен, вагою 450 кг. Човен плавав вгору по річці Сені зі швидкістю вдвічі більшою від швидкості течії. Врахуйте, що свою першу невдалу спробу спуску пароплава Фултон здійснив в 1803 році, а знаменитий «Клермонт» почав плавання на рік пізніше човна Ньєпсів, в 1807 р.

Правильніше за все, було б назвати цей двигун реактивним, так як його робота полягала в виштовхуванні води з труби, що знаходиться під днищем човна ...

Двигун складався з камери підпалювання і камери згорання, сильфона для нагнітання повітря, паливо-роздавального пристрою та пристрою запалювання. Паливом для двигуна служив вугільний пил.

Сильфон впорскував струмінь повітря змішаного з вугільним пилом в камеру підпалювання, де тліючий фітіль запалював суміш. Після цього, частково підпалена суміш (вугільний пил горить відносно повільно)

потрапляла в камеру згоряння де повністю прогорала і відбувалося розширення.

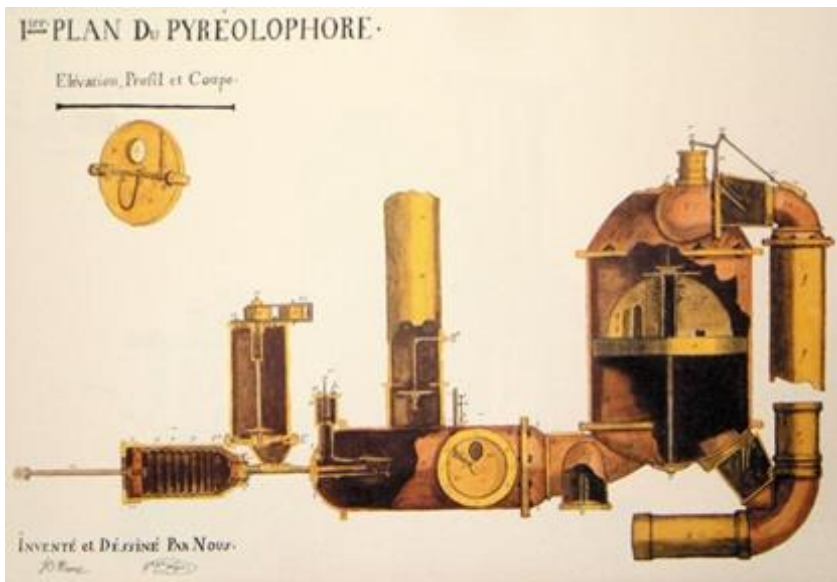


Рисунок 2.9 Схема двигуна братів Ньепс.

Далі тиск газів виштовхував воду з вихлопної труби, що змушувало човен рухатися, після цього цикл повторювався.

Двигун працював в імпульсному режимі з частотою ~12 імпульсів / хвилину.

Через деякий час, брати вдосконалили паливо додавши в нього смолу, а пізніше замінили його нафтою і сконструювали просту систему уприскування.

Прийнято вважати, що брати Ньепс були авторами першої в світі системи упорскування.

З іншого боку до проблеми палива підійшов Філіп Лебон. У 1799 році цей інженер відкрив світильний газ, і в тому ж році отримав патент на використання цього газу і його отримання з деревини і вугілля. Газові лампи Лебона стали успішним конкурентом французьким дорогим свічкам, але сам інженер швидко зрозумів, що газ можна використовувати не тільки для освітлювальних приладів, і вже в 1801 році він подав заявку на отримання патенту на розробку газового двигуна, в якому були основними складовими два компресора, а також камера змішання.

По суті, Лебон працював над проектом двигуна внутрішнього згоряння, і був близький до цього винаходу, але роботу він до кінця довести не встиг, оскільки в 1804 році несподівано загинув.

У 1807 році, швейцарський винахідник Франсуа Ісаак де Ріва сконструював двигун внутрішнього згоряння з електричним запалюванням. Паливом для двигуна служив водень, а ідею електричного запалювання, де Ріва запозичив у Алессандро Вольта.

Водень зберігався в «повітряній» кулі з'єднаній трубою з циліндром. Подача палива і повітря, а так само підпал суміші і викид відпрацьованих газів здійснювалися вручну, за допомогою важелів. Трохи пізніше, де Ріва поставив свій двигун на чотириколісний візок, який, на думку істориків, став першим автомобілем з ДВЗ.

У 1823 році англієць Самуель Браун побудував двигун що працював на світільному газі. Це був атмосферний двигун, який мав рубашку охолодження. Запалювання здійснювалось у ВМТ відкритим полум'ям. Двигун залишився на стадії дослідних зразків і поширення не мав.

У 1824 вийшла перша і єдина робота Саді Карно — «Роздуми про рушійну силу вогню і про машини, здатні розвивати цю силу» (фр. *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*). Ця робота вважається основоположною в термодинаміці. У ній було проведено аналіз існуючих у той час парових машин, і було виведено умови, за яких ККД досягає максимального значення (у парових машинах того часу ККД не перевищував 2%). Крім цього у цій же роботі були запроваджені основні поняття термодинаміки: ідеальна теплова машина, ідеальний цикл, оборотність і необоротність термодинамічних процесів.

Цикл Карно — термодинамічний цикл, який складається з двох ізотермічних процесів і двох адіабатних процесів, що поперемінно чергуються між собою.

У 1826 році, Семюель Морі, піонер американського «паробудування», запатентував двигун внутрішнього згоряння, що працює на скипидарі і спирті. Двигун мав багато спільного з сучасними, він складався з двох циліндрів з водяною сорочкою, карбюратора і випускних клапанів.

Морі продемонстрував свій двигун в Нью-Йорку і Філадельфії, про що є свідчення очевидців. Двигуни були встановлені на човен і на віз. Під час демонстрації «автомобіля», Морі не впорався з керуванням і з'їхав в канаву. Це була перша в США поїздка на автомобілі. Незважаючи на успіх, Морі не зміг знайти покупця.



Наступний двигун внутрішнього згоряння з'явиться в 1858 році у бельгійського інженера Жан Жозеф Етьєн Лєнуара (Jean Joseph Etienne Lenoir) - французького винахідника (80 патентів) та підприємця.

Двотактовий карбюраторний двигун, двигун з іскровим запалюванням, паливом для якого служив кам'яновугільний газ, стане першим комерційно успішним двигуном такого роду. Перший двигун пропрацював лише кілька секунд через відсутність системи змащення і системи охолодження, які були успішно застосовані на наступних зразках. У 1863 році Лєнуар поліпшив конструкцію свого двигуна, використавши замість газового палива, гас. На ньому триколісний прототип сучасних машин проїхав історичні 50 миль.

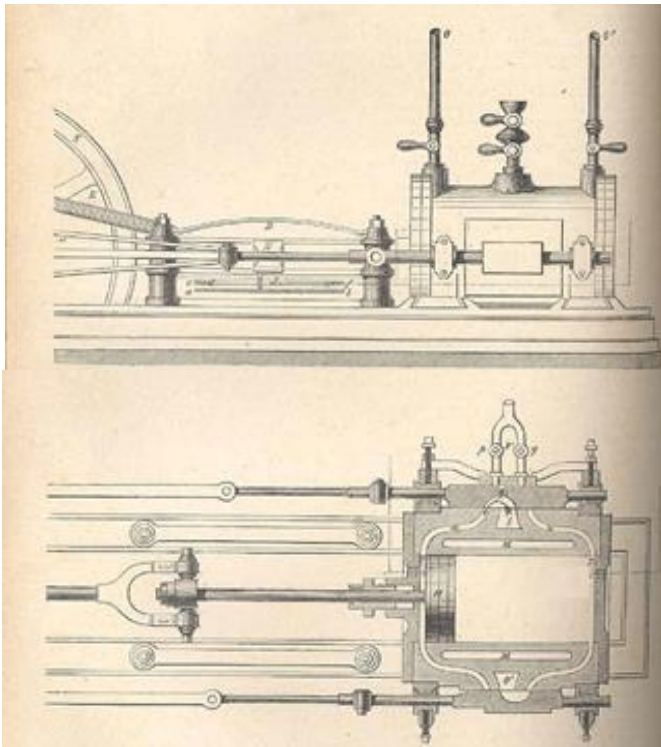


Рисунок 2.10 Газовий двотактовий двигун Лєнуара, 1861.

Двотактний газовий двигун був менш громіздким і важким у порівнянні з паровими, простішим в управлінні, при запуску не вимагав тривалої підготовки (розігрівання котла), а в стаціонарному режимі працював повністю автоматично, тоді як для роботи парової машини

потрібна постійна участь кочегара. З цих причин газовий двигун відразу привернув до себе увагу споживачів.

Двигун з 18-літровим циліндром розвивав потужність всього 2 кінські сили. Ці недоліки були спричинені відсутністю в двигуні Ленуара стиску паливної суміші перед запалюванням.

У технічній термодинаміці робочий процес двигуна Ленуара описується циклом Ленуара.



Рисунок 2.11 Перший автомобіль з двигуном Ленуара.

Ідеальний цикл Ленуара складається з трьох термодинамічних процесів:

- 1—2 ізохорне нагрівання робочого тіла;
- 2—3 ізоентропійне розширення;
- 3—1 ізобарне охолодження.

Двигун Ленуара не був позбавлений недоліків, його ККД сягав лише 5%, він не дуже ефективно витрачав паливо і мастильні матеріали, занадто сильно нагрівався і т.п., але це був перший, після довгих років забуття, комерційно успішний проект створення нового двигуна для потреб промисловості.

У 1867 році з'явився двигун економічніший за двигун Лемуара і попит на них різко впав. Цим новим двигуном став перший двигун Отто. Ніколас Отто (Nikolaus August Otto), через 14 років після теоретичного обґрунтування роботи 4-х циліндрового двигуна Бо де Роша, створив робочу модель, відому, як «цикл Отто», цикл із запалюванням від іскрового розряду. Двигун внутрішнього згоряння Отто мав вертикальний циліндр, обертовий вал, з валом була з'єднана спеціальна рейка. Вал піднімав поршень, за рахунок чого утворювалося розрідження, завдяки якому всмоктувалася паливно-повітряна суміш, яка згодом запалювалася. У двигуні не використовувалося електричне запалювання, інженери не володіли достатнім рівнем знань в електротехніці, суміш запалювали відритим полум'ям через спеціальний отвір. Після вибуху суміші зростав тиск, під дією якого поршень піднімався (спочатку під дією газу, а потім за інерцією) і спеціальний механізм від'єднував рейку від валу, знову створювалося розрідження, паливо засмоктувалася в камеру згоряння, і процес повторювався. ККД цього двигуна перевищував 15%, що було значно вище, ніж ККД будь-якої парової машини того часу. Вдала конструкція, висока економічність, а так само постійна робота над будовою агрегату (саме Отто в 1877 році запатентував новий вид двигуна внутрішнього згоряння з чотиритактним циклом, який лежить в основі більшості сучасних двигунів внутрішнього згоряння) дозволило зайняти значну частку ринку приводів для різних пристроїв і механізмів.

Цей двигун мав декілька суттєвих недоліків. По-перше, робота супроводжувалась значним шумом. По-друге – для двигуна було необхідним спеціальне приміщення (висота підйому зубчастої рійки складала 3,5 м. Ці недоліки змусили Отто повернутись до ідеї стиснення суміші. Саме такий двигун і був побудований ним у 1878 році. Це був прототип сучасного чотиритактного двигуна.

Після банкрутства в 1872 році, Ланген і Отто заснували нову компанію, яка сьогодні відома як «Deutz AG». На посаду топ-менеджера був прийнятий Готліб Даймлер, який в свою чергу, взяв на посаду головного конструктора свого друга Вільгельма Майбаха.

Чотиритактний цикл був найбільшим технічним досягненням Отто, але незабаром виявилось, що за кілька років до його винаходу точно такий же принцип роботи двигуна був описаний французьким інженером Бо де Роша. Група французьких промисловців оскаржила патент Отто в суді, суд визнав їх доводи переконливими. Права Отто, що впливали з його патенту, були значно скорочені, в тому числі було анульовано його монопольне право на чотиритактний цикл.

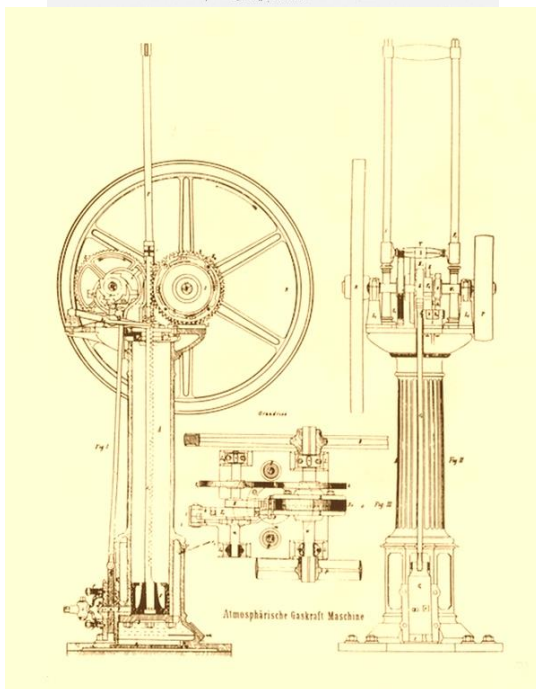
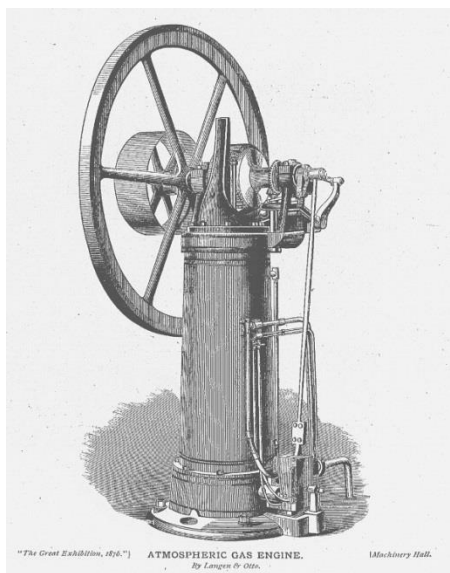


Рисунок 2.12 Атмосферный движун Отто.

### 2.3 Лабораторна демонстрація

Практична частина (можливий показ презентації з поясненням принципу дії двигуна Стірлінга, якщо неможливо відтворити роботу в умовах класу).

**Метою практичної частини** – є засвоєння лекційного матеріалу завдяки простим прикладам, що розкривають властивості дії теплової енергії та перетворення її у механічну, або електричну енергію.

Пропонується провести лабораторну роботу з презентацією теплового тиску полум'я та принципу дії двигуна Стірлінга.

Під час проведення лабораторної роботи необхідно дотримуватись правил пожежної безпеки. Також необхідно бути обережним, оскільки деякі частини складових досліду можуть мати високу температуру та призвести до опіків.



Рисунок 2.13 Обладнання та матеріали, що використовуються під час демонстрації дії теплової енергії.

**Обладнання та матеріали, що використовуються:** лист паперу для друку або ксероксу; олівець; скотч; шпилька (голка); стійка  $\pm 200$  мм; свічка; джерело вогню (див. рис. 2.13). Для презентації принципу дії двигуна Стірлінга необхідна наявність лабораторної установки з джерелом вогню або відео презентація, що демонструє принцип дії двигуна.

Пристаємо до складання установки для демонстрації дії теплової енергії. На початку на листі паперу необхідно намалювати та вирізати спіраль діаметром, приблизно 120 мм. Потім, за допомогою скотчу приєднати шпильку (голку) до стійки, а саму стійку закріпити на підсвічнику. Спіраль, не проколюючи папір, розмістити на голці, центруючи її з урахуванням центру ваги. Підготовка до проведення досліду завершена. Далі необхідно запалити свічку, і ми спостерігаємо, як під дією теплової енергії, що тисне на спіраль, остання починає обертатись навколо своєї осі.

Даний дослід дозволяє зробити висновок про можливість використання теплової енергії для приводу механізмів. Підвищити потужність даної установки можливо за умови зменшення втрат теплової енергії в навколишнє середовище, і саме прикладом інженерної думки, що була направлена на «економію тепла» став винахід двигуна Стірлінга, названого на честь його винахідника (див. рис. 2.8).

Для пуску лабораторної установки двигуна Стірлінга (див. рис. 2.14), необхідно розмістити джерело енергії, у нашому випадку – сухий спирт, в області нагріву. Для початку роботи двигуну необхідно досягти достатньої різниці температур між гарячою і холодною частинами.



Рисунок 2.14 Лабораторна установка двигуна Стірлінга.

Даний дослід демонструє перетворення теплової енергії у механічну або електричну енергію за допомогою двигуна Стірлінга.

## 2.4 Висновки

Розвиток промисловості вимагав незалежних джерел механічної енергії. Поява парових машин дозволила статися промисловій революції та сформувати сучасний світ. Потреба промисловості у більш досконалих ніж парові двигуни джерелах енергії привела до появи двигунів внутрішнього згоряння. Значно випереджаючи парові машини за показниками ДВЗ завдяки конкуренції винахідників та підтримці нових ідей промисловістю швидко змогли не тільки зайняти місце основного джерела механічної енергії, і завоювати нові галузі промисловості, а, також, дати значний поштовх розвитку транспорту. І на сьогодні ДВЗ залишаються затребуваними через свою мобільність: як самостійні джерела механічної енергії і як складові гібридних енергетичних установок.

### Перелік джерел.

1. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І. Автомобільні двигуни: Підручник – К.: Арістей, 2004. – 476 с.
2. Марченко А.П., Рязанцев М.К., Шеховцов А.Ф. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т. 1. Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин./ За ред. А.П. Марченка та А.Ф. Шеховцова. – Харків: Прапор, 2004. – 384 с.
3. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. Под ред. А.С.Орлина и М.Г.Круглова. Машиностроение. 1990.
4. Моравский А.В., Файн М.А. Огонь в упряжке. – М., Знание, 1990.
5. Гагарин Е.И. Развитие конструкции автомобильных двигателей. – М., Издательство академии наук СССР, 1962. – 191 с.
6. Акимов П.П. История развития судовых энергетических установок. – Л.: Судостроение. – 1966. – 188 с.
7. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учебное пособие для вузов / А.И. Колчин, В.П. Демидов – М.: Высш. шк., 2002. – 496 с.
8. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т. 1-6. / За ред. А.П. Марченка та А.Ф. Шеховцова. – Харків: Прапор, 2004.
9. Klooster, John W. (2009). Icons of invention: the makers of the modern world from Gutenberg to Gates. Icons of invention 1. ABC-CLIO. с. 30. ISBN 9780313347436.(англ.)
10. Thurston, Robert Henry (1878). A history of the growth of the steam-engine. The International Scientific Series. New York: D. Appleton and Company. с. 80.(англ.)
11. Гутенберг. Уатт. Стефенсон и Фултон. Дагер и Ньепс. Эдисон и Морзе [Текст]: Биографические повествования / [сост., общ. ред. и послесл. Н. Ф. Болдырева; худож. оформление А. Ю. Данилова]. — Челябинск: Урал, 1996. — 435 с.: ил. — (Жизнь замечательных людей: биографическая библиотека Ф. Павленкова). ISBN 5-88294-066-4 (рос.)

12. Герон Александрийский и его изобретения  
<https://www.youtube.com/watch?v=Em6mCdU0ykg>
13. Четырехтактный двигатель. Николаус Август Отто  
<https://www.youtube.com/watch?v=d0AnQ2BtgvA>
14. Роберт Стирлинг і його двигун  
<https://www.youtube.com/watch?v=4iR0fC3ROuU>



## **Розділ 3**

### **ТОКАРНИЙ ВЕРСТАТ. ЩО? ДЕ? КОЛИ? ДЛЯ ЧОГО?**

*Іванова Марина Сергіївна*

*Басова Євгенія Володимирівна*

*Скидан Наталія Павлівна*

*Національний технічний університет*

*«Харківський політехнічний інститут»*

*Кафедра технології машинобудування та металорізальних верстатів*

**Тема:** Токарний верстат. Що? Де? Коли? Для чого?

#### **Мета та завдання уроку:**

- Отримати уявлення про місце та роль механічної обробки, як однієї з основних складових виробництва машин і механізмів, у науково-технічному прогресі;
- Ознайомлення учнів з розвитком технічних рішень при розробці та удосконаленні конструктивно-технологічних можливостей токарних верстатів;
- Ознайомлення учнів з призначенням токарного верстата, його основними вузлами та принципом дії, робочими рухами заготовки та інструменту.
- Створення умов для зацікавленості учнів у вивченні інженерних наук.

#### **Мотивація учнів до навчальної діяльності:**

Викладання учням нової історичної та теоретичної інформації, демонстрація фото- та відео презентацій, залучення учнів до дискусії, відповіді на запитання, висловлення власних суджень.

#### **План уроку:**

- 1. Постановка проблеми.**
- 2. Історія розвитку токарних верстатів.**
- 3. Конструкція та принцип дії токарно-гвинторізного верстата.**
- 4. Види робіт, що можна виконувати на токарних верстатах та основні рухи.**
- 5. Хід роботи**
- 6. Перевірка знань**
- 7. Висновки. Підсумки уроку.**

#### **3.1 Постановка проблеми**

Учні повинні подивитися на зображення виробів, наведених на рисунках 3.1, 3.2 та відповісти на питання, що спільного є в цих виробах. Правильна відповідь полягає в тому, що все це є тіла обертання.

Далі вчитель повинен запитати, чи мають учні уяву, як можна виготовити ці вироби і що для цього потрібно. Правильна відповідь полягає в тому, що для виготовлення цих виробів потрібно мати токарний верстат.



Рисунок 3.1 Вироби з дерева, виготовлені на токарному верстаті.



Рисунок 3.2 Вироби з металу, виготовлені на токарному верстаті.

### 3.2 Історія розвитку токарних верстатів

Вчитель знайомить учнів з поняттями верстат та надає історичні відомості щодо розвитку конструкцій та технологічних можливостей токарних верстатів.

**Верстат** – це машин (агрегат), яку призначено для зміни форми та розмірів виробів із різних матеріалів шляхом застосування механічної сили для видалення надлишкового матеріалу за допомогою різального інструменту. Крім того, верстат повинен мати механізми надійного кріплення заготовки та інструменту, і в той самий час, забезпечувати спрямування формоутворюючих рухів інструменту, заготовки або обох відразу.

В теперішній час в світі існує безліч верстатів (токарні, свердлильні, фрезерні, зубооброблювальні, довбальні, стругальні тощо), що відрізняються призначенням, кількістю та різновидом технологічних операцій, габаритами, розмірами та формою деталей, які можна обробляти

на них, тощо. Але токарний верстат вважається «прабатьком» всіх верстатів.

Найраніше свідчення про токарний верстат зустрічаються у Стародавньому Єгипті близько 1300 року до нашої ери [1]. Існують також незначні докази його існування в мікенській цивілізації, починаючи з XIII-XIV століття до нашої ери [2]. Перші лучкові токарні верстати (Рисунок 3.3) використовували для обточування м'яких матеріалів, наприклад, дерево, слонова кістка або м'які метали, такі як свинець або мідь. Принцип роботи лучкового токарного верстата полягає в наступному: тятиву лука обертають навколо заготовки з одного боку і робітник, роблячи зворотно-поступальні рухи луком, змушує заготовку обертатися. Різальний інструмент підтримувався на верхній горизонтальній балці і накладався на заготовку, що оберталася. Поєднання обертального руху заготовки та поступального (поздовжнього та/або поперечного) руху різального інструменту надавало можливість придати об'єкту бажаної форми.



Рисунок 3.3 Лучковий токарний верстат [3].

У XIV - XV століттях були поширені токарні верстати з ножним приводом (Рисунок 3.4). Нижній привід складався з очепа – пружної жердини, закріпленої консольно над верстатом. До кінця жердини кріпилася мотузка, яка була обгорнута на один оберт навколо заготовки і нижнім кінцем кріпилася до педалі. При натисканні на педаль мотузка натягувалася, змушуючи заготівлю зробити один-два обороти, а жердина - зігнутися. При відпусканні педалі жердина випростувалася, тягла вгору мотузку, і заготівля робила ті ж обороти в інший бік.



Рисунок 3.4 Токарний верстат з ножним приводом [3].

Приблизно до 1430 року замість очепа стали застосовувати механізм, що включає педаль, шатун і кривошип, отримавши, таким чином, привід, аналогічний поширеному в XX столітті ножному приводу швейної машинки. З цього часу заготовка на токарному верстаті отримала замість коливального руху обертання в один бік протягом процесу точіння (Рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 Токарний верстат з ножним приводом та можливістю зміни швидкості обертання [4].

Токарне мистецтво набуло широкого розвитку в XVII – XVIII столітті. Серед коронованих токарів можна назвати короля Пруссії Фрідріха-Вільгельма, тосканського герцога Козімо III Медічі, короля Франції Людовіка 15-го, Катерину Велику та Марію Федорівну – дружину імператора Павла I.

В 1717 «придворний токар Його Величності Імператор Петра Великого» Андрій Костянтинович Нартов вперше винайшов токарно-гвинторізний верстат з механізованим супортом і набором змінних зубчастих коліс (Рисунок 3.6) [5].

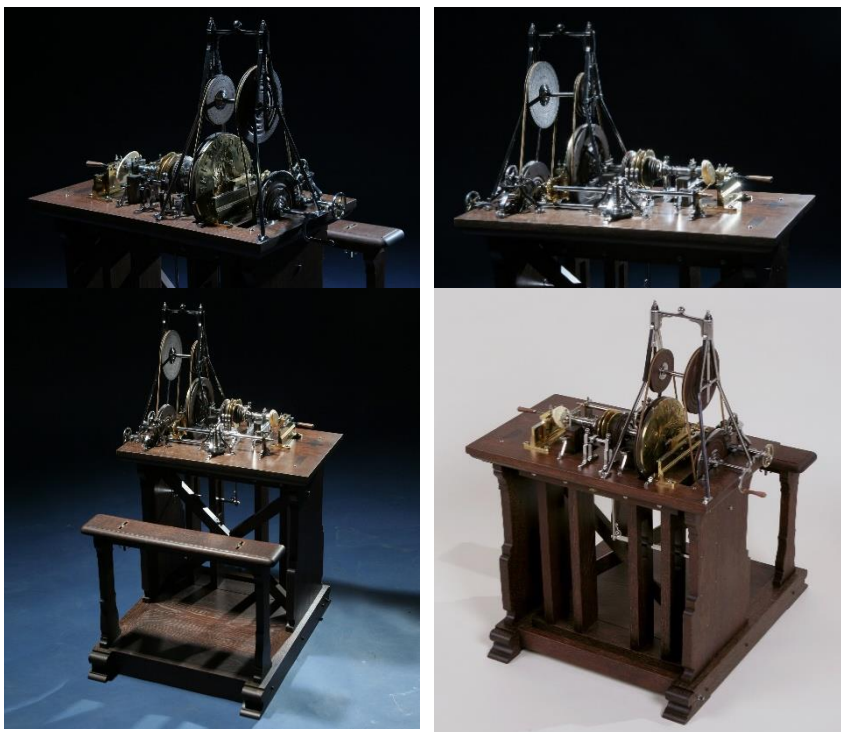


Рисунок 3.6 Токарний верстат А.К. Нартова [5].

У токарних верстатах тієї епохи різець затискався в особливому тримачі, який переміщали вручну, притискаючи до предмета, що обробляється. Якість виробу залежала тільки від точності рук майстра, тим більше, що на той час токарні верстати вже застосовувалися для обробки металевих, а не дерев'яних виробів. Нарізати різьблення на болти, наносити складні візерунки на предмет, що обробляється, виготовити зубчасті колеса

з дрібними зубчиками міг тільки дуже майстерний майстер. У своєму верстаті Нартон не просто закріпив різець, але й застосував таку схему: копіювальний палець і супорт приводилися в рух одним ходовим гвинтом, але з різним кроком нарізки під різцем та під копіром. Таким чином було забезпечено автоматичне переміщення супорта вздовж осі заготовки, що обробляється. Верстат дозволяв виточувати найскладніші рисунки майже на будь-яких поверхнях. Хоч як це парадоксально, незважаючи на всі подальші вдосконалення придуманого Нартоним механізованого супорта, принцип його дії залишився таким самим і в наш час [5]. Перші токарні верстати Нартона зберігаються в колекції Ермітажу, як шедеври інженерного мистецтва XVIII ст.

Перший токарний верстат, здатний нарізати точну різьбу, був спроектований і виготовлений Генрі Модслі, англійським майстром-механіком і верстатником, приблизно в 1800 році. Головною перевагою цього верстата (Рисунок 3.7) стало використання механізованого супорта. За допомогою зубчастої передачі ходовий гвинт з'єднаний зі шпинделем, обертаючи який можна було переміщати різець уздовж корпусу верстата та встановлювати його з високою точністю. При цьому до верстата він виготовив окремий набір різних ходових гвинтів, заміна яких дозволяла нарізати різьблення різного кроку та висоти.

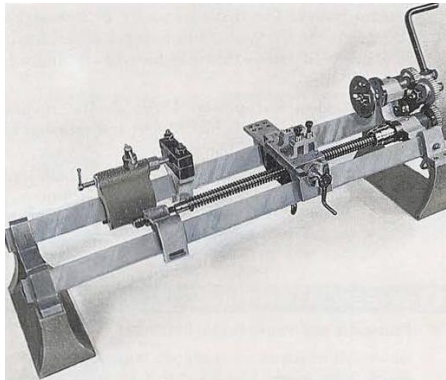


Рисунок 3.7 Токарно-гвинторізний верстат Генрі Модслі [1].

Промислова революція не могла б статися, якби не було дешевого та зручного джерела енергії: парової машини. До появи парової машини промисловість мала розташовуватися поблизу джерела енергії води. Часто це було на деякій відстані від сировини та робітників. За дешевої енергії промисловість могла розташовуватися там, де було багато робітників і де була потрібна продукція, яку вони виробляли. У свою чергу, парова машина була б неможлива без верстатів. Поки свердлильний верстат і

токарний верстат не були розроблені настільки, що метал можна було обробляти з деяким ступенем точності, парової машини не могло бути.

Під час промислової революції механізована енергія, що генерується водяними колесами або паровими двигунами, передавалася на токарний верстат за допомогою лінійного валу, що дозволяло швидше та легше працювати. Металообробні токарні верстати перетворилися на важчі верстати з більш товстими та жорсткими деталями. Між кінцем XIX та серединою XX століть окремі електродвигуни на кожному токарному верстаті замінили лінійний вал як джерело енергії. Починаючи з 1950-х років сервомеханізми застосовувалися для керування токарними верстатами та іншими верстатами за допомогою числового керування, яке часто поєднувалося з комп'ютерами для створення числового програмного керування (ЧПУ). Сьогодні в обробній промисловості співіснують токарні верстати з ручним керуванням (Рисунок 3.8, а) та ЧПУ (Рисунок 3.8, б).



Рисунок 3.8 Токарний верстат металу:  
а – з ручним керуванням моделі; б – з керуванням ЧПУ моделі.

### 3.3 Конструкція та принцип дії токарно-гвинторізного верстата

Незалежно від розмірів і конструктивних особливостей всі токарно-гвинторізні верстати загалом мають наступні вузли і механізми (Рисунок 3.9).

Станина служить для з'єднання всіх основних вузлів і частин верстата. На ній встановлені передня бабка, коробка подач, задня бабка і супорт. Передня бабка розташована зліва на станині. Вона має чавунний корпус, всередині якого розміщена коробка швидкостей і пустотілий шпиндель. Коробка швидкостей надає обертання шпинделю і дозволяє змінювати частоту і напрям обертання. На правому кінці шпинделя встановлюється пристрій для закріплення заготовки, яка оброблюється (патрон, планшайба тощо). Задня бабка встановлюється на правому кінці станини і може пересуватися по її напрямних. Вона використовується для



закріплення різального інструменту (свердел, зенкерів, розверток) або заднього центра.

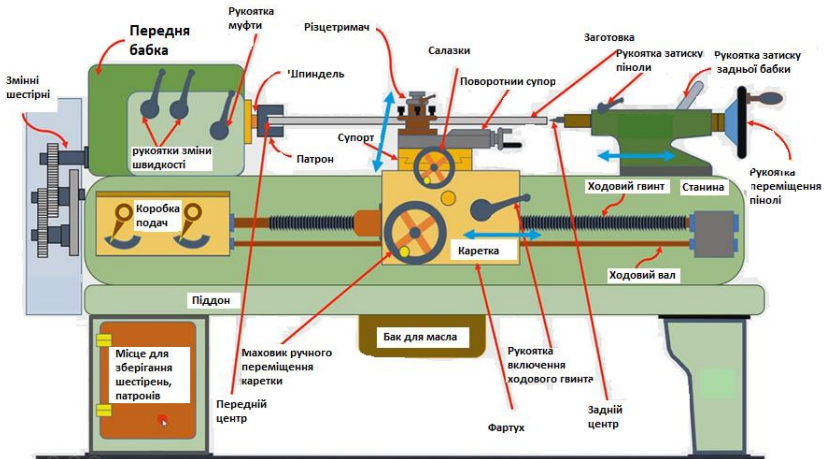


Рисунок 3.9 Загальний вигляд токарно-гвинторізного верстата.

Поздовжній супорт пересувається по напрямних станини і забезпечує поздовжню подачу. Поперечний супорт пересувається по напрямних поздовжнього супорта перпендикулярно до осі обертання шпинделя. На ньому змонтований верхній супорт з різцетримачем.

Пересування супортів визначається за допомогою лімбів, які являють собою циліндричні барабани з нанесеними на них поділками. Ціна поділки лімба, тобто величина переміщення супорта при повороті рукоятки ручної подачі на одну поділку, характеризує точність верстата.

Коробка подач дозволяє змінювати частоту обертання ходового валу або ходового гвинта, отже і величину подачі. Коробка подач з'єднана зі шпинделем гітарою змінних зубчастих коліс.

Механізми, що розташовані у фаргуху супорта, перетворюють обертальний рух ходового гвинта або ходового валу в прямолінійний поступальний рух поздовжнього або поперечного супортів. При нарізанні різьби використовується ходовий гвинт, а при всіх інших видах токарної обробки - тільки ходовий вал.

### 3.4 Види робіт, що можна виконувати на токарних верстатах та основні рухи

Роботи, що можна виконувати на токарних верстатах називають точінням. Точіння є високопродуктивним технологічним методом обробки поверхонь, головним чином поверхонь обертання різної форми



(циліндричних, конічних, фасонних), а також плоских (торцевих) токарними різцями на токарних верстатах.

На токарно-гвинторізних верстатах можна виконувати такі роботи (Рисунок 3.10):

- точіння зовнішніх і внутрішніх циліндричних і конічних поверхонь;
- точіння торцевих поверхонь;
- свердління, зенкерування, розвертання і розточування отворів;
- нарізання зовнішніх і внутрішніх різьб різцем, плашкою, гайкорізом;
- точіння фасонних і сферичних поверхонь;
- обкатування поверхонь роликми і накатування рифлень.

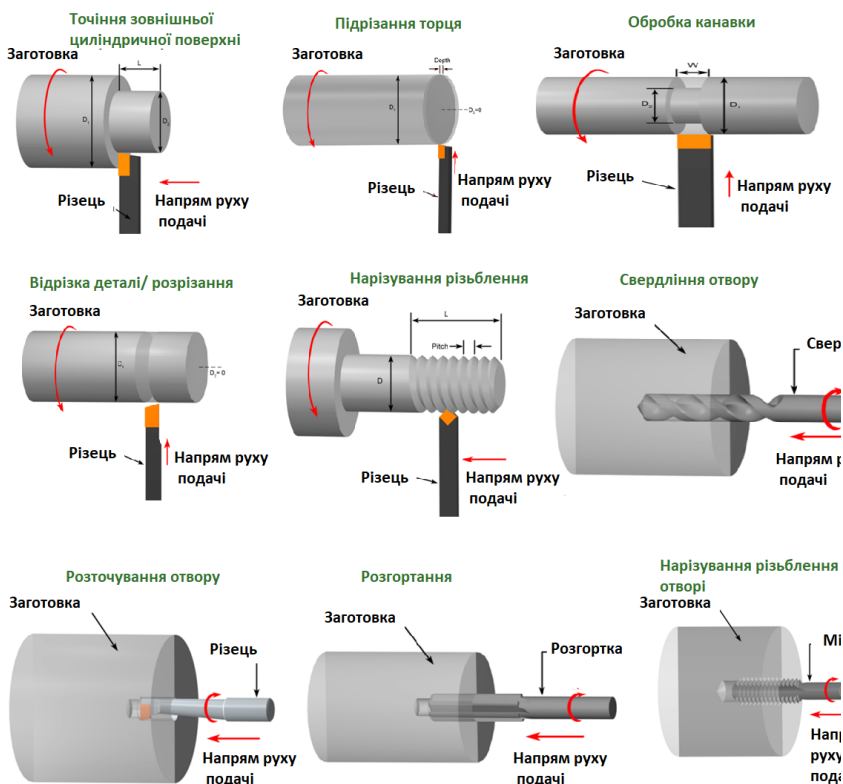


Рисунок 3.10 Види робіт, що виконують на токарних верстатах.

Рухи, які виконують інструмент і заготовка в процесі різання, називаються робочими. Для будь-якого металорізального верстата робочими рухами є рух різання (головний рух) і рух подачі.

Рух різання для токарного верстата – це обертання заготовки. Він забезпечує зняття стружки з заготовки.

Рух подачі забезпечує поздовжнє або поперечне переміщення різального інструмента відносно заготовки.

Рух різання визначається швидкістю різання, яка вимірюється в метрах за хвилину і може бути розрахована за формулою:

$$V = \pi Dn / 1000 \quad (3.1),$$

де  $D$  – діаметр оброблюваної заготовки в мм;  $n$  – частота обертання заготовки в обертах за хвилину.

Рух подачі визначається шляхом, пройденим інструментом відносно заготовки за її один оберт, і вимірюється в мм/об.

Для налагодження верстата потрібно знати режими різання, а саме: глибини різання, подачі, частоти обертання.

Під режимом різання розуміють сукупність показників, які визначають продуктивність процесу різання та якість оброблених поверхонь. До основних показників режиму різання відносять швидкість різання  $V$ , подачу  $S$  та глибину різання. Глибиною різання називають відстань між оброблюваною і обробленою поверхнями за один робочий хід інструмента відносно поверхні, яка обробляється.

Призначення елементів режиму різання відбувається у такій послідовності: спочатку вибирається максимально можлива і доцільна глибина різання  $t$ , потім максимально можлива подача  $S$ , а потім вже підраховується з урахуванням оптимальної стійкості інструмента і інших конкретних умов обробки швидкість різання. Для призначення елементів режиму різання необхідно знати матеріал заготовки і його фізико-механічні властивості; розміри заготовки, розміри деталі і технічні умови на її оброблені поверхні; матеріал і геометричні елементи ріжучої частини інструмента, його розміри, максимально допустимий знос і стійкість; кінематичні і динамічні дані верстата, на якому будуть обробляти дану заготовку.

Глибина різання визначається величиною припуску на обробку. При чорновій обробці припуск доцільно видаляти за один прохід. В цьому випадку глибина різання дорівнює припуску на обробку. При зрізанні підвищених припусків або при роботі на малопотужних верстатах припуск інколи доводиться розбивати на частини, роблячи уже кілька проходів.

При напівчистовій обробці глибина різання призначається в межах 0,5 ... 2,0 мм, а при чистовій – в межах 0,1 ... 0,4 мм.

Подачу доцільно призначати максимально можливою з метою підвищення продуктивності праці з урахуванням всіх факторів, що впливають на її величину.

На практиці подача звичайно надається з таблиць довідників з режимів різання, складених на основі досвіду роботи передових машинобудівних заводів. При чорновій (грубій) обробці максимальну подачу можуть обмежувати міцність і жорсткість різального інструменту, заготовки, міцність деталей механізмів верстата.

При напівчистовій і чистовій обробці максимальну подачу обмежують вимоги до якості обробленої поверхні, тому що чим більша подача, тим більш шорстка оброблена поверхня.

Після визначення глибини різання і подачі при відомій стійкості інструменту визначається швидкість різання  $V$  за формулами, що наводяться у довідниках з режимів різання.

### **3.5. Хід роботи**

1. Вивчити принцип роботи та будову токарно-гвинторізного верстата: розташування та призначення головних вузлів та механізмів, рукояток управління.

2. Вивчити методи обробки різних поверхонь на токарних верстатах, основні рухи.

3. Пройти інструктаж з техніки безпеки при роботі на верстаті.

4. Виконати точіння заготовки діаметром  $D$ , розрахувавши за вказаною швидкістю різання необхідну частоту обертів шпинделя.

#### **Контрольні питання.**

1. Що таке верстат?
2. Де й коли розпочали застосовувати перші аналоги токарних верстатів? Для яких матеріалів? Чому?
3. Що особливого в конструкції токарного верстата розробленого А.К. Нартовим?
4. Що особливого в конструкції токарного верстата розробленого Г. Модслі ?
5. Які основні вузли токарного верстата ви знаєте? В чому їх призначення?
6. Які поверхні можна обробляти на токарних верстатах?
7. Які операції можна виконувати та які рухи при цьому здійснюють заготовка й інструмент?
8. Що таке режими різання? Перелічіть їх.

### **3.6. Висновки. Підсумки уроку.**

Вчитель підбиває **підсумок уроку**, відмічає найбільш вдалі моменти у відповідях учнів, дає рекомендації.

#### **Перелік джерел**

1. Machining fundamentals / John R. Walker, Bob Dixon // The Goodheart-Willcox Company, Inc. – 2019. – 650 p.
2. A brief history of woodturning / Brian Clifford // [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://www.turningtools.co.uk.wgo.ca/history2/history-turning2.html>
3. Gallery of Wood Art. American Association of Woodturners // [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://www.galleryofwoodart.org/>
4. Renaissancewoodworker. Foot Powered Wood Turning // [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://www.renaissancewoodworker.com/foot-powered-wood-turning/>
5. Станок Нартова. Макетбург. Мастерская Григория Ципина. // [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://maketburg.ru/gallery/stanok-nartova/>
6. Технологія конструкційних матеріалів / О.П. Шиліна, А.Ю. Осадчук // [Електронний ресурс]. – Режим доступу [https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/shilina\\_tehnologiya\\_konstrukc\\_materialiv/index\\_lab\\_8.htm](https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/shilina_tehnologiya_konstrukc_materialiv/index_lab_8.htm)
7. Токарная обработка / Фещенко В.Н. // Высш. шк. – 2005. – 303 с.

## Розділ 4

### ЯК ОПТИКА XVII СТОЛІТТЯ ЗМІНИЛА ПОГЛЯД НА НАУКУ...

<sup>1</sup>Мінакова Ксенія Олександрівна

<sup>2</sup>Кіріченко Михайло Валерійович

Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

<sup>1</sup>Кафедра фізики

<sup>2</sup>Кафедра мікро- та наноелектроніки

**Тема:** Еволюція оптичних явищ та приладів. Фізика і технологія основних оптичних процесів.

#### Мета та завдання уроку:

- Пояснення зв'язку між базовими знаннями з оптики та явищами навколо нас.
- Ознайомлення учнів з основними законами геометричної та хвильової оптики, зв'язок з технологіями оптичних понять та залежностей.
- Створення теоретичного та мотиваційного підґрунтя для застосування отриманих знань на практиці і стимулювання до набуття власного експериментального досвіду.

#### Мотивація учнів до навчальної діяльності здійснюється завдяки:

- залученню до лекційного матеріалу відомостей та кейсів з актуальних серед молоді наукових досліджень та відкриттів, зокрема запуск James Webb Space Telescope [1-5];
- екскурсам в історію науки та її успіхів і розгляду теми у контексті розвитку цивілізації загалом;
- запрошенню до обговорення, сумісному пошуку відповідей на поставлені запитання та можливості продовження дискусії після виконання домашнього завдання.

Вчитель може використовувати заздалегідь підготовлений матеріал для його демонстрації засобами мультимедіа з метою поживлення реакції учнів. Текст, викладений нижче, містить кількість відомостей, можливо, зовелику для одного уроку, але в такому випадку його можна використовувати з врахуванням активності, інтересів учнів, їх рівня підготовки та ін. обставин, або матеріал може бути застосований впродовж декількох уроків чи в межах факультативу на розсуд вчителя.

#### План уроку:

##### 1. Виявлення ступеню готовності учнів до уроку.

2. Вступне слово. Мотиваційна частина. Постановка актуальних питань.
3. Викладення основного матеріалу уроку.
4. Видача домашнього завдання. Висновки. Підсумки уроку.

#### 4.1. Історичний екскурс

Найпростіші оптичні прилади - лінзи використовувалися людьми ще за часів Стародавнього Єгипту, але довгі століття їх застосування обмежувалось здебільшого створенням різноманітних оптичних ефектів з розважальною або релігійною метою.

Лише в 17 сторіччі з винаходом телескопа і мікроскопа оптичні прилади міцно увійшли в арсенал наукових засобів пізнання і суттєво розширили горизонти людських знань, показавши ту саму Ломоносівську «безодню», змінивши те, як ми бачимо світ, і зробивши Новий час епохою великих відкриттів (і далеко не тільки географічних). Мало хто замислюється про те, як ці інструменти розширили людську свідомість і вплинули на саме відчуття часу.

У своїй праці *Sidereus Nuncius* («зоряний вісник» в перекладі з латині) Галілео Галілей ще в 1610 році висловив думку про те, що відкриті за допомогою телескопа зірки були «новими», тоді як давно відомі можна вважати «старими». Він зробив явне відсилання до Нового Світу і епохи географічних відкриттів. «Старі» зірки символізували обмеженість і замкнутість доступних знань в минулому, а «нові» - перевагу нових знань і можливість подальшого розширення горизонтів пізнання. Галілей справедливо припустив, що є й інші зірки, які він ще не бачить, але які побачать його нащадки за допомогою досконаліших версій інструментів. І дійсно принципи, закладені такими вченими як Галілей і Гершель і інші дозволили створити телескопи воістину гігантських розмірів та вивести їх в космос і вже з орбіти зробити найбільші відкриття в астрономії - виявити екзопланети, спіймати в об'єктиви світло, яке за віком можна порівняти з нашим Всесвітом.

Але навіть телескоп Галілея, що здається маленькою підзорною трубою на тлі космічного телескопа Хаббл вже дозволив зробити важливий крок на шляху пізнання по суті спростувавши переконання Арістотеля. Уже в XX столітті німецький філософ Ганс Блюменберг напише про це: «Через телескоп споглядання небес набуває історичного характеру: в ситуації, коли космічний горизонт досвіду був незмінним з початку часів, винахід телескопа знаменує межу, за якою можна передбачити триваюче зростання обсягів доступної нам реальності».

Так закритий і маленький грецький світ перетворився на невичерпне джерело нових унікальних об'єктів пізнання, несхожих на всі попередні. Одним з таких об'єктів стали кільця Сатурна, відкриті

Гюйгенсом. З'явилась навіть думка, що всім нащадкам залишиться тільки спостерігати і фіксувати нові об'єкти, а інші наукові методи підуть у небуття (на щастя для всіх, вона не стала реальністю). І дійсно, незважаючи на істотно зростаючу роль радіоастрономії, оптичні спостереження за останні роки дозволили виявити близнюків нашої Землі, дослідити структури далеких галактик, а також запуск телескопа імені Джеймса Вебба стане кульмінацією розвитку оптичної астрономії в навколосемному просторі.

Саме розвиток телескопів надав величезного імпульсу розвитку астрономії як однієї з найбільш спостережних наук. Блез Паскаль зазначав, що стародавні греки не могли зрозуміти природу Чумацького Шляху як об'єкта, що складається з далеких (з точки зору Паскаля) зірок, і бачили його блідую розмазану масою. Тепер же, маючи телескоп, вчені змогли розрізнити в ньому окремі маленькі зірки. Не міг він звинуватити греків і в запереченні існування вакууму: наука під час їхнього життя ніяк не могла довести, що він є. Ставало очевидно, що наукове знання є відносним, оскільки воно спирається на обмежений набір даних.

Паскаль же бачив знання як процес, що відбувається в часі. Помилки та неточності теорій в середньому залежали від того, в який період жив вчений, що ї припустився. Тут пригадується фраза Ньютона про тих, хто стоїть на плечах гігантів: люди, народжені сторіччя тому, були принципово не здатні дізнатися те, що сьогодні знайоме кожному школяреві. Це зовсім не означає, що сьогоднішній школяр є розумнішим за того ж Ньютона, просто він народився в століття, коли доступної інформації стало набагато більше.

У цій боротьбі сучасність втратила свою привабливість і владу над розумами. До кінця XVII століття сучасність звели до однієї з численних ефемерних і швидкоплинних стадій. Якщо кожне попереднє покоління вважало себе вершиною наукового знання, тепер філософи почали відчувати хиткість такої опори, розуміючи, що через пару століть їх теорії будуть здаватися нащадкам майже такими ж застарілими, як ідеї греків.

Аналогічно і після винаходу мікроскопа і телескопа аристотелевський неподільний і непорушний світ став сприйматися як ширма, що закриває від людей справжні глибини реальності. «За туманом ховаються зірки, в мертвій матерії кипить невидиме життя, а однорідне в реальності є розділним, - пише Шпелда. - Доступний почуттям світ здається випадковим зрізом реальності, який не може представлятися обраним і правдивим поглядом на життя».

Така відмова від антропоцентричного погляду на реальність змінила методологію вивчення природи і натурфілософії. Вона призвела до розуміння того, що науковий прогрес нескінченний. Деякі мислителі, такі як Рене Декарт і Френсіс Бекон, все ще вважали, що людина коли-небудь

буде повністю панувати над природою. Філософи другої половини XVII століття відклали цю перемогу на багато століть вперед, в туманне, нерозрізнене майбутнє.

Знання розширювалися з лякаючою швидкістю. В каталозі Птолемея перераховано 1022 відомих зірки, але вже Галілей за допомогою свого телескопа подвоїв їх число. Астроном і богослов першої половини XVII століття Антон-Марія Рейта знайшов вже 2400 зірки тільки в області сузір'я Оріона. Телескоп Гюйгенса досяг збільшення в 100 разів, тоді як прилад Галілея наближав об'єкти тільки в 30 разів. Якщо Галілей бачив щось невиразне навколо Сатурна, то Гюйгенс зміг відкрити і описати його кільця.

Не відставали від астрономів і вчені, чії очі були звернені до землі, а не до неба. Винахідник мікроскопа Роберт Гук у своїй «мікрографії» пишається тим, що «поліпшення телескопа дозволить зробити таку ж безліч нових відкриттів на Небесах, як кращий мікроскоп - серед маленьких земних тіл. І обидва дали б нам нескінченний предмет вивчення, більше і більше захоплюючись всемогутністю Творця». Ньютон вірив, що за допомогою поліпшеного мікроскопа можна буде відкрити частинки, що відповідають за колір предметів. Ніяких елементарних частинок за час життя Ньютона так і не знайшли, і теорія була відкинута. Сьогодні ж ми знаємо не тільки про існування фундаментальних частинок, але і про подвійну, корпускулярно-хвильову, природу світла. А також про те, що колір - це теж наш спосіб сприйняття світу, і робимо ми це за допомогою вловлюються нашими зоровими аналізаторами частинок.

Кожне нове відкриття підтверджувало, що з розвитком технологій сховище таємниць природи більше і більше відкриває двері для людей. Тому природу стали метафорично називати «невичерпною скарбницею», де завжди знайдеться щось нове і дивовижне.

Наукове знання породжує запит на нове наукове знання, панування людини над природою віддаляється більше, ніж могли це уявити озброєні першими телескопами і мікроскопами вчені XVII століття. А самі ці оптичні інструменти, що колись подарували науці часовий вимір, все продовжують удосконалюватися.

### 4.3 Геометрична оптика

Вивчення *базової геометричної оптики* варто почати з розгляду того, як світло відбивається і заломлюється при потраплянні на гладкі та плоскі поверхні. На рисунку 4.1 а показано звичайне відбиття світла від плоскої поверхні, а на рисунку 4.1 б показано заломлення світла на двох послідовних плоских поверхнях. У кожному випадку світло зображується просто у вигляді прямих ліній, які ми називаємо *світловими променями*.



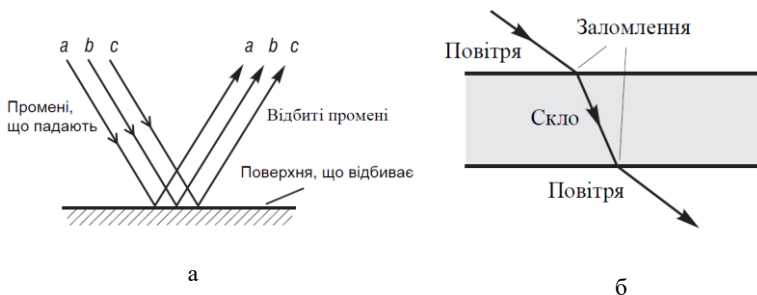


Рисунок 4.1 Світлові промені, що зазнають відбиття та рефракцію на плоскій поверхні

#### 4.3.1 Світлові промені і світлові хвилі

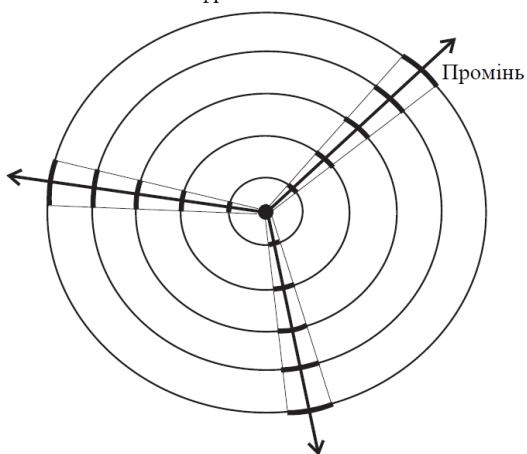
Перш ніж ми уважніше розглянемо використання *світлових променів* у геометричній оптиці, нам потрібно коротко розглянути уявлення про *світлові хвилі* та геометричний зв'язок між світловими променями та світловими хвилями. Для більшості з нас хвильовий рух легко візуалізується в термінах водних хвиль - наприклад, тих, які утворюються у тихому ставку біля рибацького поплавку (див. Рисунок 4.2 а). Послідовні високі точки (гребені) і низькі точки (впадини) виникають у вигляді цугу кругових хвиль, що рухаються радіально назовні від підйому поплавку. Кожна з кругових хвиль являє собою *хвильовий фронт*. Фронт хвилі визначається тут як локус точок, які з'єднують однакові зміщення хвиль, тобто однакові положення вище або нижче нормальній поверхні ставка.

На рисунку 4.2 б фронти кругових хвиль показано радіальними лініями, проведеними перпендикулярно до них по кількох напрямках. Кожен із променів описує рух *обмеженої частини* фронту хвилі уздовж певного напрямку. Тоді з геометричної точки зору *промінь* є прямою, перпендикулярною до ряду послідовних *хвильових фронтів*, що визначають *напрямок потоку енергії* в хвилі. На рисунку 4.2 в показані плоскі хвильові фронти світла, перетворені лінзою в круглі (сферичні в тривимірному уявленні) хвильові фронти, які потім сходяться до фокусної точки  $F$ . На цій же діаграмі показано *світлові промені*, що відповідають цим фронтам хвиль, перетвореним лінзою, щоб пройти крізь фокальну точку  $F$ . Рисунок 4.2 в чітко показує зв'язок між реальними хвилями та променями, які зазвичай використовують для спрощення сприйняття їх природи. В уявленнях геометричної оптики вважається прийнятним представляти взаємодію світлових хвиль з плоскими та сферичними поверхнями - з дзеркалами та лінзами - у представленні *світлових променів*.

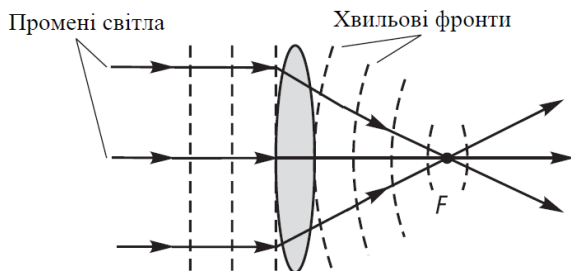


а

Хвильовий фронт



б



в

Рисунок 4.2 Хвилі та промені:

а - хвилі від рибацького поплавка; б - світлові промені та волнові фронти; в - зміна фронту хвиль та заломлення світлових променів.

За допомогою геометричної конструкції світлового променя ми можемо проілюструвати поширення, відбиття та заломлення світла на чітких, нескладних рисунках. Наприклад, на рисунку 4.3 а, розповсюдження світла від «точкового джерела» представлено однаково розташованими світловими променями, що виходять від джерела. Кожен промінь вказує на геометричну траєкторію, якою рухається світло від джерела. На рисунку 4.3 б показано відбиття кількох світлових променів від кривої дзеркальної поверхні, а на рисунку 4.3 в показано заломлення одного світлового променя, що проходить крізь призму.

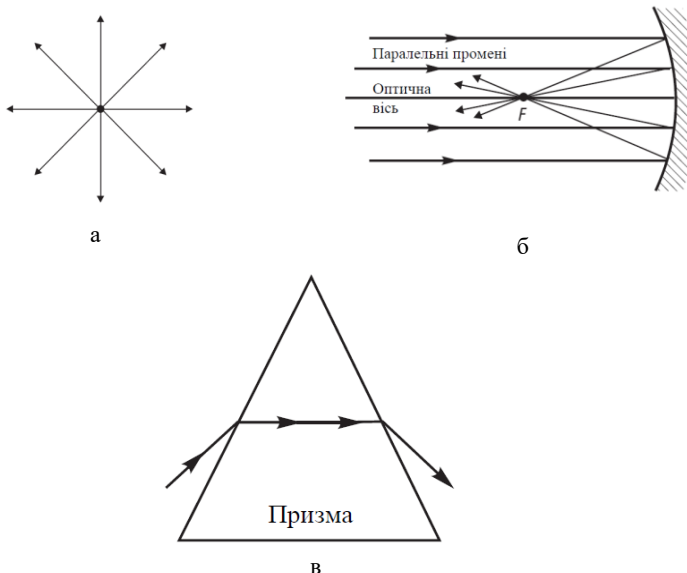


Рисунок 4.3 Типовий хід променів світла, що розповсюджуються від точкового джерела (а), зазнали відбиття (б) та заломлення (в).

### 4.3.2 Відбиття світла від оптичних поверхонь.

Коли світло падає на границю між двома прозорими оптичними середовищами, наприклад, між повітрям і склом або між водою і склом - падаюче світло може:

- зазнати часткового або повного відбиття від границі розділу.
- зазнати розсіювання у довільних напрямках на границі розділу.
- частково пройти шляхом рефракції на границі розділу і потрапити в друге середовище.
- частково поглинатися в будь-якому середовищі.

У нашому вступному дослідженні геометричної оптики ми будемо розглядати лише гладкі поверхні, які забезпечують *дзеркальне* відбиття (Рисунок 4.4 а) на відміну від нерівних, поверхонь, які призводять до *розсіяного* (дифузного) відбиття (Рисунок 4.4 б). Крім того, ми ігноруємо поглинання світлової енергії на шляху руху, хоча поглинання є важливим фактором, коли від відсотка світла, що передається від джерела до приймача залежить стабільність роботи оптичних систем.

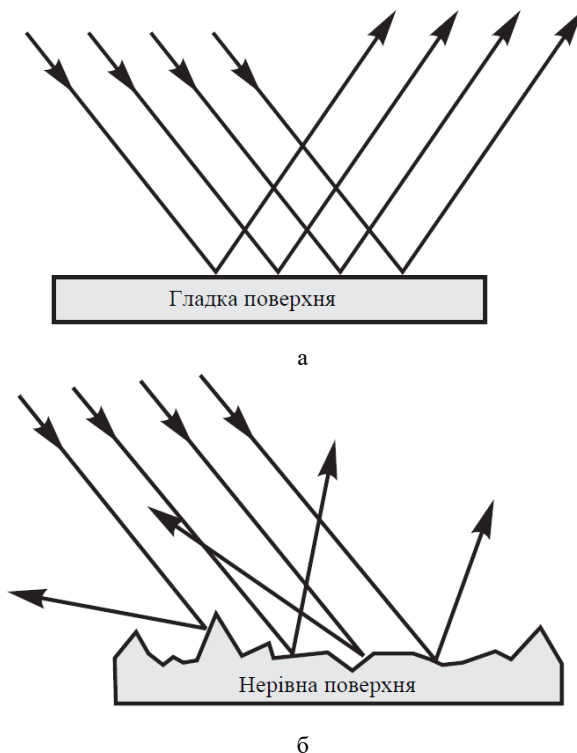


Рисунок 4.4 Дзеркальне (а) та дифузне (б) відбиття.

### 4.3.3 Відбиття від плоскої поверхні.

Коли світло відбивається від плоскої поверхні, як показано на рисунку 4.5 кут, який утворює відбитий промінь з нормаллю (лінія, перпендикулярна до поверхні) в точці падіння завжди дорівнює куту, який складає під яким промінь падає на поверхню. Слід зауважити, що падаючий промінь, відбитий промінь і нормаль завжди лежать в одній площині.

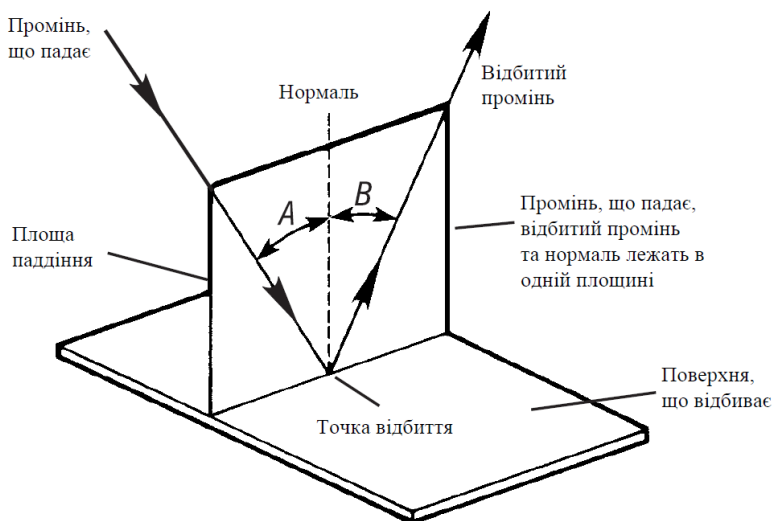


Рисунок 4.5 Закон відбиття.

Геометрія рисунка 4.5 нагадує нам, що відбиття світлових променів від плоскої гладкої поверхні схоже на геометрію бильярдних ударів, коли куля під кутом б'ється у стінку столу.

Маючи на увазі *закон відбиття*, ми бачимо, що для дзеркального відбиття, показаного раніше на рисунку 4.4 а кожен з падаючих паралельних променів відбивається від поверхні під однаковим кутом, таким чином залишаючись у відбитті також паралельними. На рисунку 4.4 б, де поверхня складається з безлічі *малих*, випадково орієнтованих плоских поверхонь, кожен промінь відбивається в напрямку, відмінному від його сусіда, навіть якщо кожен промінь підкоряється *закону відбиття* на власному невеликому відрізку поверхні.

#### 4.3.4 Відбиття від криволінійної поверхні.

У сферичних дзеркалах відбиття світла відбувається від вигнутої поверхні. *Закон відбиття* виконується, оскільки в кожній точці криволінійної поверхні можна провести *дотичну* до поверхні і встановити *нормаль* до точки *P* на поверхні, куди падає світло, як показано на рисунку 4.6. Потім застосовують *закон відбиття* в точці *P*, як було показано на рисунку 4.5, де падаючі та відбиті промені знаходяться під однаковими кутами (*A* і *B*) до нормалі до поверхні в точці *P*. Зверніть увагу, що послідовні дотичні до поверхні уздовж вигнутої поверхні на рисунку 4.6

представляють *впорядковані* (а не випадкові) ділянки «плоских дзеркал» і працюють - при плавному з'єднанні - як сферичне поверхневе дзеркало, здатне формувати чіткі зображення. Оскільки точку  $P$  можна перемістити в будь-яке місце вздовж криволінійної поверхні і провести там нормаль, ми завжди може знайти напрямок відбитого променя, застосовуючи *закон відбиття*. Ми будемо застосовувати цю методику під час вивчення того, як дзеркала відбивають світло для формування зображень.

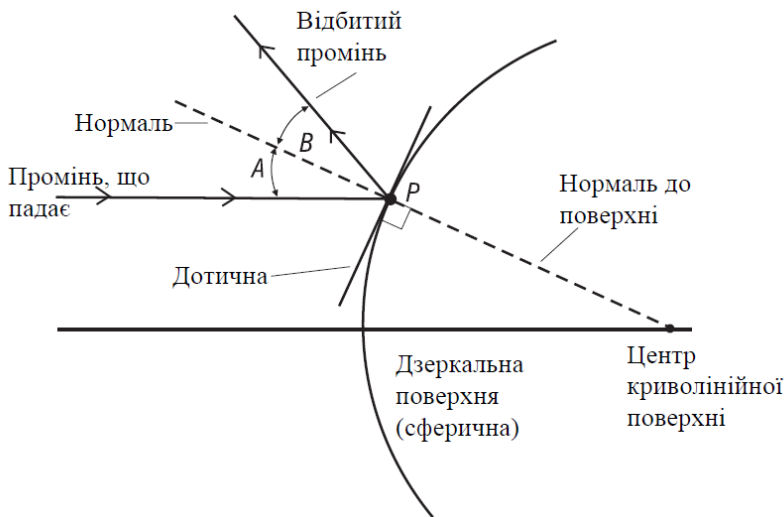


Рисунок 4.6 Відбиття від криволінійної поверхні.

#### 4.4. Заломлення (рефракція) світла від оптичною границі розділу

Коли світло падає на *границю розділу* - геометричну площину, яка розділяє одне оптичне середовище від іншого - він частково відіб'ється, а частково пройде всередину. На рисунку 4.7 показано тривимірний вигляд світла, що падає на частково відбиваючу поверхню (границю розділу), відбивається від неї (за *законом відбиття*), а частково заломлюється у друге середовище. Вигин світлових променів на межі двох оптичних середовищ називається *заломленням* (рефракцією). Перед тим як детально вивчити процес заломлення, нам потрібно описати оптичні середовища з точки зору показника заломлення.

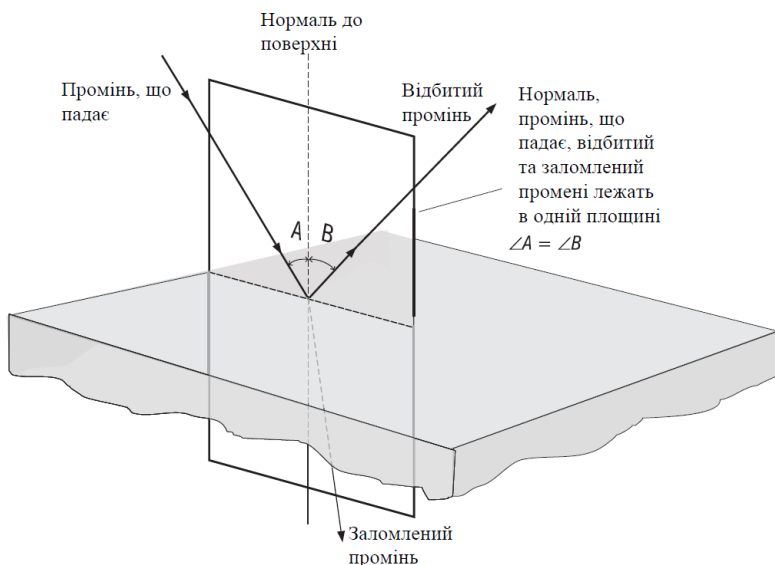


Рисунок 4.7 Відбиття та заломлення на границі розділу середовищ.

#### 4.4.1 Показник заломлення.

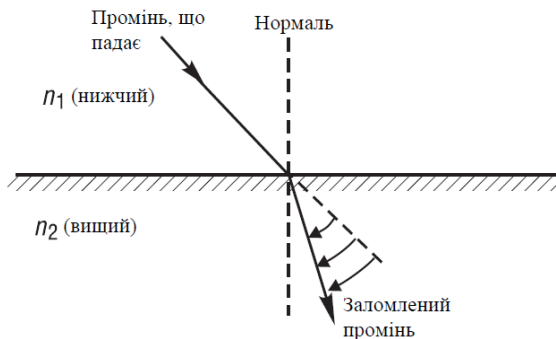
Два прозорих оптичних середовища, які утворюють границю розділу відрізняються один від одного константою, яка називається *показником заломлення* і зазвичай позначається символом  $n$ . Показник заломлення для будь-якого прозорого оптичного середовища визначається як відношення швидкості світла у вакуумі до швидкості світла в середовищі, як це видно із формули 4.1.

$$n = \frac{c}{v} \quad (4.1)$$

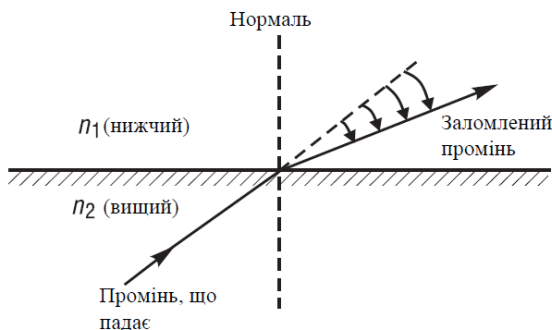
де  $c$  - швидкість світла у вільному просторі (вакуумі),  $v$  - швидкість світла в середовищі,  $n$  - показник заломлення середовища.

Показник заломлення вільного простору дорівнює рівно одиниці. Для повітря та більшості газів він майже дорівнює одиниці ціле, тому в більшості розрахунків він приймається за 1,0. Для інших матеріалів він має значення більше одиниці. Чим більший показник заломлення середовища, тим нижча швидкість світла в цьому середовищі і тим більше промінь світла згинається при переході з повітря в середовище. На рисунку 4.8 показано два загальні випадки, один для переходу світла із середовища з меншим індексом до більшого, інший — із середовища з більшим

індексом до меншого. Зауважимо, що в першому випадку (від меншого до більшого) промінь світла зігнутий у бік нормалі. У другому випадку (від більшого до меншого) світловий промінь відхиляється від нормалі. Слід запам'ятовувати ці ефекти, оскільки вони часто допомагають простежити шлях світла через оптичні носії.



а



б

Рисунок 4.8 Заломлення на границі розділу двох середовищ із показниками заломлення  $n_1$  та  $n_2$  при переході світла з матеріалу з нижчим показником заломлення до матеріалу з вищим (а) та з матеріалу з вищим показником заломлення до матеріалу з нижчим (б).

#### 4.4.2 Закон Снелла.

Закон заломлення Снелла пов'язує синуси кутів падіння і заломлення на границі розділу між двома оптичними середовищами з показниками заломлення цих двох середовищ. Закон названо на честь



голландського астронома Віллемброрда Снелла, який сформулював закон у 17 столітті. Закон Снелла дозволяє нам обчислити напрямок заломленого променя, якщо ми знаємо коефіцієнти заломлення двох середовищ і напрям падаючого променя. Математично закон Снелла записується:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_r}{n_i} \quad (4.2)$$

де  $i$  - кут падіння світла,  $r$  - кут заломлення,  $n_i$  - показник заломлення середовища з якого надходить світло,  $n_r$  - показник заломлення середовища у якому відбувається заломлення.

Супровідну інформацію наведено на рисунку 4.9.

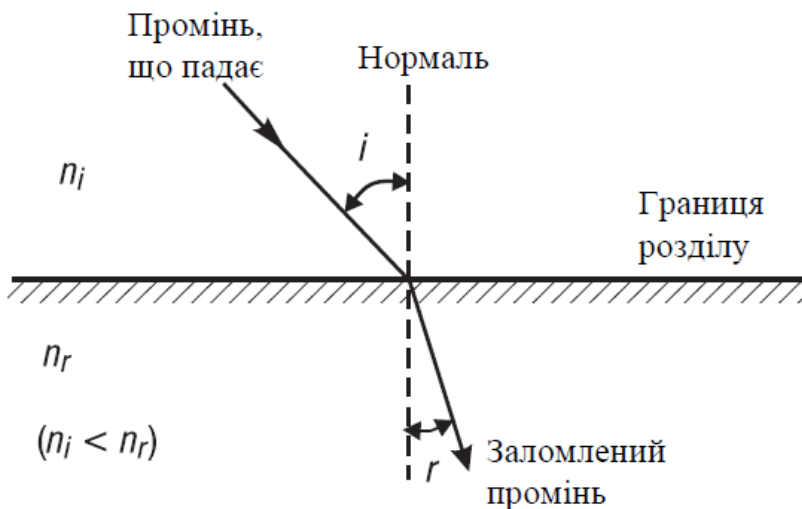


Рисунок 4.9 Графічне зображення закону Снелла.

Зверніть увагу, що  $i$  кут падіння ( $i$ ), і заломлення ( $r$ ) вимірюються відносно нормалі до поверхні. Зауважте також, що падаючий промінь, нормаль і заломлений промінь лежать в одній геометричній площині.

На практиці закон Снелла записують так:

$$n_i \sin i = n_r \sin r \quad (4.3)$$

#### 4.4.3 Критичний кут і повне внутрішнє відбиття.

Коли світло поширюється із середовища з вищим індексом до середовища з нижчим, ми можемо спостерігати цікаві результати як це можна бачити на рисунку 4.10, де чотири промені світла, що виходять з точки  $O$  в середовищі з вищим індексом, падають на границю розділу коден під власним кутом падіння. Промінь 1 падає на границю розділу при  $90^\circ$  (нормальне падіння), тому заломлення немає.

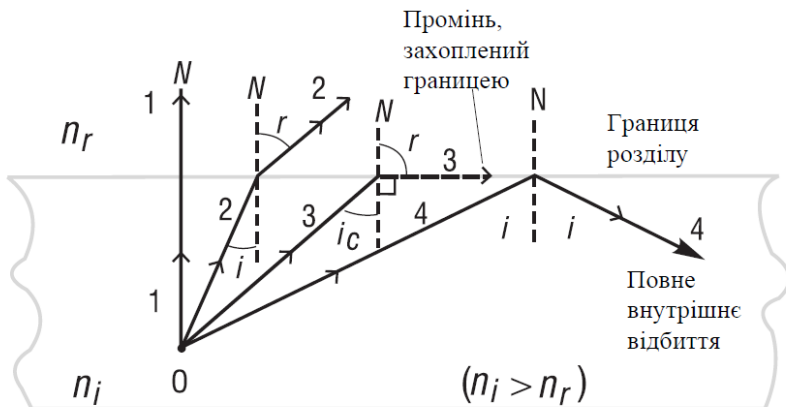


Рисунок 4.10 Критичний кут та повне внутрішнє відбиття.

Світло в цьому напрямку просто прискорюється в другому середовищі, але продовжує далі рухатись у тому ж напрямку. Промінь 2 падає під кутом  $i$  і заломлюється (відгинається від нормалі) під кутом  $r$ . Промінь 3 падає під критичним кутом  $i_c$ , достатньо великим, щоб викликати вигин заломленого променя від нормалі ( $N$ ) на  $90^\circ$ , таким чином заломлений промінь рухатиметься уздовж границі розділу між середовищами. (Цей промінь захоплений границею розділу). Промінь 4 падає на границю розділу під кутом більше, ніж критичний кут, і повністю відбивається в те саме середовище, з якого він прийшов. Промінь 4 підкоряється закону відбиття, так що його кут відбиття точно дорівнює його куту падіння. Явище повного внутрішнього відбиття використовується при передаванні світла крізь оптоволоконні кабелі шляхом утримання світла у волокні через послідовні внутрішні відбиття вздовж волокна. Також цей ефект застосовується при проектуванні «ретровідбиваючих» призм. В порівнянні з звичайне віобиттям від дзеркал, різкість і яскравість світла при повному внутрішньому відбитті значно посилені. Розрахунок критичного кута падіння для будь-яких двох оптичних середовищ - незалежно від того, чи надходить світло із середовища з вищим показником заломлення - виконується за законом

Снелла. Беручи до уваги ситуацію з променем 3 на рисунку 4.10 і використовуючи закон Снелла в рівнянні (4.3) належним чином, ми маємо

$$n_i \sin i_c = n_r \sin 90^\circ \quad (4.4)$$

де  $n_i$  – показник заломлення для середовища з якого надходить світло,  $i_c$  – критичний кут падіння,  $n_r$  – показник заломлення для середовища з меншим показником, а  $r = 90^\circ$  – кут заломлення при критичному куті.

Тоді, оскільки  $\sin 90^\circ = 1$ , отримуємо для критичного кута:

$$i_c = \sin^{-1} \left( \frac{n_r}{n_i} \right) \quad (4.5)$$

#### 4.5 Заломлення в призмах

Скляні призми часто використовуються для заломлення світла в заданому напрямку, а також для його заломлення назад (ретрорефлексія). Процес заломлення в призмах легко зрозуміти за допомогою світлового променя та закону Снелла.

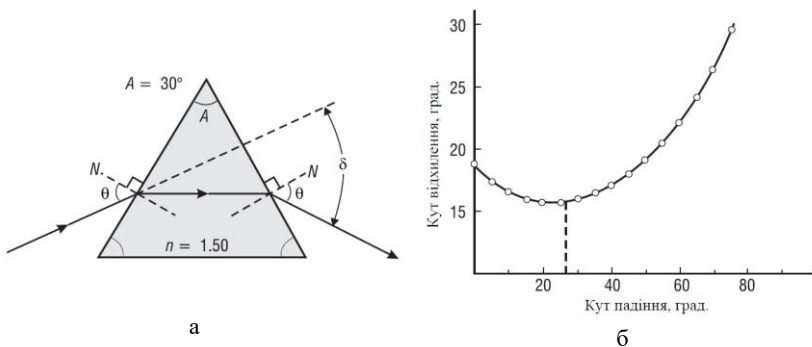


Рисунок 4.11 Заломлення світла у призмі.

Як видно з рисунку 4.11а, коли світловий промінь входить у призму на одній грані і виходить на іншій, вихідний промінь *відхиляється* від початкового напрямку. Показана призма, рівнобедрена в перерізі, з *кутом при вершині*  $A = 30^\circ$  і показником заломлення  $n = 1,50$ . Кут падіння  $\theta$  і кут відхилення  $\delta$  показано на схемі. На рисунку 4.11 б показано, як змінюється кут відхилення  $\delta$  при зміні кута падіння променя  $\theta$ . Конкретна крива показана для призми, описаної на рисунку 4.11 а. Зверніть увагу, що

$\delta$  йде через мінімальне значення, приблизно  $23^\circ$  для цієї конкретної призми. Кожен матеріал призми має свій унікальний *мінімальний кут відхилення*.

#### 4.5.1. Мінімальний кут відхилення.

Ми можемо визначити показник заломлення прозорого матеріалу, надавши йому форму рівнобедреної призми, а потім вимірявши його мінімальний кут відхилення. Спираючись на Рисунок 4.11 а зв'язок між коефіцієнтом заломлення  $n$ , кутом при вершині призми  $A$  і мінімальним кутом відхилення  $\delta_m$  визначають як

$$n = \frac{\sin\left(\frac{A + \delta_m}{2}\right)}{\sin \frac{A}{2}} \quad (4.5)$$

де  $A$ , і  $\delta_m$  вимірюються в градусах.

Виведення рівняння (4.5) є простим, але трохи нудним. Деталі виведення - використовуючи закон Снелла та геометричні співвідношення між кутами на кожній заломлюючій поверхні - можна знайти в більшості стандартних підручників з геометричної оптики. (Див. рекомендовані посилання в кінці розділу.)

#### 4.5.2 Розсіювання світла.

Показник заломлення в незначній мірі все ж залежить від довжини хвилі. Наприклад, показник заломлення кремнієвого скла приблизно на 1 % вище для синього світла ніж для червоного. Зміна показника заломлення  $n$  з довжиною хвилі  $\lambda$  називається дисперсією. На рисунку 4.12 а показана нормальна крива дисперсії  $n_\lambda$  від  $\lambda$  для різних типів оптичного скла. На рисунку 4.12 б показано розділення окремих кольорів у білому світлі - від 400 нм до 700 нм - після проходження крізь призму. Зауважимо, що  $n_\lambda$  зменшується, таким чином, від коротких до довгих хвиль, внаслідок чого, проходячи крізь призму, червоне світло відхиляється менше ніж синє. Цей тип дисперсії пояснює утворення кольорів веселки, причому в цьому випадку окремі краплі дощу відіграють роль окремих «призм».

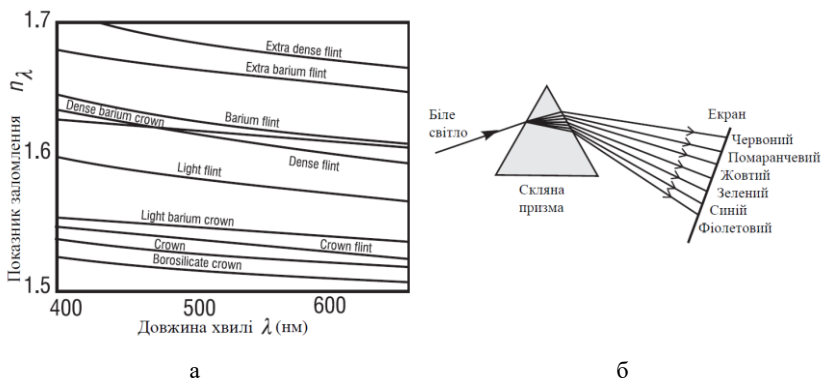


Рисунок 4.12 Типові дисперсійні криві для різних марок оптичного скла (а) та розділення білого світла після заломлення призмою (б).

## 4.6 Формування зображення за допомогою дзеркал

Дзеркала, звичайно, є скрізь - у будинках, автомобільних фарах, астрономічних телескопах і лазерних пристроях та багатьох інших приладах. Для формування об'ємних зображень тривимірних предметів використовуються плоскі та сферичні дзеркала. Якщо розмір, орієнтація та розташування об'єкту відносно дзеркала відомі, *закон відбиття* і трасування променів можна використовувати для графічного визначення місця розташування зображення. Для обчислення розташування та розмірів зображень утворених дзеркалами можна також використовувати відповідні математичні формули. У цьому розділі ми ознайомимось як із графічним так і розрахунковим трасуванням променів.

### 4.6.1 Формування зображення за допомогою плоских дзеркал

Зображення дзеркалами утворюються, коли від розташованого у заданій точці джерела надходить багато непаралельних променів світла котрі відбиваючись від дзеркальної поверхні, сходяться і утворюють у відповідній точці зображення джерела світла. При цьому, якщо джерело світла (об'єкт) має протяжну форму то точка за точкою для відбувається формування зображення всього об'єкту. Формування зображення в плоскому дзеркалі проілюстровано серією схем, показаних на рисунку 4.13.

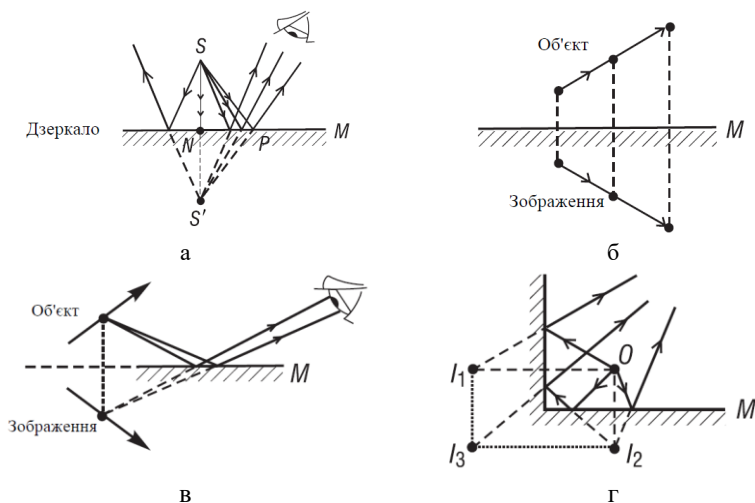


Рисунок 4.13 Формування зображення при відбитті від плоского дзеркала:  
 а) зображення точкового об'єкту; б) зображення об'єкту протяжної форми;  
 в) розмір зображення такий же як і об'єкту; г) мультипліковані зображення при  
 відбитті від перпендикулярних дзеркал.

На рисунку 4.13 а точковий об'єкт  $S$  посилає непаралельні промені до плоского дзеркала, яке відбиває їх, як показано на рисунку. *Закон відбиття* гарантує, що такі трикутники, як  $SNP$  і  $S'NP$ , є рівними, так що всі відбиті промені виходять з *точки зображення*  $S'$ , яка лежить уздовж нормалі  $SN$  і на такій глибині, що *відстань до зображення*  $S'N$  дорівнює *відстані*  $SN$  до об'єкта. Око бачить точкове зображення в точці  $S'$  точно так само, ніби в цій точці знаходиться реальний точковий об'єкт. Оскільки справжні промені не існують під поверхнею дзеркала, таке зображення називають уявним. Зображення  $S'$  не можна проектувати на екран, як у випадку реального зображення. Об'єкт протяжної форми, такий як стрілка на рисунку 4.13 б, зображається плоским дзеркалом подібним чином точка за точкою. Кожна точка об'єкта має точку зображення вздовж нормалі до дзеркальної поверхні і *настільки нижче відбиваючої поверхні, наскільки точка об'єкта лежить над поверхнею*. Слід зауважити що положення зображення не залежить від положення ока. Схема на рисунку 4.13 б також пояснює, що розмір зображення ідентичний розміру об'єкту, що збільшує впевнення у єдності реального та уявного об'єктів. Крім того, поперечні орієнтації предмета і зображення однакові. Однак правосторонній об'єкт на своєму зображенні виглядає лівостороннім. На рисунку 4.13 в, де дзеркало не лежить безпосередньо під об'єктом, площину дзеркала можна розширити для визначення положення зображення, яке бачить око,

розташоване для прийому відбитих променів що походять від об'єкта. Рисунок 4.13 г ілюструє декілька зображень точкового об'єкта  $O$ , утвореного двома перпендикулярними дзеркалами. Кожне зображення,  $I$  та  $I_2$ , є результатом єдиного відбиття в одному з двох дзеркал, але тут також присутнє третє зображення  $I_3$ , утворене послідовним відбиттям від обох дзеркал.

## 4.6.2 Формування зображення за допомогою сферичних дзеркал

Як було показано раніше на рисунку 4.6, *закон відбиття* можна використовувати для визначення напрямку вздовж якого буде відбиватися будь-який промінь, що падає на сферичну дзеркальну поверхню. Використовуючи *закон відбиття*, ми можемо простежити промені від будь-якої точки на об'єкті до дзеркала, а звідти – до відповідної точки зображення. Це метод *графічного трасування променів*.

### 4.6.2.1 Графічний метод трасування променів.

Щоб застосувати метод трасування променів, слід зробити наступні припущення:

- Світло буде падати на дзеркальну поверхню зліва.
- Вісь симетрії, нормальна до поверхні дзеркала, є його *оптичною віссю*.
- Точка, де оптична вісь перетинається з дзеркальною поверхнею, є *вершиною*.

Щоб знайти позицію зображення, ми використовуємо дві точки, спільні для кожної дзеркальної поверхні, *центр кривизни*  $C$  і *фокусну точку*  $F$ . Вони показані на рисунку 4.14 з дзеркальною вершиною  $V$  як для *увігнутого*, так і для *опуклого* сферичного дзеркала.

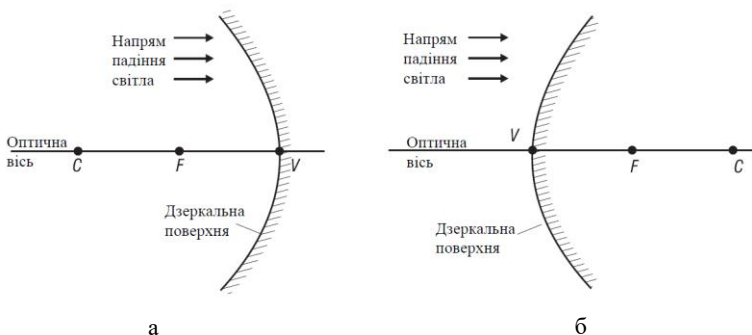


Рисунок 4.14 Визначення ключових точок для увігнутого (а) та опуклого (б) дзеркал.

Краї *увігнутих* дзеркал завжди загнуті в бік з якого надходить світло. Такі дзеркала мають центр кривизни  $C$  і фокусну точку  $F$ , розташованими *ліворуч* від вершини, як показано на рисунку 4.14 а. Краї *опуклих* дзеркал завжди відхиляються від тієї сторони з якої надходить світло, а їх центр кривизни  $C$  і фокусна точка  $F$  розташовані *праворуч* від вершини як показано на рисунку 4.14 б. Важливий зв'язок між паралельними променями та фокальними точками для дзеркальних поверхонь показано на рисунку 4.15 а,б. Паралельні промені - це промені світла, що надходять з дуже далекого джерела (наприклад такого віддаленого як Сонце) або від колімованого лазерного променя. *Закон відбиття*, що застосовується в кожній точці дзеркальної поверхні, на яку падає промінь, вимагає, щоб промінь відбивався так, щоб пройти через фокусну точку  $F$  перед дзеркалом (Рисунок 4.15 а) або відбивався так, ніби виходить із фокальної точки  $F$  за дзеркалом (Рисунок 4.15 б). Зверніть увагу, що лінія проведена від центру кривизни  $C$  до будь-якої точки на дзеркалі є *нормаллю* і, таким чином, ділить навпіл кут між падаючим і відбитим променями. Поки поперечний розмір дзеркала не надто великий, проста геометрія показує, що точка  $F$  для будь-якого дзеркала *розташована в середині між  $C$  і  $V$* , так що відстань  $FV$  дорівнює половині радіуса кривизни  $CV$ . Відстань  $FV$  називається *фокусною відстанню* і зазвичай позначається як  $f$ .

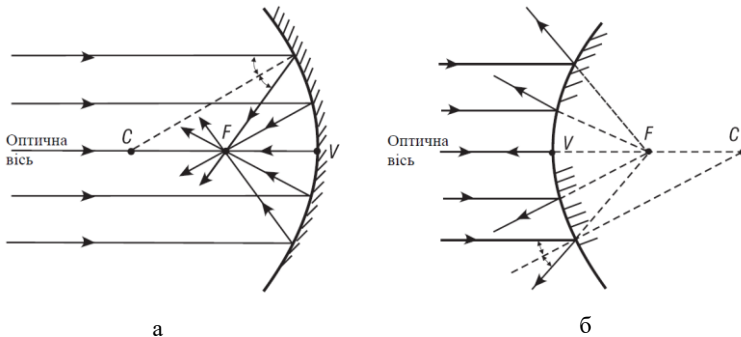


Рисунок 4.15 Зв'язок між паралельними променями та фокальною точкою для увігнутого (а) та опуклого (б) дзеркала.

#### 4.6.2.2 Ключові промені, що використовуються для трасування променів.

На рисунку 4.16 показано три ключові промені - для кожного дзеркала - які використовуються для визначення місця розташування точки зображення  $P'$ , що відповідає заданій точці об'єкта. У більшості випадків



достатньо розташувати одну точку, наприклад  $P'$ , щоб мати змогу намалювати все зображення.

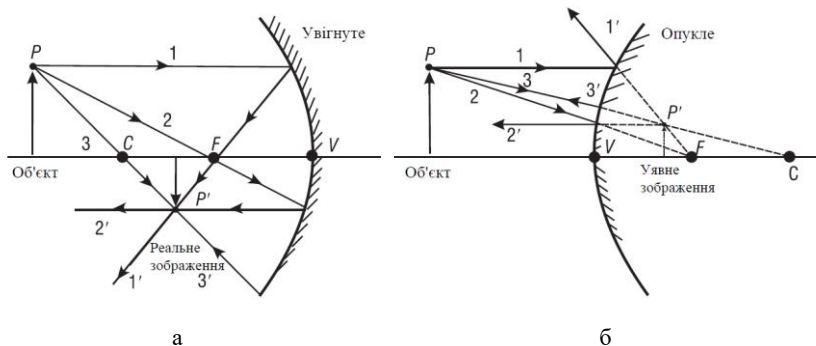


Рисунок 4.16 Ключові точки для графічного трасування ходу променів для увігнутого (а) та опуклого (б) дзеркала.

Уважно зверніть увагу на наступні факти, посилаючись на Рисунок 4.16 а,б.

#### 4.6.2.2.1 Для увігнутого дзеркала:

- Промінь від точки об'єкта  $P$ , паралельний осі, наприклад, промінь 1, відбивається від дзеркала і проходить *через фокальну точку  $F$*  (позначений промінь 1').
- Промінь від  $P$ , що проходить через фокальну точку  $F$ , наприклад промінь 2, відбивається від дзеркала як *промінь, паралельний осі* (позначений промінь 2').
- Промінь від  $P$ , що проходить через центр кривизни  $C$ , наприклад промінь 3, відбивається *назад вздовж себе* (позначений промінь 3').
- Відбиті промені 1', 2' і 3' сходяться, визначаючи таким чином положення точки  $P'$  на зображенні. Це зображення *реальне* зображення, яке можна сформувати на екрані, розташованому в цій точці.

#### 4.6.2.2.2 Для опуклого дзеркала:

- Промінь від точки об'єкта  $P$ , паралельний осі, наприклад, промінь 1, відбивається від дзеркала *ніби йде від фокусної точки  $F$  за дзеркалом* (позначений промінь 1').
- Промінь від  $P$ , як промінь 2, що прямує до фокусної точки  $F$  за дзеркалом, відбивається від дзеркала в напрямку, *паралельному оптичній осі* (позначений промінь 2').

- Промінь від  $P$ , наприклад промінь 3, спрямований до центру кривизни  $C$  позаду дзеркала, *відбивається вздовж себе* (позначений промінь 3').

- Промені 1', 2' і 3' розходяться після відбиття. Людина, яка дивиться у дзеркало, перехоплює промені, що розходяться, і бачить, як вони виходять із спільної точки перетину якою і є точка  $P'$ , за дзеркалом. Зображення є *уявним*, оскільки його неможливо сформувати на екрані розташованому в цій точці.

#### 4.7 Дзеркальні формули для визначення місця розташування зображення

Замість описаних вище графічних методів трасування променів ми можемо використовувати формули для обчислення місця розташування зображення. Нижче ми виведемо «дзеркальну формулу», а потім використаємо формулу для визначення місця розташування зображення. Виведення є типовим для тих, що зустрічаються в геометричній оптиці, і є повчальним у своєму комбінованому використанні алгебри, геометрії та тригонометрії.

##### 4.7.1 Виведення дзеркальної формули.

Геометричні побудови, які нам потрібні для виведення показано на рисунку 3.18. Важливими величинами є відстань до об'єкта  $p$ , відстань до зображення  $q$ , і радіус кривизни  $r$ .  $p$ , і  $q$  вимірюються відносно дзеркальної вершини, як показано, а знак на  $r$  вказуватиме, увігнуте дзеркало чи опукле. Всі інші величини позначені на Рисунку 4.17 використовуються у виведенні, але вони не відображатимуться в остаточній «дзеркальній формулі».

Дзеркало, зображене на рисунку 3.18, опукле, з центром кривизни  $C$  праворуч. Два промені світла, що виходять з точки  $O$  об'єкта, намальовано, один падає нормально до опуклої поверхні в її вершині  $V$  а інший - довільний промінь, що падає на  $P$ . Перший промінь відбивається вздовж себе; другий відбивається в точці  $P$ , як би падає на площину, дотичну до дзеркальної поверхні в точці  $P$ , відповідно до *закону відбиття*. Щодо один одного, два відбитих променя розходяться, залишаючи дзеркало. Перетин двох променів (продовжених назад) визначає зображення точки  $I$ , що є відповідною точці об'єкта  $O$ . Це зображення є віртуальним і знаходиться за дзеркальною поверхнею. Відстань до об'єкта і зображення, виміряні від вершини  $V$ , відображаються як  $p$  і  $q$ , відповідно. З  $P$  до осі в точці  $Q$  проведено перпендикуляр висотою  $h$ . Ми шукаємо співвідношення між  $p$  і  $q$ , що залежить лише від радіуса кривизни  $r$  дзеркала. Як ми побачимо, таке співвідношення можливе лише до першого

порядку апроксимації синусів і косинусів кутів, таких як  $\alpha$  і  $\varphi$ , що створені променями об'єкта і зображення в різних точках сферичної поверхні.

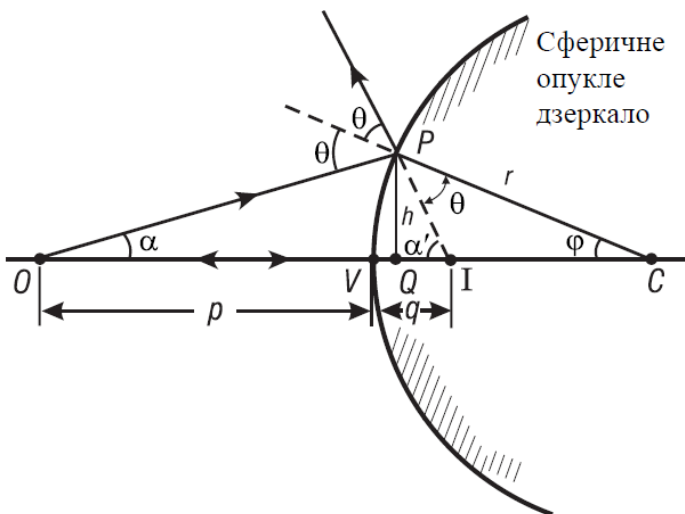


Рисунок 4.17 Базові геометричні побудови для виведення «дзеркальної формули».

Це означає, що замість розкладання  $\sin \varphi$  і  $\cos \varphi$  в ряд, як показано тут,

$$\begin{aligned}\sin \varphi &= \varphi - \frac{\varphi^3}{3!} + \frac{\varphi^5}{5!} - \dots \\ \cos \varphi &= 1 - \frac{\varphi^2}{2!} + \frac{\varphi^4}{4!} - \dots\end{aligned}\tag{4.6}$$

ми розглядаємо лише перші доданки і пишемо

$$\sin \varphi \cong \varphi \text{ і } \cos \varphi \cong 1,\tag{4.7}$$

так що

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} \cong \varphi\tag{4.8}$$

Ці співвідношення мають точність до 1% або менше, якщо кут  $\phi$  становить  $10^\circ$  або менше. Це наближення веде до *оптики першого порядку (або гауссової)* розробленої Карлом Фрідріхом Гаусом у 1841 р. Повертаючись тепер до розглянутої проблеми - співвідношення  $p$ ,  $q$  і  $r$  – слід зауважити, що з рисунка 4.17 можна отримати два кутових співвідношення, оскільки зовнішній кут трикутника дорівнює сумі його внутрішніх кутів. Таким чином,

$$\theta = \alpha + \phi \text{ в } \triangle OPC \quad (4.9)$$

та

$$2\theta = \alpha + \alpha' \text{ в } \triangle OPI \quad (4.10)$$

які поєднуються, щоб дати

$$\alpha - \alpha' = 2\phi \quad (4.11)$$

Використовуючи наближення малих кутів, кути  $\alpha$ ,  $\alpha'$  і  $\phi$  вище можна замінити їх дотичними, отримавши:

$$\frac{h}{p} - \frac{h}{q} = -2 \frac{h}{r} \quad (4.12)$$

Зауважимо, що ми знехтували осьовою відстанню  $VQ$ , малою, коли  $\phi$  є малим. Подальше спрощення дає необхідне співвідношення

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{q} = -\frac{2}{r} \quad (4.13)$$

Якщо замість цього вибрати увігнуту сферичну поверхню, центр кривизни буде розташовуватися ліворуч. Для певних позицій точки об'єкту  $O$ , тоді також можна знайти реальну точку зображення ліворуч від дзеркала. У цих випадках отримане геометричне співвідношення аналогічно до (4.14) складається з тих самих доданків, але з різними алгебраїчними знаками, залежно від того як працює *правило знаків*. Ми можемо вибрати умовний знак, який веде до єдиної дзеркальної формули, справедливої для обох типів дзеркал:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = -\frac{2}{r} \quad (4.14)$$

#### 4.7.2 Правило знаків.

Правило знаків має використовуватися разом із формулою (4.14) і Рисунком 4.17 та виглядає наступним чином.

- Відстані до об'єкта та зображення  $p$  і  $q$  є *позитивними*, якщо вони розташовані *ліворуч* від вершини і є *негативними*, якщо вони розташовані *праворуч*.
- Радіус кривизни  $r$  *позитивний*, якщо центр кривизни  $C$  знаходиться *ліворуч* від вершини (увігнуте дзеркало) і *негативний*, коли  $C$  знаходиться *праворуч* (опукле дзеркало).
- Вертикальні розміри позитивні якщо знаходяться над оптичною віссю і негативні якщо розташовані нижче.

При застосуванні цих правил, як ми вже згадували, передбачається, що світло спрямоване, зліва направо. Відповідно до правила знаків, *позитивні* відстані об'єкта та зображення відповідають *реальним* об'єктам і зображенням, а *негативні* відстані до об'єктів і зображень відповідають *уявним* об'єктам та зображенням. *Уявні об'єкти* виникають тільки в разі використання послідовності з двох або більше дзеркальних або заломлюючих елементів.

#### 4.7.3 Збільшення дзеркального відображення.

На рисунку 4.18 показано як геометрично, з якого можна визначити *збільшення* - відношення висоти зображення  $h_i$  до висоти об'єкта  $h_o$ . Оскільки кути  $\theta_o$ ,  $\theta_i$  та  $\alpha$  рівні, то трикутники  $VOP$  та  $VIP'$  подібні. Таким чином, сторони двох трикутників пропорційні і можна записати

$$\frac{h_i}{h_o} = \frac{q}{p} \quad (4.15)$$

Це дає вираз для розрахунку *збільшення*  $m$

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{q}{p} \quad (4.16)$$

З урахуванням *правила знаків*, у *загальному випадку* маємо єдине рівняння, справедливе як для опуклих, так і для увігнутих дзеркал:

$$m = -\frac{q}{p} \quad (4.17)$$

Якщо після розрахунку значення  $m$  позитивне, зображення є вертикальним. Якщо значення негативне, то зображення перевернуте.

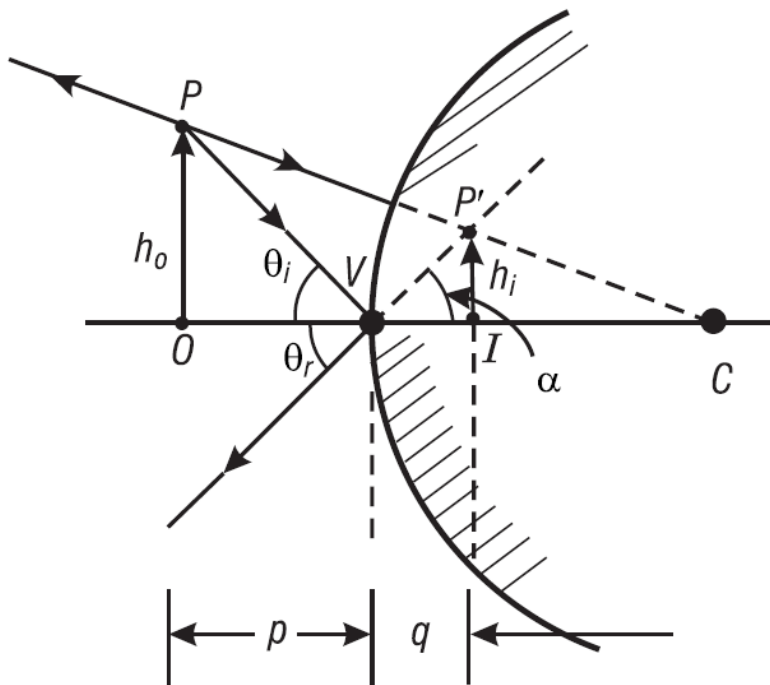


Рисунок 4.18 Геометричні побудови для виведення формули збільшення дзеркалом.

#### 4.8 Формування зображення за допомогою лінз

Лінзи є основою багатьох оптичних пристроїв серед яких - фотоапарати, мікроскопи, біноклі, телескопи. Так само, як закон відбиття визначає властивості зображень, створених дзеркалами, закон заломлення Снелла визначає властивості зображень, створених лінзами. Лінзи є по суті, елементами керування світлом, що використовуються в основному для формування зображення з видимим світлом, але також для ультрафіолетового та інфрачервоного світла. У цьому розділі ми спочатку

розглянемо типи та властивості лінз, потім використаємо графічні методи трасування променів, щоб знайти позицію зображення, і, нарешті, використаємо математичні формули для визначення розміру, орієнтації та положення зображень у простій системі лінз.

#### 4.8.1 Функція лінзи

Лінза виготовлена з прозорого заломлюючого середовища, як правило, зі скла певного типу, та має сферичну форму спереду і ззаду. Промінь, що падає на лінзу, заломлюється фронтальною поверхнею (відповідно до закону Снелла) проходить крізь лінзу і знову заломлюється тильною поверхнею. На рисунку 3.20 показана досить товста лінза, яка заломлює промені від об'єкта  $OP$ , утворюючи зображення  $O'P'$ . Методи трасування променів і формули для лінз, які ми будемо використовувати тут, знову ж таки базуються на *гауссовій оптиці*, як і для дзеркал.

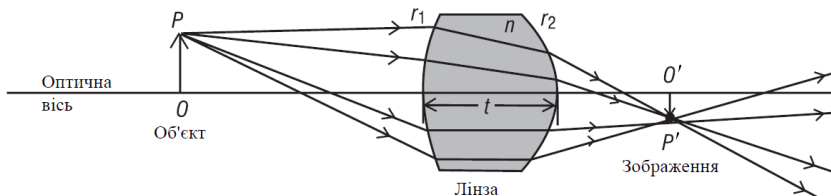


Рисунок 4.19 Заломлення світла лінзою.

Як ми бачили, *гаусова оптика*, яку іноді називають *параксіальною оптикою*, виникає з наближення  $\sin \varphi \cong \varphi$ ,  $\tan \varphi \cong \varphi$  і  $\cos \varphi \cong 1$ . Ці наближення значно спрощують трасування променів і формули для лінз, але вони обмежують кути, які світлові промені можуть утворювати з оптичною віссю до досить малих значень  $20^\circ$  або менше.

#### 4.8.2 Види лінз

Якщо осьова товщина лінзи мала порівняно з радіусами кривизни її поверхонь, вона може розглядатися як *тонка* лінза. Методи трасування променів і формули для лінз відносно прості як раз у випадку тонких лінз. Якщо товщина лінзи не є незначною в порівнянні з радіусами кривизни її поверхонь, то її слід розглядати як *товсту* лінзу. Техніки трасування променів і формули для зображення лінз є складнішими для товстих лінз, де часто розробляються комп'ютерні програми для відстеження променів крізь лінзи або проведення розрахунків поверхня - поверхня. У цьому базовому вступі геометричної оптики, ми розглянемо лише тонкі лінзи.

#### 4.8.2.1 Збиральні та розбіжні тонкі лінзи.

На рисунку 4.20 показано типові форми кількох звичайних «тонкі» лінзи. Незважаючи на те, що показано "товщину", використання тонких лінз передбачає, що промені просто заломлюються на передній і задній сторонах без проходження крізь власне об'єм лінзи. Перші три лінзи *посередині товщі, ніж по краях*, і називаються збиральні або позитивні лінзи тому що змушують паралельні промені, що проходять через них сходитись один до одного. Такі лінзи мають позитивні фокусні відстані. Останні три лінзи *посередині тонше, ніж по краях*, і називаються розбіжні або негативні лінзи та на відміну від збиральних лінз, вони змушують паралельні промені, що проходять через них, розходитись після проходження лінзи. Ці лінзи мають негативні фокусні відстані. На рисунку 4.20 зазначено назви лінз, обумовлені їх формою.

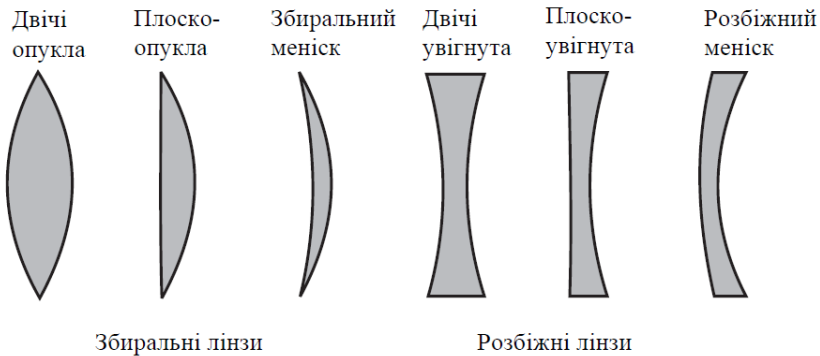


Рисунок 4.20 Типові форми тонких лінз.

#### 4.8.2.2 Фокусні точки тонких лінз.

Так само, як і для дзеркал, *фокусні точки* лінз визначають умови їх впливу на паралельні світлові промені та фронти плоских хвиль. На рисунку 4.21 показані паралельні світлові промені та пов'язані з ними плоскі хвильові фронти, що падають на *позитивну* (Рисунок 4.21 а) і *негативну* лінзи (Рисунок 4.21 б). Для позитивної лінзи заломлення світла приводить промені у фокусну точку  $F$  (реальне зображення) праворуч від лінзи. Для негативної лінзи заломлення світла викликає розходження світла так, ніби воно виходить із фокусної точки  $F$  (віртуальне зображення), розташованої зліва від лінзи. Слід зауважити, що фронти плоскої хвилі змінюються позитивною лінзою на сферичні хвилі, що сходяться у фокальну точку, а негативною на сферичні хвильові фронти, що розходяться від лінзи. Це відбувається тому, що світло поширюється



повільніше в матеріалі лінзи, ніж в навколишньому повітрі, тому більш товсті частини лінзи уповільнюють світло більше, ніж тонші.

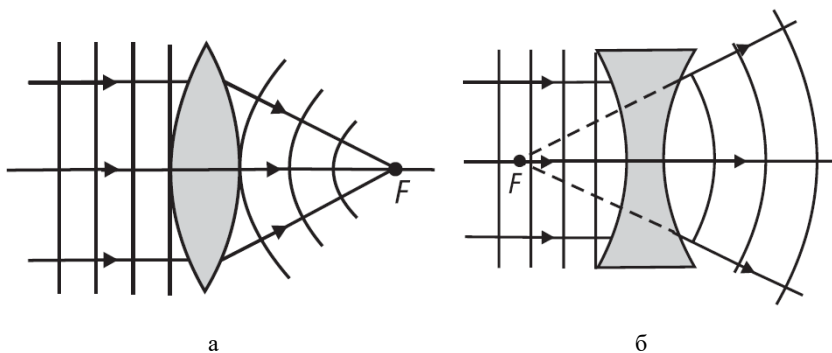


Рисунок 4.21 Фокальні точки для позитивних (а) та негативних (б) лінз.

Нагадаємо, що для дзеркал існує лише *одна* фокусна точка для кожної дзеркальної поверхні, оскільки світло завжди залишається на одній стороні дзеркала.

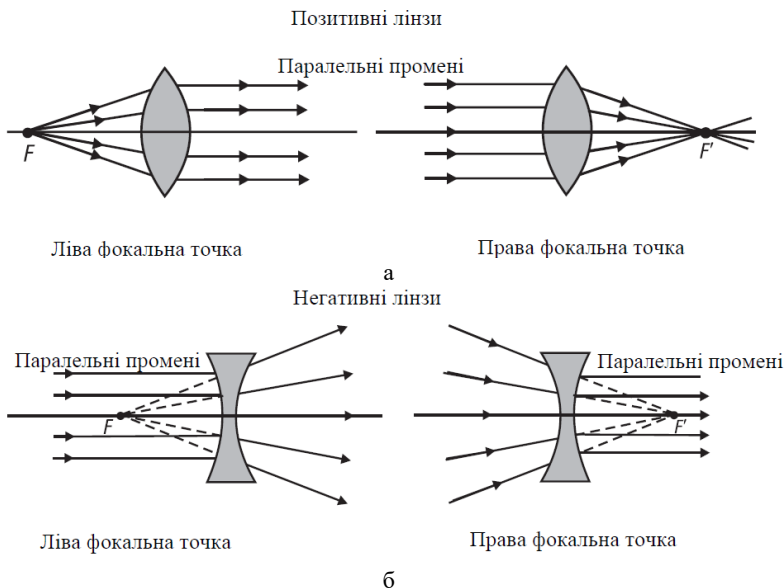


Рисунок 4.22 Хід світлових променів крізь тонкі лінзи у випадку лівих та правих фокальних точок.

Для тонких лінз є дві фокусні точки, симетрично розташовані з кожного боку лінзи, оскільки світло може наближатися з будь-якого боку лінзи. Ескізи на рисунку 4.22 показують роль, яку відіграють дві фокусні точки для позитивних лінз (Рисунок 4.22 а) і негативних лінз (Рисунок 4.22 б).

#### 4.8.2.3 $f$ -число і числова апертура лінзи.

Розмір лінзи визначає її світлозбираючу силу, а отже, і яскравість зображення, яке вона формує. Два загальноживаних показники цієї особливої характеристики лінзи називаються  $f$ -числом і *числовою апертурою*. Число  $f$ , яке також називають *відносною діафрагмою* та  $f/stop$ , визначається просто як відношення фокусної відстані  $f$  лінзи до її діаметра  $D$ , як зазначено у формулі 4.18.

$$f - \text{число} = \frac{F}{D} \quad (4.18)$$

Наприклад, лінза з фокусною відстанню 4 см, обмежена до діафрагми 0,5 см, має  $f$ -число  $4/0,5 = 8$ . Фотографи зазвичай називають цю ситуацію об'єктивом з  $f/stop$  або  $f/8$ . До появи повністю автоматизованих камер («наводь і знімай»), фотографи регулярно доводилося вибирати розмір діафрагми для даного об'єктива камери – (таким чином встановлюючи  $f/stop$ ), витримку та правильний фокус для досягнення бажаної яскравості та чіткості зображення.

Таблиця 4.1 – Відносна освітленість зображення (яскравість) в залежності від значень  $f/stop$  або  $f$ -число

$f/stop$ або $f$ -число	відносна освітленість зображення, Вт/м <sup>2</sup>
1	$E_0$
1,4	$E_0/2$
2	$E_0/4$
2,8	$E_0/8$
4	$E_0/16$
5,6	$E_0/32$
5	$E_0/64$
11	$E_0/128$
16	$E_0/256$
22	$E_0/512$

У таблиці 4.1 наведено типові варіанти діафрагми (числа діафрагми), доступні для камер і відповідну освітленість зображення або «яскравість» – у ватах на квадратний метр. Освітленість  $E_0$  це значення для  $f/stop$  або 1 та з таблиці видно, що освітленість зображення зменшується із «обмеженням» об'єктива, тобто зменшенням регульованого розміру діафрагми за об'єктивом камери. З рівняння 4.18 видно, що для даної камери із фокусною відстанню  $f$ ,  $f/stop$  або  $f$ -число збільшується зі зменшенням  $D$ , тобто зі зменшенням розміру апертури. Очевидно, що збільшення  $f$ -числа лінзи зменшує її світлозбираючу силу.

Оскільки загальна експозиція в  $\text{Дж}/\text{м}^2$  на плівці є добутком опромінення в  $\text{Дж}/(\text{м}^2\text{с})$  і часу експозиції (витримку) у секундах, бажану експозицію плівки можна отримати різними способами. Відповідно, якщо конкретна плівка, швидкість якої описується ASA номер — ідеально експонується світлом з певної сцени з витримкою  $1/50$  сек та  $f/8$  (опромінення дорівнює  $E_0/64$  з Таблиці 4.1), вона також буде чудово експонуватися будь-якою іншою комбінацією, яка дає таку ж загальну експозицію. Наприклад, вибираючи витримку  $1/100$  секунди та  $f/5,6$ , час експозиції скорочується вдвічі, в той час як опромінення ( $E_0/32$ ) подвоюється, тим самим залишаючи без зміни експозицію плівки ( $\text{Дж}/\text{м}^2$ ). Числова апертура є ще одним важливим конструктивним параметром для об'єктива, безпосередньо пов'язаним із тим, як багато світла збирає лінза. Якщо фокусна відстань проєктованої лінзи збільшується і її діаметр зменшується, тілесний кут (конус) корисних світлових променів від об'єкта до зображення для такої лінзи зменшується. Наприклад, концепція числової апертури знаходить застосування в конструкції лінзи об'єктива (лінзи поруч із досліджуванним зразком) для мікроскопа, як буде показано нижче. Можливість збирання світла має вирішальне значення для мікроскопів. Рисунок 4.23 зображує силу збирання світла лінзи щодо точки  $O$  на зразку накритому предметним склом. Лінза  $L$  - це об'єктив мікроскопа, сфокусований на зразку. Праворуч від осі симетрії лінзи світлозбиральна сила лінзи - з повітря між кришкою і лінзою зображується як півкута  $\alpha_{air}$ . З лівого боку, навпаки, підвищена здатність лінзи збирання світла - з мастилом, розташованим між склом і лінзою - показані з урахуванням більшого півкута  $\alpha_{oil}$ . Мастило обирається таким чином, щоб показник заломлення ( $n_o$ ) був дуже близьким до показника предметного скла ( $n_g$ ) так, щоб заломлення було малим або взагалі відсутнім для граничного променя 2 на межі розділу скло-олія. Отже, півкут  $\alpha_{oil}$  більший ніж півкут  $\alpha_{air}$ . Як показано на рисунку 4.23, промінь 1 зазнає заломлення на межі розділу скло-повітря, тим самим обмежуючи конус променів, прийнятий лінзою, меншим півкутом  $\alpha_{air}$ . Числову апертуру лінзи визначають так, щоб показувати різницю тілесних кутів (конусів) світла, що збирається лінзою,

наприклад, за допомогою іммерсійного мастила проти звичайного повітря. Визначення числової апертури ( $N.A.$ ) проводиться за допомогою формули:

$$N.A. = n \sin \alpha \quad (4.19)$$

де  $n$  - показник заломлення середовища між предметом і лінзою, а  $\alpha$  - напівкут, визначений граничним променем ( $\alpha_{air}$  або  $\alpha_{oil}$  на рисунку 4.23).

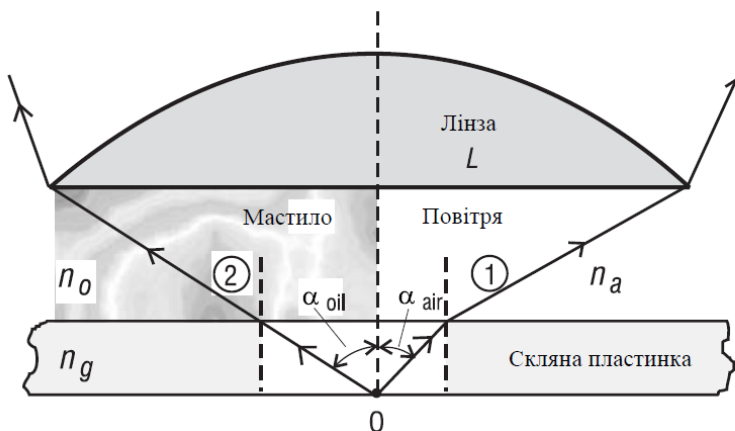


Рисунок 4.23 Потужність збирання світла для масляної та повітряної іммерсії, що демонструє  $\alpha_{oil}$  більше ніж  $\alpha_{air}$ .

Таким чином, сила «збирання світла» об'єктиву мікроскопа збільшується за рахунок збільшення показника заломлення проміжного середовища.

Загалом, можна збільшити світлозбираючу силу лінзи та яскравість зображення, утвореного лінзою шляхом зменшення  $s$ -числа лінзи (збільшення діаметра лінзи) або збільшенням числової апертури об'єктива (збільшення показника заломлення і, таким чином, створення по можливості більшого кута прийому).

#### 4.9 Лабораторна робота «Побудуймо телескоп»

Сьогодні у світі існує багато видів телескопів. Деякі з них є надмасивними сучасними дивами, а інші — це просто ваш звичайний щоденний телескоп, до якого ми звикли.

Ніщо не було перешкодою для дослідників минулого, вони змогли створити свої власні рудиментарні телескопи, не маючи нічого, крім винахідливості та бажання досліджувати космос, який вони ледве розуміли

на той час. Тож давайте трохи розглянемо коротку історію телескопів, а потім дослідимо, як ви можете створити свій власний, натхненний усіма цими епічними саморобними телескопами!!

#### 4.9.1 Ще трохи історії

Телескоп – це інструмент, який допомагає спостерігати віддалені об'єкти, збираючи електромагнітне випромінювання (наприклад, видиме світло). Перші відомі практичні телескопи були винайдені в Нідерландах на початку 17 століття з використанням скляних лінз. Вони знайшли застосування в наземних програмах та астрономії.

Протягом кількох десятиліть був винайдений телескоп-рефлектор, у якому використовувалися дзеркала. У 20 столітті було винайдено багато нових типів телескопів, включаючи радіотелескопи в 1930-х роках і інфрачервоні телескопи в 1960-х роках. Слово «телескоп» тепер відноситься до широкого спектру приладів, які виявляють різні області електромагнітного спектру, а в деяких випадках і інших типів детекторів.

Слово «телескоп» (від грецького *τῆλε*, *tele* «далеко» і *σκοπεῖν*, *skopein* «дивитися або бачити»); *τηλεσκόπος*, *teleskopos* «далековидний») було введене в 1611 році грецьким математиком Галімісіяніоні Галісіаніонію, що бачить у 1611 році. інструменти, представлені на бенкеті в Accademia dei Lincei. У «Зоряному посланнику» Галілей використав термін «перспіцил».

Розглядаючи що-небудь, завжди важливо (і весело!) вивчити історію цього, щоб зрозуміти, звідки воно взялося (особливо якщо ви хочете створити щось своє!). Тоді ви зможете розширити ці знання і створити свої власні дивовижні телескопи! Давайте коротко поглянемо на історію телескопів і їх ранні версії.

Найпершими зареєстрованими робочими телескопами були телескопи-рефрактори, які з'явилися в Нідерландах в 1608 році. Їх розробку приписують трьом особам: Гансу Ліпперші і Захаріасу Янссену, які виготовляли окуляри в Мідделбурзі, і Якобу Меціусу з Алкмара. Галілей почув про голландський телескоп у червні 1609 року, за місяць побудував власний, а наступного року значно покращив його.

Ідея про те, що об'єктивом або елементом, що збирає світло, може бути дзеркалом замість лінзи, була досліджена незабаром після винаходу телескопа-рефрактора. Потенційні переваги використання параболічних дзеркал — зменшення сферичної аберації та відсутність хроматичної аберації — призвели до багатьох запропонованих конструкцій та кількох спроб побудувати відбиваючі телескопи. У 1668 році Ісаак Ньютон побудував перший практичний відбиваючий телескоп, конструкція, яка тепер носить його назву, Ньютонівський рефлектор.

Винахід ахроматичної лінзи в 1733 році частково виправив колірні аберації, присутні в простому об'єктиві, і дозволив створити коротші, більш функціональні заломлюючі телескопи. Відбиваючі телескопи, які хоча й не були обмежені проблемами кольору, які спостерігаються в рефракторах, все ж протягом 18-го та початку 19-го століття зіткнулися із проблемою використання металевих дзеркал, що швидко тьмяніли - ця задача була вирішена введенням скляних дзеркал із срібним покриттям у 1857 році та алюмінієвих дзеркал у 1932 році. Максимальний фізичний розмір для телескопів-рефракцій становить близько 1 метра (40 дюймів), що свідчить про те, що переважна більшість великих оптичних дослідницьких телескопів, створених з початку 20-го століття, були відбивачами (рефракторами). Найбільші телескопи-рефрактори в даний час мають об'єктиви більше 10 м.

У 20 столітті також були розроблені телескопи, які працювали в широкому діапазоні довжин хвиль від радіо до гамма-променів. Перший спеціально створений радіотелескоп був введений в експлуатацію в 1937 році. Відтоді було розроблено величезну різноманітність складних астрономічних приладів.

Так хто був першим? На початку сімнадцятого століття Галілей придбав один з «підзорних окулярів» Ліпперші. Він зробив значні вдосконалення та модифікував його для використання в астрономії. Він дав йому назву «телескоп» (за допомогою Джованні Демізіані), що складається з двох грецьких слів, що означають «далеко» і «бачити». Ніхто інший не передбачав такої можливості, і саме Галілей став першою людиною, яка побачила кільця Сатурна і стала свідком супутників Юпітера, ідентифікувавши та описавши їх як такі. Отже, це міг бути Галілей!

#### 4.9.1.1 Телескоп Галілея

Що ж, оскільки ми говорили про коротку історію телескопів і демонструємо деякі чудові конструкції саморобних телескопів, здається цілком доречним, що ми почнемо з кількох власних телескопів Галілея, оскільки він був саморобним (і деякі з перших), ще кілька століть тому. Вони й досі є яскравими прикладами того, що хтось може створити!

Кілька цікавих фактів про телескоп Галілея:

- Оригінальний дизайн, який Галілео Галілей придумав у 1609 році, зазвичай називають телескопом Галілея.
- Він використовував конвергентну (плоскоопуклу) лінзу об'єктива та розбіжну (плоскоувігнуту) лінзу окуляра.
- Дизайн не мав проміжного фокусу, що призвело до неперевернутого та вертикального зображення.
- Найкращий телескоп Галілея збільшував об'єкти приблизно в 30 разів.

- Телескоп Галілея міг побачити фази Венери, а також кратери на Місяці та чотири супутники, що обертаються навколо Юпітера.

#### **4.9.2 Необхідне обладнання**

По суті, телескоп – це інструмент, який дозволяє придивитися до далеких об'єктів. Для цього в телескопі є пристрій, який збирає світло від віддаленого об'єкта (об'єктива або основного дзеркала) і направляє це світло (зображення) у фокус, де другий пристрій (лінза окуляра) збільшує зображення та підносить його до вашого ока.

У телескопі лінза, що тримається поруч із вашим оком, називається окуляром і зазвичай є короткофокусною лінзою або комбінацією лінз. Лінза на іншому кінці телескопа називається лінзою об'єктива. Світло від віддаленого об'єкта фокусується лінзою об'єктива, щоб утворити зображення перед окуляром. Окуляр діє як лупа і збільшує це зображення. Збільшення телескопа можна знайти, поділивши фокусну відстань об'єктива на фокусну відстань окуляра.

Щоб зробити простий телескоп, вам знадобляться такі матеріали:

- два збільшувальних скла - збиральні лінзи (опуклі лінзи) - можливо діаметром 2,5-3 см (найкраще, якщо одне більше за інше);
- 2 картонні трубки різних діаметрів, наприклад, залишки від рулону паперового рушника або рулону з під паперу для упаковки подарунків (чим довший, тим краще), тощо;
- скотч;
- ножиці;
- лінійка або рулетка;
- аркуш крафтової бумаги для пакування або кальки;
- аркуш друкованого паперу - підійде газета або журнал;
- ніж або пилка, клей;
- біла плакатна дошка або лист щільного білого картону, закріпленого на дошці;
- червона і чорна ізолююча стрічка або червоний та чорний маркери.

#### **4.9.2 Створення телескопа**

Щоб створити та зібрати телескоп в класі, виконайте наступне:

Картонні трубки будуть корпусом телескопа, менша за діаметром ковзає всередині більшої. Довжина зібраного телескопа буде трохи більше суми фокусних відстаней двох лінз. Додайте значення значення фокусних відстані меншої та більшої лінз разом. Розділіть цю довжину на два, а

потім додайте ще 2-3 сантиметри. Відріжте обидві трубки до такої довжини ножем або пилкою.

Якщо ви не знаєте фокусних відстаней лінз та обмаль часу, щоб їх визначити за допомогою серії експериментів з оптичною скам'єю. Не треба засмучуватися. Доволі добре можна визначити сумму фокусних відстаней обох лінз за декілька хвилин:

*Тримайте одну лінзу (більшу) між собою та листом з друкованим текстом. Зображення текста буде виглядати розмитим. Помістіть другу лінзу між оком і першою лінзою. Переміщайте меншу лінзу вперед або назад, поки текст не стане чітким. Ви помітите, що відбиток виглядає більшим і перевернутим. Попросіть сусіда поряд виміряти відстань між двома лінзами і записати відстань. Це і буде значення фокусних відстаней меншої та більшої лінз разом.*

2. За допомогою ножиць виріжте з крафтового паперу два кола, розмір яких дорівнює діаметрам картонних трубок. Ці кругові оправы монтують і центрують лінзи на трубці. У центрі кола паперової оправы ножем виріжте кола, які трохи менше діаметра лінз. Приклейте лінзи до центру оправы. Окуляром буде лінза з коротшою фокусною відстанню. Приклейте лінзу в оправі до кінця меншої трубки. Приклейте іншу лінзу в рамці до кінця більшої трубки.

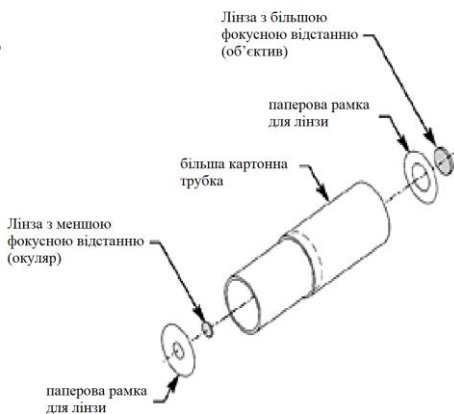


Рисунок 4.24 Схема телескопа.

3. З'єднайте дві картонні трубки разом. Ви зараз зібрали простий телескоп-рефрактор. Подивіться крізь окуляр телескопа та сфокусуйте його на віддаленому об'єкті, наприклад, птахів або на сторінці газети/журналу. Рухайте дві картонні трубки всередину та назовні, поки не отримаєте чітке зображення об'єкта. Що ви спостерігаєте?



*Перевірте, чи це працює, переглянувши надруковану сторінку. Можливо, вам доведеться трохи пограти з відстанню, щоб отримати точні відстані між двома окулярами, щоб зображення було у фокусі.*

*Ви щойно створили простий телескоп-рефрактор! За допомогою свого телескопа ви зможете побачити місяць і деякі зоряні скупчення, а також земні об'єкти (тобто птахів).*

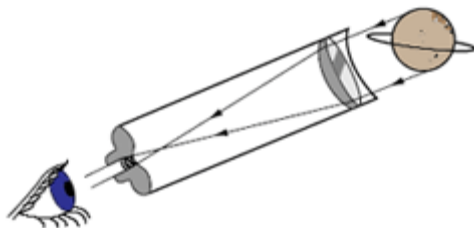


Рисунок 4.25 Ілюстрація телескопа-рефрактора.

4. Використовуйте червону та чорну стрічку, щоб зробити смуги на білій поверхні, щоб використовувати їх як діаграму, для оцінки збільшення телескопу. Встаньте в одному кінці кімнати і подивіться на діаграму з червоними та білими смугами та чорно-білими смугами. Подивіться одним оком прямо на діаграму, а іншим оком подивіться в телескоп. Спочатку це може бути трохи складно, але, потренувавшись, ви зрозумієте, що можете це зробити. Наскільки збільшене зображення?

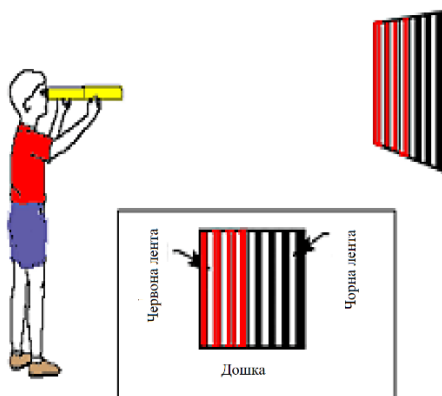


Рисунок 4.26 Ілюстрація телескопа-рефрактора.

*Коментар:* Корисне збільшення телескопа обмежене дифракцією. Ця межа дифракції становить приблизно 10-кратне збільшення на три сантиметра діаметра лінзи об'єктива.

*Приклад:* лінза об'єктива діаметром 6 см забезпечить збільшення телескопа в 20 разів.

Якщо відомі фокусні відстані лінз, то можна розрахувати їх збільшення теоретично за формулою:

$$M = \frac{F_0}{F_e} \quad (4.20)$$

де  $M$  - збільшення телескопа;  $F_0$  - фокусна відстань об'єктива;  $F_e$  - фокусна відстань окуляра.

**ВАЖЛИВО!!!** Головне правило спостереження за небом: ніколи, ні за яких обставин не направляйте телескоп на Сонце!

#### Перелік джерел

1. <https://www.youtube.com/watch?v=tnbSIbsF4t4>
2. <https://www.youtube.com/watch?v=shPwW11MEHg>
3. <https://www.youtube.com/watch?v=aICaAEXDJQQ>
4. <https://www.youtube.com/watch?v=Ecdsqc1wFoY>
5. <https://www.youtube.com/watch?v=v6ihVeEoUdo>
6. Beiser, Arthur. Physics, 3rd Edition, Menlo Park, California: The Benjamin/Cummings Publishing Company, 1982.
7. Hecht, E., and A. Zajac. Optics, 2nd Edition. Reading, Massachusetts: Addison Wesley Publishing Company, 1987.
8. Pedrotti, F., and L. Pedrotti. Introduction to Optics, 2nd Edition. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, Inc., 1993.
9. Pedrotti, F., and L. Pedrotti. Optics and Vision. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, Inc., 1998.
10. Serway, R. A. Principles of Physics. Orlando, Florida: Saunders College Publishing, 1992.
11. Waldman, Gary. Introduction to Light. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, Inc., 1983.
12. Englert, B-G., M. O. Scully, and H. Walther. "The Duality in Matter and Light," *Scientific American* (December 1994), 86.
13. Weisskopf, Victor F. "How Light Interacts with Matter," *Lasers and Light*, Readings from *Scientific American*. W. H. Freeman and Company, 1969, pp 14-26.
14. *Optics and Optical Instruments Catalog*. Edmund Scientific, Industrial Optics Division, Barrington, New Jersey.
15. *Melles-Griot Catalog*. Melles-Griot Optical Systems, Rochester, New York, and Melles-Griot Photonics Components, Irvine, California

## Розділ 5

# ЕЛЕКТРИКА: ВІДКРИТТЯ, СТАНОВЛЕННЯ, РОЗВИТОК ТА ЗАСТОСУВАННЯ

<sup>1</sup>Данильченко Дмитро Олексійович

<sup>2</sup>Костусяк Володимир Вікторович

<sup>1</sup>Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»

Кафедра передачі електричної енергії

<sup>2</sup>ЗОШ# 30, м. Запоріжжя

**Тема:** Електрика: відкриття, становлення, розвиток та застосування.

### Мета та завдання уроку:

- Отримання уявлень про значення електротехнічної та електроенергетичної галузі для сучасного людства;
- Узагальнення та систематизація знань учнів на тему «Джерела електричної енергії»; поглиблення їх уявлень про генерацію та передачу електричної енергії;
- Ознайомлення учнів із основними елементами електричних систем та їх еквівалентними схемами заміщення;
- Ознайомлення учнів з лабораторними установками з генерації електричного заряду (електрофорна машина) та вимірювальними пристроями (амперметр, вольтметр, ватметр) як аналоговими так і електронними (з демонстраційним дослідом, за допомогою презентації або віртуальної лабораторії);
- Створення мотивації до поглиблення знань у галузі електротехніки та електротехнологій.

**Мотивація учнів до навчальної діяльності здійснюється завдяки:**

- залученню до лекційного матеріалу відомостей та кейсів з актуальних серед молоді культурних явищ
- екскурсам в історію науки та її успіхів і розгляду теми у контексті розвитку цивілізації загалом.
- запрошенню до обговорення, сумісному пошуку відповідей на поставлені запитання та можливості продовження дискусії після виконання домашнього завдання.

Вчитель може використовувати заздалегідь підготовлений матеріал для його демонстрації засобами мультимедіа з метою поживлення реакції учнів. Текст, викладений нижче, містить кількість відомостей, можливо, зовелику для одного уроку, але в такому випадку

його можна використовувати з врахуванням активності, інтересів учнів, їх рівня підготовки та ін. обставин, або матеріал може бути застосований впродовж декількох уроків чи в межах факультативу на розсуд вчителя.

### **План уроку:**

**1. Заявлення теми, обговорення організаційних моментів та правил безпеки. (2 хвилини)**

**2. Вступне слово вчителя. (7 хвилин).**

**3. Вивчення нового матеріалу: (9 хвилин)**

- доповідь-презентація вчителя.

**4. Демонстрація: (4 хвилин)**

- демонстрація роботи постійного магніту та компаса;

- демонстрація роботи електрофорної машини для розуміння процесів утворення електричного заряду (можливо у вигляді відеопрезентації);

- демонстрація роботи вимірювальних приладів, таких як амперметр, вольтметр та ватметр (можливо у вигляді відеопрезентації).

**5. Розв'язування задач (10 хвилин)**

- розрахунок електричного кола, що складається з активних опорів (послідовне, паралельне та змішане з'єднання опорів).

**6. Закріплення вивченого матеріалу (10 хвилин)**

- дискусія з вчителем на вибрану тему.

**7. Висновки. Підсумки уроку. (2 хвилини)**

**8. Домашнє завдання. (1 хвилина)**

Вступне слово вчителя стосовно історичної традиції використання електроенергетики та соціально-економічних та технологічних підвалин електроенергетичного буму наприкінці XIX – початку XX століття. Бажано застосовувати презентації з максимумом графічного та фотоматеріалу. Також вкрай бажано залучити учнів, що допоможуть вчителю перевести урок у площину живої дискусії.

### **5.1 Історична довідка**

Сучасне життя просто неможливо уявити без світла та електроприладів. Тому відкриття електрики - найважливіша подія в історії людства. Це революційний прорив, який подарував людям величезні можливості, зробивши життя комфортним. Електрика - це рух заряджених часток під дією електромагнітного поля, він буває постійний, змінний та імпульсний.

Вперше людство познайомилось з електрикою багато тисячоліть тому, це була блискавка. Завдяки блискавці люди вперше отримало вогонь.

З давніх давен в пантеоні богів, найсильнішими вважалися боги, що володарювали над блискавками.

Електричні явища були відомі ще в давнину, давнім грекам, фінікійцям, жителям Межиріччя. Сам термін виник від грецького слова "електрон", що означає "бурштин". Його родоначальником став древньогрецький філософ Фалес він помітив, що при натиранні бурштин отримує властивість притягати до себе легкі предмети (наприклад, коркову стружку) та волосся, якщо його потерти шматком вовни, описував в 7 ст. до н.е. Фалес Мілетський. Фалес, однак, не відрізняв електрики від магнетизму, вважаючи це одним явищем, от тільки бурштин отримує таку дивну властивість при терті, а в магнетита вона постійна.

Новий крок у вивченні електричних явищ здійснив у 1600 році англійський лікар Вільям Гілберт. Провівши дослідження електричних і магнітних явищ, він оприлюднив книгу, в якій зробив висновок, що властивості постійного магніту і здатність натертого бурштину притягати предмети — безумовно різні явища. Гілберт почав застосовувати латинське слово *electricus* — бурштиноподібний, для опису такої властивості. У своїй книзі Гілберт також прийшов до висновку, що Земля є магнітом, і саме тому стрілка компаса вказує на полюс. *(Демонстрація досліду з постійним магнітом та компасом).*

Однак лише в середині 17 сторіччя нашої ери були досконально вивчені спостереження Фалеса. Цим займався німецький фізик Отто фон Геріке, який створив перший електроприлад. Це була куля з сірки, що оберталася і була закріплена на металевому штифті. Вона, так само як і бурштин, мала силу тяжіння та відштовхування.

У 1729 році вчений Стивен Грей, який вивчав властивості руху електрики, виявив, що не всі матеріали можуть проводити електричний струм. Речовини, які проводять струм, отримали назву "електрики" (провідники), а ті, що не проводять струм - "діелектрики" (ізолятори). Експерименти Стівена Грея показали, що електрику можна передавати на відстань (до 800 футів) за допомогою провідників (зволжених ниток), якщо уникати контакту із землею і використовувати ізоляцію. Так почалися дослідження струмів і були закладені основи поділу матеріалів на провідники й діелектрики.

Не менш важливим стало відкриття французького вченого Шарля Дюфея, який в 1733 році в результаті багаточисельних експериментів з сіркою та смолою відкрив позитивний та негативний електричний заряд. Хоча він спочатку вважав, що це два різні види електричного струму.

11 жовтня 1745 року пруський фізик-любитель Евальд фон Клейст випадковим чином виявив, що наповнена водою скляна посудина із зануреним у неї металевим електродом електростатичного генератора, має здатність накопичувати електричний заряд. Незалежно від нього

аналогічних висновків невдовзі дійшов голландець Пітер ван Мушенбрук з Лейдена, завдяки зв'язкам якого з науковими колами новий пристрій — прототип конденсатора — отримав назву Лейденська банка.

При подачі електроенергії Лейденська банка могла накопичувати доволі потужні заряди. Також за її допомоги була отримана перша електрична іскра.

У 1747 році американський політик та вчений Бенджамін Франклін опублікував свій науковий трактат, в якому давалося поняття "електрика". Там було написано, що всі матеріали містять "рідку електрику", яка під дією тертя може перетікати від одного матеріалу до іншого та накопичуватися в них.

Бенджамін Франклін також є винахідником громовідводу, за допомогою якого довів, що блискавка має електричне походження.

У 1785 році французьким вченим Шарлем Кулоном на підставі багаточисельних експериментів з металевими кульками було виведено закон, що описував електричну взаємодію між точковими зарядами (закон Кулона). Зміст його у відкритті того, що однойменні заряджені частки ("-" та "-" або "+" та "+") відштовхуються, а різнойменні заряджені ("-" та "+") - притягуються.

У 1800 році було зроблено головне відкриття у вивченні електрики. Італійський фізик Алессандро Вольта винайшов перший гальванічний елемент - хімічну батарею. Він складався з круглих срібних пластинок, між якими знаходились шматочки паперу, змочені в солоній воді. Хімічна батарея дозволяла отримувати постійний електричний струм, завдяки хімічним реакціям.

Датський учений Ганс-Крістіан Ерстед у 1820 році відкрив взаємодію електричного струму на магніт. Він помітив, що при подачі електричного струму на провідник стрілка компасу, що лежить паралельно, повертається в перпендикулярному напрямку.

Розробки Ерстеда продовжив вчений Андре-Марі Ампер, який взявся за дослідження електричного магнетизму, давши початок новій науці - електродинаміці. Багато таких талановитих вчених, як Ом, Ленц, Гаус, Джоуль, займалися дослідженнями електричного струму. У 1830 році було відкрито електростатичне поле.

У 1831 році англійський вчений Майкл Фарадей відкрив електромагнітну індукцію та на її підставі винайшов перший електрогенератор.

Також він ввів поняття магнітного та електричного поля і створив елементарний електродвигун. Це був електричний провідник, що обертався навколо магніту.

## 5.2 Демонстрація роботи електроформної машини

Вчитель демонструє принцип отримання статичного заряду, його накопичення та утворення електричної дуги при розряді. Мені для цього знадобиться електрофорна машина.

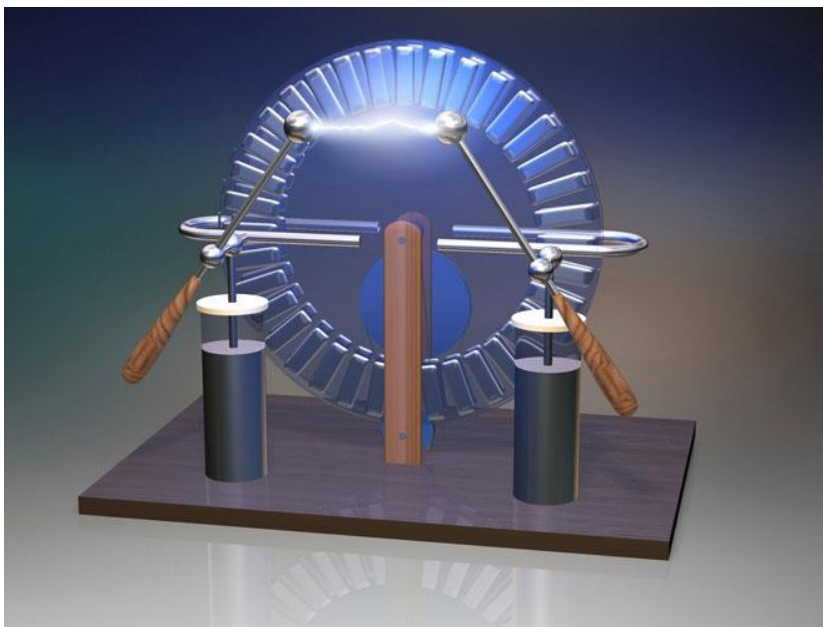


Рисунок 5.1 Електрофорна машина.

Електрофорну машину було створено у 1865 році німецьким фізиком-експериментатором Августом Теплером. Одночасно з Теплером і незалежно від нього електрофорну машину винайшов інший німецький фізик Вільгельм Гольц. Машина Гольца мала простішу конструкцію і у порівнянні з машиною Теплера дозволяла отримувати більшу різницю потенціалів і могла використовуватись як джерело постійного електричного струму. Між 1880 та 1883 роками машину удосконалив англійський винахідник Джеймс Вімшurst.

Машина складається з двох співвісних дисків (А і В) з електроізоляційного матеріалу, на котрі нанесено електропровідні сегменти. Сегменти попарно з обох сторін утворюють конденсатори. Через це цю машину часто називають конденсаторною машиною. Дискам надається обертовий рух у зустрічному напрямі з однаковою кутовою швидкістю. Електричний заряд створюється за рахунок тертя до пластин сегментів щіток Y, Y<sub>1</sub>, X, X<sub>1</sub>.

Зліва і справа з обох сторін розташовані колектори  $Z$  та  $Z_1$ . Через них надходять генеровані заряди зняті щітками з країв як переднього, так і заднього диска. Переважно заряди нагромаджуються в електричному конденсаторі, (наприклад, у лейденській банці) для утворення значної різниці потенціалів.

Допустимо, що сегмент  $A_1$  спочатку несе невеликий надлишковий позитивний заряд, а сегмент  $B_1$  — негативний. Коли  $A_1$  рухається вліво, а  $B_1$  — вправо, їх потенціали ростуть за рахунок роботи, що виконується проти сили їх електричного притягання.

Коли  $A_1$  досягає положення навпроти сегмента  $B_2$  пластини  $B$ , котрий у цей момент контактує зі щіткою  $Y$ , він буде під високим позитивним потенціалом і, таким чином, викличе розділення заряду у провіднику, що сполучає  $Y$  та  $Y_1$ , переносячи великий негативний заряд на  $B_2$  і великий позитивний заряд на віддалений сегмент, котрого у цей момент торкається щітка  $Y_1$ .

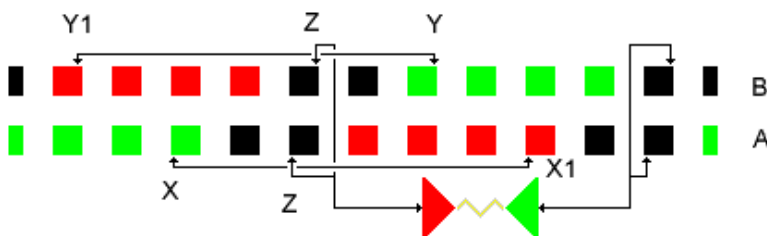


Рисунок 5.2 Схема роботи електрофорної машини. Сектори означені квадратами, контактні щітки — стрілками. Червоним кольором позначено позитивний заряд, зеленим — негативний.

Рухаючись далі,  $A_1$  торкається щітки  $Z$  і частково розряджається у зовнішнє коло на електричний конденсатор, виконаний у вигляді лейденської банки. При подальшому обертанні дисків,  $A_1$  торкається щітки  $X$ , яка пов'язана провідником зі щіткою  $X_1$ , і знову отримує заряд, цього разу негативний, який відштовхується негативно зарядженим сегментом  $B_2$  (що знаходяться в цей момент напроти сегмента на диску  $A$ , що контактує зі щіткою  $X_1$ ). Таким чином, позитивний заряд переноситься справа наліво верхньою частиною диска  $A$ , а негативний зліва направо його нижньою частиною.

### 5.3 Продовження розповіді про історію електрики

Василь Володимирович Петров в 1801 році встановив, що електричний струм може нагрівати провідники електричних дуг і газів.



Також він висунув думку про його використання для плавки і освітлення металів.

Ханс Крістіан Ерстед, датський фізик, встановив в 1820 році зв'язок між магнетизмом і електрикою. Він заклав фундамент сучасної електротехніки. А ось в 1827 році німецьким вченим Георгом Симоном Омом був відкритий закон Ома – фундаментальний закон електрики, який встановлює залежність між напругою і силою струму.

Відкриття англійського фізика Майкла Фарадея в 1831 році привели до розвитку нової галузі – електротехніки. Подальші відкриття пов'язані зі створенням електричних двигунів, телефону, генераторів, радіо, телеграфу. Електрика стало впроваджуватися в медицину. Вулички Парижа в 1878 році вперше освітілися дуговими лампами, з'явилися перші електростанції.

Таким чином, в процесі розвитку даного явища сформувалося поняття електрики. Електрика це справді унікальне явище, яке визначене властивостями матерії виробляти електричний заряд.

Вченим, який зробив величезний внесок у вивчення електрики та магнетизму і, що найголовніше, використовував свої розробки на практиці, був Нікола Тесла. Завдяки його винаходам сучасні люди користуються багатьма побутовими та електроприладами. Нікола Тесла - людина, яку справедливо вважають одним з найвеличніших винахідників 20 сторіччя.

#### **5.4 Демонстрація роботи вимірювальних пристроїв (за допомогою приладів, презентації або віртуальних лабораторій) таких як амперметр, вольтметр, ватметр.**

Підключення приладів вимірювання до електричного кола.

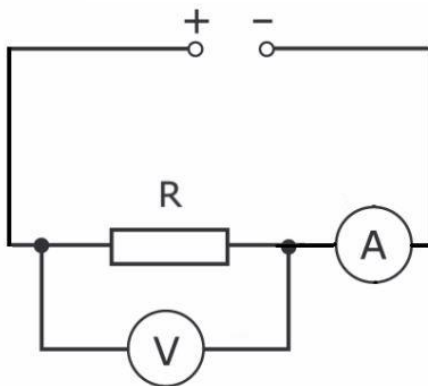


Рисунок 5.3 Схема підключення амперметра та вольтметра.

Підключення амперметра відбувається послідовно до навантаження. Підключення вольтметра відбувається паралельно до навантаження.

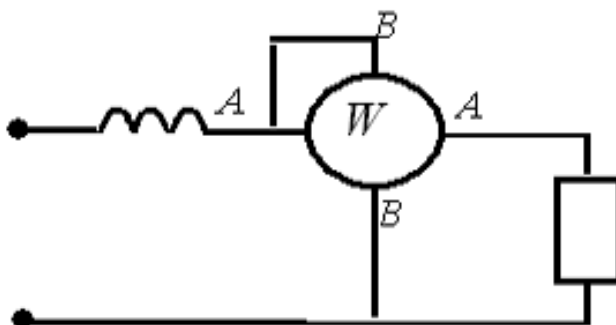


Рисунок 5.4 Схема підключення ватметра.  
Підключення ватметра змішане (послідовно-паралельне)

### 5.5 Розв'язування задач:

#### - розрахунок опору провідника

Основною електричною характеристикою провідника є опір. Від цієї величини залежить сила струму в провіднику при заданій напрузі.

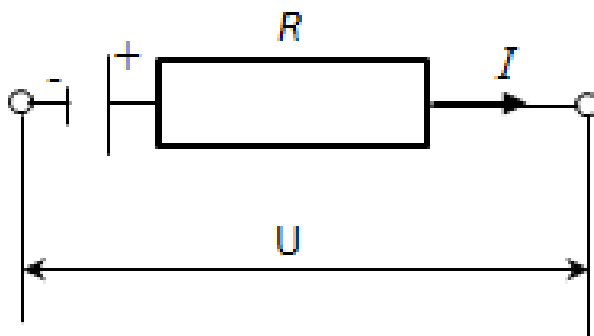


Рисунок 5.5 Схема підключення опору.

Упорядкований рух носіїв заряду у фізичному тілі називають електричним струмом. Ними можуть бути різні елементарні частинки. Наприклад, в провідниках — електрони, електролітах — іони. У стані спокою, тобто коли на тіло не створюється сторонній вплив, рух носіїв хаотичний. В результаті відбувається компенсування зарядів, і струм не

виникає. Якщо ж до речовини докласти силу або деформувати її, напрямок руху частинок стане впорядкованим і виникне електричний струм.

Величина, зворотна провідності, називається опором. Це параметр, який характеризує здатність матеріалу пропускати через себе електричний струм без втрат. Іншими словами, для ідеального тіла кількість електрики, що увійшла та вийшла з нього, буде однаковою.

За одиницю виміру сили струму прийнятий Ампер, що показує, яка кількість електрики проходить через поперечний переріз провідника за одну секунду:

$$\begin{aligned} I &= \Delta q/t \\ [A] &= [Кл]/[с] \end{aligned} \quad (5.1)$$

Електричний опір тіла залежить від природи носіїв заряду і геометрії матеріалу. Це скалярний параметр. При його розрахунку використовують поняття питомий опір. Виражають цей параметр в омах, помножених на метр, і позначають грецькою буквою  $R$ . За фізичним змістом величина є зворотним параметром питомої провідності.

З нею, крім опору і сили струму, тісно пов'язана і напруга. З фізичної точки зору, це робота, яку виконує електричне поле при перенесенні одиничного заряду з однієї точки в іншу. У міжнародній системі величин напругу заведено позначати в вольтах:

$$U = \varphi_2 - \varphi_1 \quad (5.2)$$

де  $\varphi$  – значення потенціалу заряду в точках,  $V$ .

Струм обумовлений рухом електронів. Класична формула (закон Ома), використовувана для розрахунку його сили була виведена німецьким фізиком Омом. Він дослідним шляхом зміг підтвердити залежність між собою струму, опору і напруги. У математичному вигляді зв'язок записують у вигляді формули:

$$I = U/R \quad (5.3)$$

Відповідно до закону Ома, опір тіла електричному струму прямо пропорційний його силі і обернено пропорційно напрузі:

$$R = I/U \quad (5.4)$$

Ця емпірична формула справедлива для будь-якої ділянки ланцюга постійного струму.

Рухливі носії при хаотичному русі поводяться як молекули газу, тому в першому визначенні фізики вважають носіїв зарядів свого роду електронним газом. Як було встановлено емпірично, густина цього газу і будова кристалічної решітки залежать від роду провідника. Відповідно, провідність, а значить і опір, визначається також і родом речовини. Своєю чергою, фізичне тіло характеризується і геометричними параметрами.

*Опір провідника* – це здатність провідника опиратись проходженню електричного струму.

Дослідним шляхом було визначено, що опір залежить від довжини провідника, його матеріалу та площі поперечного перерізу.



Рисунок 5.6 Електричний опір.

Цікаво відмітити, що форма поперечного перерізу дроту не має значення: дріт круглого перерізу і квадратного перерізу такої ж площі мають однакові опори при однакових довжинах і матеріалах.

Підсумовуючи результати дослідів, можна записати формулу:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (5.5)$$

де  $l$  - довжина провідника;  $S$  - площа поперечного перерізу провідника,  $\rho$  – коефіцієнт пропорційності, що залежить від речовини, з якої виготовлений провідник. Цей коефіцієнт називають питомим опором речовини, Ом·мм<sup>2</sup>/м.

*Питомий опір речовини* - це фізична величина, яка характеризує електричність властивості даної речовини й чисельно дорівнює опору виготовленого з неї провідника завдовжки 1 м і площею поперечного перерізу 1 м<sup>2</sup>.

У електричному колі може зустрічатися 3 види з'єднання елементів:

- Паралельне з'єднання. При такому з'єднанні коло розгалужується, тобто з'являються гілки, по яких тече струм. Гілки можуть перетинатися між собою.

- Послідовне. Схема з'єднання являє собою єдине коло, в якому немає розгалужень.

- Змішане. Складається з комбінованого з'єднання, що включає комбінації з паралельного і послідовного підключення.

Обчислення опору для кожного типу з'єднання має власні особливості.

При послідовному включенні загальне значення визначається шляхом простого складання:

$$R = r_1 + r_2 + \dots + r_n \quad (5.6)$$

При паралельному ж з'єднанні повний опір кола буде менше найменшого з опорів гілок. Для такого включення використовується формула:

$$1/R = 1/r_1 + 1/r_2 + \dots + 1/r_n \quad (5.7)$$

Принцип розрахунку змішаного з'єднання побудований на угрупованні електричного кола по виду підключення елементів. Визначення параметра виконують по черзі. Спочатку вираховують опір одного вузла, що включає однотипне з'єднання, потім до результату додають наступний елемент. Цю операцію повторюють до тих пір, поки не залишиться один елемент.

*Для закріплення матеріалу можна розрахувати 1-3 задачі для визначення опору елемента та/або ланцюга.*

### 5.6 Приклади задач та їх розв'язання

- На котушку електромагніту намотаний мідний провід перетином  $0,003 \text{ мм}^2$  довжиною 200 метрів. Треба знайти опір і масу обмотки.

Для вирішення завдання потрібно скористатися довідником з електрофізики. З нього треба взяти значення питомого опору міді і її густину.

Згідно з довідковими даними:

$$\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}, \text{ а } \rho = 8900 \text{ кг/м}^3.$$

У першій дії потрібно визначити масу. Для цього треба виразити її з формули  $\rho = m/V$  і підставити задані значення:

$$m = V \cdot \rho = l \cdot S \cdot \rho = 2 \cdot 10^2 \text{ м} \cdot 3 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2 \cdot 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 = 53,4 \text{ грама.}$$

Тепер можна визначити шуканий опір за формулою:

$$R = (\rho \cdot l) / S = (0,017 \text{ (Ом} \cdot \text{мм}^2) / \text{м} \cdot 200 \text{ м}) / 0,03 \text{ мм}^2 = 3,4 / 0,003 = 113 \text{ Ом.}$$

- Потрібно виготовити провід довжиною 100 метрів і опором 1 Ом. Треба визначити, з якого матеріалу вага виробу буде менше: міді або алюмінію.

Потрібно обчислити, чому дорівнюватиме відношення мас:  $M(\text{Cu}) / M(\text{Al})$ . З довідника потрібно взяти дані:  $\rho(\text{Al}) = 2700 \text{ кг/м}^3$ ;  $\rho(\text{Cu}) = 8900 \text{ кг/м}^3$ ;  $\rho(\text{Al}) = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ ;  $\rho(\text{Cu}) = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ .

Для вирішення потрібно виразити масу через густину, довжину і площу поперечного перерізу:  $m = \rho \cdot l \cdot S$ .

Довжина однакова, значить, пропорція мас набуде вигляду:  $(\rho(\text{Cu}) \cdot S(\text{Cu})) / (\rho(\text{Al}) \cdot S(\text{Al}))$ .

Площа поперечного перерізу буде обчислюватися з правила знаходження опору.

Кінцева формула набуде вигляду:

$$M(\text{Cu}) / M(\text{Al}) = (\rho(\text{Cu}) \cdot R(\text{Cu})) / (\rho(\text{Al}) \cdot R(\text{Al})) = (8900 \cdot 1,7) / (2700 \cdot 2,8) = 2.$$

Виріб з алюмінію буде важити у 2 рази легше.

- Є електричний ланцюг, що підключений до мережі 120 В. Якщо до неї приєднати 2 послідовних опорів струм буде дорівнює 3 А, а якщо паралельно — 16 А. Треба знайти опір.

Завдання вирішується за допомогою закону Ома і формул обчислення опору ланцюга:  $I_{\text{посл}} = U / (r_1 + r_2)$ ;  $I_{\text{пар}} = U \cdot (r_1 + r_2) / r_1 \cdot r_2$ .

З цих формул можна знайти шукані величини:  $r_1 + r_2 = U / I_{\text{посл}}$  і  $r_1 \cdot r_2 = U_2 / I_{\text{пар}} \cdot I_{\text{посл}}$ .

Виконавши обчислення, можна знайти, що  $r_1 = 30 \text{ Ом}$ ,  $r_2 = 10 \text{ Ом}$ .

## 5.7 Дискусія з учнями (на вибір)

### 1) Джерела електричної енергії

В основному призначена для використання у виробництві і побуті електроенергія виробляється електростанціями, де механічна енергія обертання парових турбін перетворюється на електричну, електричними генераторами. Тепло, необхідне для нагрівання пари, яка обертає турбіни, отримують в основному за рахунок викопного палива. Крім теплових електростанцій значна частина електроенергії виробляється атомними електростанціями та гідроелектростанціями. В останньому випадку використовується відновлюване джерело енергії. Іншими відновлюваними джерелами енергії є енергія вітру, яку використовують дедалі популярніші в сучасну пору вітрові електростанції. Пряме використання сонячної енергії можливе завдяки сонячним елементам. Також існують приливні електростанції, що використовують енергію хвиль та геотермальні, що використовують енергію гарячих джерел та термальних підземних вод.

### 2) Способи передачі електричної енергії

Вироблена електростанціями енергія розподіляється через електричну мережу в оселі людей, на фабрики й заводи. Такий спосіб передачі електричної енергії називається провідним або дротовим. Для нього використовують повітряні або кабельні лінії електропередавання.

На сьогоднішній день застосовується також бездротові технології електропередавання.

*3) Системи накопичування електричної енергії*

Окрім виробництва й розподілу електричної енергії через мережу, широко використовуються також такі джерела електричної енергії, як електрохімічні батареї та акумулятори, які дозволяють отримати електричний струм невеликої напруги, потрібної для роботи переносних електронних приладів.

*4) Видатні науковці України та світу, що зробили внесок в розвиток електрики, електротехніки та електротехнологій.*

### **5.8 Висновки. Підсумки уроку.**

По закінченню уроку вчитель оголошує оцінки або бонусні бали учням, які брали участь у вирішенні задач або приймали активну участь у дискусії. Дякує усім учням за проведену роботу. Розповідає тему наступного уроку і задає домашнє завдання.

### **5.9 Домашнє завдання:**

1. Вирішити задачі з розрахунку опору.
2. Підготувати есе, реферат або повідомлення за однією з дискусійних тем.

## Розділ 6

### ВУЛКАНІЗАЦІЯ РЕЗИНИ - ПОЧАТОК ПОЛІМЕРНОЇ ЕРИ РОЗВИТКУ ПРОМИСЛОВОСТІ

*Лебедев Володимир Володимирович  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»  
Кафедра пластичних мас і біологічно активних полімерів*

**Тема:** Вулканізація резини - початок полімерної ери розвитку промисловості.

#### **Мета та завдання уроку:**

- Отримати уявлення про історію промислового освоєння полімерів та резин, про їх унікальні властивості, а також про процеси їх одержання за різними реакціями;
- Ознайомлення учнів з особливостями хімічної будови натуральних та синтетичних еластомерів та хімічними реакціями їх переведення до різноподібного стану, набуття знань про значення еластомерів та полімерів для розвитку сучасної промисловості та життя людини;
- Ознайомлення учнів з лабораторною установкою для проведення процесів зшивання різних типів полімерів та удосконалення вміння практичної роботи з хімічними реактивами у ході лабораторного експерименту шляхом відео-презентації (з поясненням);
- Створення мотивації до подальшого набуття теоретичних та практичних знань в області хімії та технології полімерів.

#### **Мотивація учнів до навчальної діяльності:**

За для зацікавлення цікавими фактами, при викладанні історичних фактів використовує метод «проблемних питань»; учні вивчають малюнки слайдів, вони активно беруть участь в бесіді, вчитель викладає пізнавальний матеріал, демонструє дітям наглядні приклади еластомерів у вигляді еластичних захисних чохла для смартфонів та елементів одягу з еластомерів, учні беруть участь у розмові; відповіді на запитання; свої судження; встановлення зв'язку між фактами і темою уроку.

Вчитель використовує мультимедіа; показує колби з компонентами еластомерів, рідкі їх склади, здійснює доброзичливий і діловий настрій на урок.



## План уроку:

1. Організаційний момент.
2. Історія відкриття натурального каучуку та його вулканізації.
3. Натуральні та синтетичні еластomers.
4. Вулканізація та зшивання еластомерів.
5. Перевірка знань
6. Висновки. Підсумки уроку.

### 6.1 Історія відкриття натурального каучуку та його вулканізації.

Вчитель. Діти, сьогодні ми з вами познайомимося з незвичайним дивом природи, ім'я якого – каучук.

Давайте познайомимось з батьківщиною каучуку та історією його відкриття. Батьківщина каучуку – Центральна та Південна Америка. У вологих спекотних тропіках, по берегах річки Амазонки, росте незвичайне дерево, яке називається бразильська гевея (Якщо на корі дерева зробити надріз, то з ранки витікає сік молочно-білого кольору та званий латексом) – Рисунок 6.1.

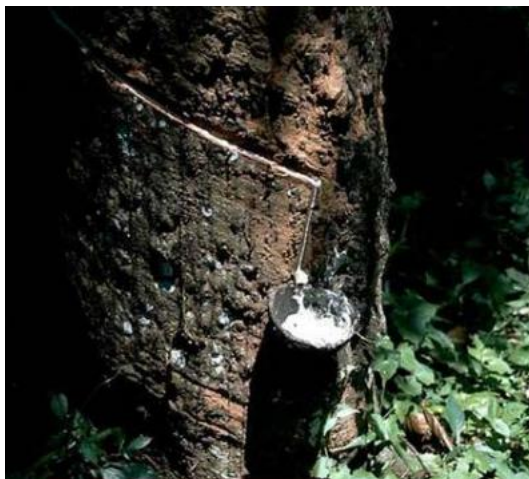


Рисунок 6.1 Добування натурального каучукового латексу з бразильської гевеї

На повітрі сік поступово темніє і затверджується Латекс містить близько 30% натурального полімеру, крихітні частинки якого знаходяться у зваженому стані у воді, утворюючи емульсію. Сік дерева гевеї тубільці назвали каучук (це слово походить від двох індіанських слів: Сао – дерево і Chu – текти, плакати), що можна перекласти як «сльози дерева». Вже в

XV ст. індіанці придумали, як можна використовувати каучук у господарстві. Вони просочували молочним соком човни, кошики, одяг, щоб ті не пропускали воду. З каучуку стали виготовляти смолоскипи, які довго і рівномірно згоряли та поширювали приємний запах. Якщо каучуком обмазати глиняну пляшку, а потім, після затвердіння полімеру, розбити і вийняти через горловий отвір глиняні черепки, то вийде легка ємність, що не б'ється, для різних рідин. Аналогічно тубільці навчилися виготовляти навіть каучукове взуття.

Таким чином, історія каучуку розпочалася з часів Великих Географічних відкриттів. Коли Колумб повернувся до Іспанії, він привіз із собою з Нового Світу безліч див. Однією з них був еластичний м'яч із «деревної смоли», який відрізнявся дивовижною стрибучістю.

Отже, завдяки Колумбу зразки каучуку потрапили до Європи в першій половині XVIII ст. Відкривалися нові властивості незвичайної речовини.

У 1823 р. англійський хімік, член Лондонського королівського товариства Чарльз Макінтош запатентував свій винахід. Намагаючись знайти застосування продуктів перегонки вугілля, він використовував нафту, побічний продукт цієї перегонки, як розчинник каучуку. Чарльз Макінтош запропонував склеювати одяг зі шматків просоченої цим складом тканини. Таким чином, він придумав непромокальну тканину, що складається з двох шарів матерії, з'єднаних розчином каучуку у спеціальному розчиннику. Винахідник налагодив виробництво нової тканини плащів, які отримали назву «макінтош» - рисунок 6.2.



Рисунок 6.2 Плащ Макінтош із прогумованої тканини.

Приблизно водночас було налагоджено виробництво з каучуку калош, а в Петербурзі в 1832 р. побудована перша фабрика з виробництва взуття з каучуковим покриттям. Новий матеріал, однак, мав великий недолік: він зберігав свої корисні властивості лише у вузькому інтервалі температур. На морозі каучук ставав тендітним, а на сонці м'яким та липким. Хіміки стали шукати спосіб, як покращити властивості натурального каучуку.

Перший крок зробив німецький хімік. Людєрсдорф. Він виявив, що каучук, оброблений розчином сірки в скипидарі, стає стійкішим. Це відкриття було зроблено в 1832 р. майже в той же час американець Хейворд встановив, що властивості каучуку покращуються, якщо додати до нього сірку; такий матеріал, наприклад, не робиться липким на сонці. Цим зацікавився Чарльз Гуд'їр, який торгував різними товарами, зокрема і платівками каучуку. Щоб платівки не злипалися, він пересипав їх сіркою. Гуд'їр намагався з'ясувати, як впливають добавки сірки на властивості каучуку. Виявилось, що той дійсно втрачав липкість, але тільки у верхньому шарі, а всередині маса залишалася колишньою. Щасливий випадок допоміг заповзятливій людині. Одного разу Гуд'їр упустив платівку каучуку на гарячу кухонну плиту. Обпалюючи руки, він схопив платівку і почав м'яти її, щоб переконатися, чи вона не зіпсувалася. Яке ж було його здивування, коли він виявив, що платівка не тільки не липла, але стала пружною та еластичною. Так в 1839 р. було відкрито вулканізація каучуку – процес, який й зараз застосовується у промисловості – Рисунок 6.3.



Рисунок 6.3 Вулканізація каучуку сіркою.

Фактично перші натуральні еластomersи були отримані саме Чарльзом Гуд'їром, який тільки за 5 років від їх відкриття отримав авторський патент на ці матеріали.

В 1898 році була заснована компанія Goodyear Tire and Rubber Company, яка отримала свою назву на честь Чарльза Гуд'їра, яка впродовж більше 100 років відома своїми автомобільними покриттями – Рисунок 6.4.



Рисунок 6.4 Автомобільні шини марки Goodyear.

Незалежно від Гуд'їра англієць Т. Генкок у 1843 р. відкрив аналогічний спосіб, який саме він і назвав вулканізацією (на ім'я Вулкана – давньоримського бога підземного вогню), а новий продукт – гумою (від латів. *resina* – смола).

Бурхливий розвиток автомобільної промисловості, особливо після винаходу 1888 р. гумових пневматичних шин, поставив перед хіміками завдання виробництва не натурального, а синтетичного каучуку.

Відтоді каучуки знайшли наукову назву еластомерів - це полімери, що мають вискоеластичні властивості та гумоподібні пружні властивості.

Такі матеріали можуть розтягуватися до розмірів, що багато разів перевищують їх початкову довжину (еластомерна нитка), і, що істотно, повертатися до вихідного розміру, коли навантаження знято. А зараз докладніше розглянемо з вами будову та властивості натуральних та синтетичних еластомерів.

## 6.2 Натуральні та синтетичні еластomers.

Отже, ми з вами познайомилися із властивостями природного еластомеру та його походженням. Склад природного еластомеру став відомим вже у другій половині XIX ст. Натуральний каучук – ненасичений стереорегулярний полімер складу  $(C_5H_8)_n$  із середньою молекулярною масою 15000-500000. Елементарна ланка є ізопреновим угрупованням:

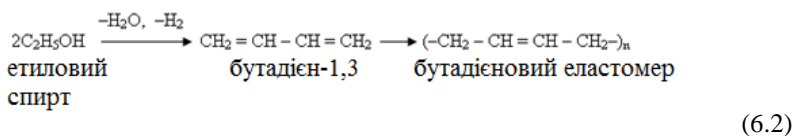


Як зрозуміти чи стереорегулярний полімер? Це такий полімер, в якому всі елементарні ланки знаходяться в цис або трансконфігураціях. Зауважте, що природний еластомер – це цис-поліізопрен. Транс-поліізопрен також зустрічається в природі, і називають його гуттаперчею. Природний еластомер у порівнянні з гуттаперчею має набагато більш високу еластичність, тому знаходить ширше застосування.

А тепер доведемо з вами, що природний еластомер, так само як і ізопрен, є ненасиченою сполукою. Експеримент можна зробити зі звичайним гумовим клеєм або клеєм «Момент». До їх складу входить натуральний еластомер.

Першим синтетичним еластомером, який пройшов випробування «практикою», став бутадієновий каучук (СКБ), отриманий в СРСР за методом С.В. Лебедева. З перших кілограмів продукції, отриманої на дослідному заводі в 1931 р., була виготовлена шина. Її поставили на автомобіль, яким їздив С.В. Лебедєв, і вона вірою та правдою прослужила 16 тис. км пробігу.

Наведемо етапи отримання синтетичного еластомеру:



Пізніше було отримано синтетичний цис-поліізопрен, який за властивостями ідентичний натуральному еластомеру. Найбільш широко як мономер для виробництва синтетичних еластомерів використовуються бутадієн, ізопрен, стирол, хлоропрен, ізобутен, кремнійорганічні сполуки та ін.

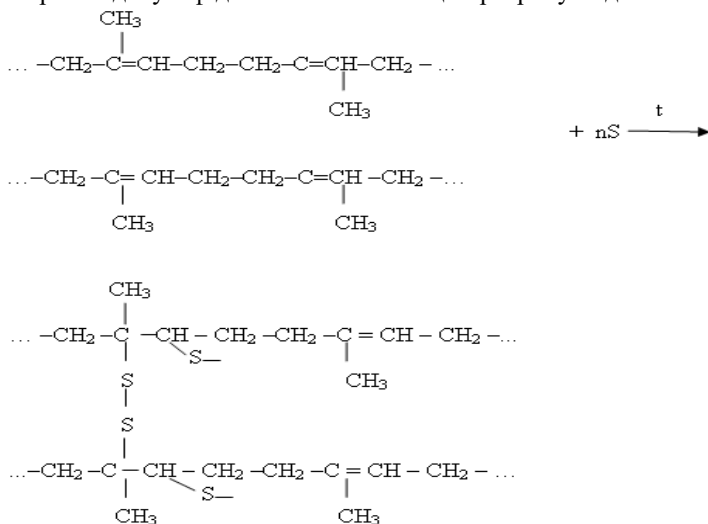
Класифікація еластомерів за сферами застосування наведена в табл.6.1.

Таблиця 6.1 - Класифікація еластомерів за сферами застосування

Еластомери загального призначення	Еластомери спеціального призначення
<p>1. Висока еластичність та зносостійкість при звичайних температурах, стійкість до багаторазових деформацій.</p> <p>2. Практичність.</p> <p>Приклади: бутадієновий та ізопреновий</p>	<p>1. Стійкість до дії розчинників, олій, кисню, озону, високих температур, морозостійкість.</p> <p>Приклади: хлорпреновий, бутадієн-стирольний.</p>

### 6.3 Вулканізація

Натуральні та синтетичні еластомери використовують переважно у вигляді гуми. Для отримання гуми вулканізують рідкий еластомер. Яка ж хімічна сутність процесу вулканізації? При нагріванні еластомерів із сіркою окремі полімерні ланцюги «зшиваються» між собою за рахунок утворення дисульфідних містків за місцем розриву подвійного зв'язку.



(6.3)

Продукт часткової вулканізації еластомеру називають гумою (трохи більше 5% сірки) – Рисунок 6.5:



Рисунок 6.5 Готовий вулканізований еластомер з 5% сірки.

Як ми з вами бачимо, такий полімер має розгалужену просторову структуру і менш еластичний, ніж натуральний каучук, але має більшу міцність. При збільшенні кількості сірки продукт вулканізації набуває сітчастої структури і повністю втрачає еластичність. Він називається ебонітом. Ебоніт є гарним діелектриком, з нього виготовляють деталі електричної арматури (показ зразків каучуку та ебоніту).

#### 6.4 Практична частина

За необхідності можливий показ презентації з проведення зшивання силіконових еластомерів якщо неможливо відтворити роботу в умовах класу.

А тепер власне про навчальну складову нашого уроку.

Одним з найбільш важливих видів синтетичних еластомерів є кремнійорганічні, які одержують з рідких кремнійорганічних смол після відповідної термічної обробки за рахунок зшивання поперечними зв'язками, що виникають між їх молекулами, з утворенням силіконового еластомеру, при подальшій вулканізації якого виходять еластомери, що майже не відрізняються від гум, одержуваних з натурального каучуку. Залежно від ступеня зшивання можна змінювати властивості (еластичність, міцність, твердість тощо) одержуваних матеріалів. Силіконові гуми еластичні при розтягуванні та по відскоку. Їх можна відформувати на листи, труби або вироби складної форми, а також перетворити на масу, що твердне при кімнатній температурі. Вони зберігають еластичність за досить низьких температур, коли звичайна синтетична гума стає крихкою, і за досить високих температур, коли звичайна гума перетворюється на клейку масу. Вони також не схильні до старіння, впливу погоди, води, електрики, більшості кислот, лугів, солей і масел.

Такі властивості силіконових еластомерів є неоціненними для багатьох спеціальних цілей – Рисунок 6.6.



Рисунок 6.6 Використання силіконових еластомерів.

**Реактиви:** силіконовий компаунд Silikon Wacker Elastosil M 4601 A/B двокомпонентний (компонент А – рідкий силіконовий еластомер, компонент Б – каталізатор платиновий зшивання) – Рисунок 7, розчинник уайт-спиріт.



Рисунок 6.7 Силіконовий компаунд Silikon Wacker Elastosil M 4601 A/B двокомпонентний.

**Обладнання:** скляні стакани на 50 та 100 см<sup>3</sup>, скляні палички, ваги електронні з точністю до 0,01 грама, силіконові форми для заливання



композицій – Рисунок 8, одноразові поліетиленові рукавички, одноразові шприці на 5 мл.

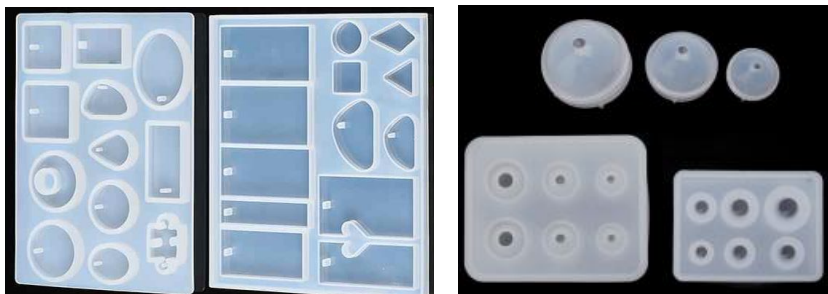
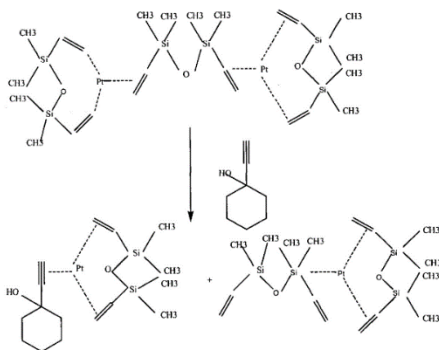


Рисунок 6.8 Силіконові форми.

#### Хід роботи:

У скляний стакан об'ємом 100 см<sup>3</sup>, додають компонент А силіконового компаунду Silikon Wacker Elastosil M 4601 у кількості 50 грам, потім додають компонент Б у кількості 2,5 грама. Проводять інтенсивне перемішування одержаної композиції, яку потім заливають в силіконові форми.

Впродовж зшивання композиції до еластомерного стану відбувається реакція поперечного зшивання між силіконовим полімером і зшиваючим агентом - полідиметилсилоксаном і полиметилгидросилоксаном з вінільними кінцевими групами, у присутності платинового каталізатора композиція може бути зшита впродовж 30 хвилин при кімнатній температурі та менш ніж за 10 секунд при підвищеній температурі.



(6.4)

На рисунку 6.9 представлені зшиті силіконові еластомери у вигляді готових біжутерних виробів.



Рисунок 6.9 Зшиті силіконові еластomers у вигляді готових біжутерних виробів.

Неповний список виробів з них включає:

- прокладки та заглушки у домашніх парових прасках та тостерах;
- ізолюючі трубки для захисту свічок запалювання та електрообладнання в автомобілях, літаках та судах;
- ізоляційні втулки для конденсаторів та трансформаторів;
- ізолятори для зовнішньої освітлювальної арматури, електричних печей та нагрівачів, моторів та навігаційних систем;
- пружні ущільнювачі та замазки;
- покриття для тканин зі скляного та азбестового волокна та герметизуючих прокладок для літаків, що літають на великих висотах.

## 6.5 Перевірка знань

Контрольні питання.

1. Природний еластомер – лінійний полімер:

- А) бутадієну
- Б) 2 – метилбутадієну
- В) етилену
- Г) ацетилену

2. Спосіб отримання синтетичного еластомеру розробив:

- А) Д.І. Менделєєв
- Б) С.В. Лебедєв

- В) М.В. Ломоносов  
Г) Н.М. Зінін

3. Сировина для отримання бутадієну-1,3 за методом Лебедева:

- А) бутен-1  
Б) бутен-2  
В) етиловий спирт  
Г) етилен

4. Загальна формула дієнових вуглеводнів:

- А)  $C_nH_{2n-2}$   
Б)  $C_nH_{2n}$   
В)  $C_nH_{2n+2}$   
Г)  $C_nH_{2n-6}$

5. Вулканізація – процес нагрівання еластомеру з:

- А) сірою  
Б) піском  
В) вуглецем  
Г) сірчаною кислотою

*Відповіді: 1Б), 2Б), 3В), 4А), 5А).*

### **Висновки. Підсумки уроку.**

Вчитель підбиває **підсумок уроку**, відмічає найбільш вдалі моменти у відповідях учнів, дає рекомендації.

### **Перелік джерел**

1. Теоретичні основи хімії та технології полімерів / О. В. Суберляк. В. Й. Скорохода. Н. Б. Семенюк. — Львів: Видавництво Львівської політехніки. 2014. — 340 с. — І8ВХ 978-617-607-612-4
2. Турішцева Л. У. Енциклопедія хімічних розваг. - Х.: Вид. група «Основа». 2003. -64 с.
3. Фізико-хімія полімерів / Тхір І. Г.. Гуменецький Т. В. — Львів: Видавництво Львівської політехніки. 2005. — 240 с. — І8ВХ 966-553-448-
4. Кулезнев В.Н. Эластомеры и пластики (от разделения к единству) / В.Н. Кулезнев, Ю.Л. Морозов // Каучук и резина. – 2007. – № 6. – С. 29-33.

## **Розділ 7**

### **ЧИ ПРОСТО ЗАПУНИТИ АВАРІЙНИЙ СТРУМ?**

*Вировець Сергій Валерійович  
Чепелюк Олександр Олександрович  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»  
Кафедра електричних апаратів*

**Повертайся до темряви!  
Ти не пройдеш!**

- Битва Гендальфа Сірого з демоном Балрогом.

**Тема:** Особливості захисту електрообладнання, майна, людей та тварин від згубної дії струмів короткого замикання та перевантаження. Роль та місце апаратів захисту у повсякденному житті.

#### **Мета та завдання уроку:**

- Пояснення важливості проблеми захисту електрообладнання від струмів короткого замикання та перевантаження, а також можливих наслідків цих явищ.
- Знайомство учнів з деякими електричними апаратами захисту від струмів короткого замикання та перевантаження.
- Створення мотивації до поглиблення знань у галузі електромеханіки.
- Проведення експеримента демонстрації термічної дії електричного струму.

#### **Мотивація учнів до навчальної діяльності:**

Вчитель має наголосити на важливості таких пристроїв як електричні апарати захисту від струмів короткого замикання та перевантажень, а саме: запобіжників та відмикачів побутового та аналогічного застосування. Показати, що такі апарати використовуються повсюдно в кожному будинку, та обов'язково входять до складу кожного електронного чи електричного приладу, побутової техніки та розподільних електричних мереж.

#### **План уроку:**

1. Виявлення ступеню готовності учнів до уроку.
2. Вступ. Мотиваційна частина. Постановка актуальності теми уроку.
3. Викладення основного матеріалу уроку.
4. Висновки. Підсумки уроку.

## **7.1 Вступ**

Електрична енергія безперечно є найбільшим благом для людства. Сучасне життя неможливо уявити без електричної енергії, використання якої увійшло до всіх сфер діяльності людини. Однак не слід забувати, що електрична енергія може становити велику небезпеку під час аварійних ситуацій, таких як короткі замикання та електричні перевантаження, що супроводжуються струмами короткого замикання та перевантаження (у сучасній технічній літературі такі струми називають надструмами). Ця небезпека можлива не тільки для обладнання, майна через можливі пожежі або виходу з ладу цього обладнання, але і для здоров'я та життя людини та тварин при ураженні електричним струмом.

Необхідно зазначити що короткі замикання, які виникають у зв'язку із пошкодженням ізоляції або неправильними з'єднаннями в електричних колах, супроводжуються різким збільшенням струму (в десятки й сотні разів). При таких струмах температура провідників також дуже швидко збільшується, сягаючи пожежонебезпечних значень за лічені секунди, й навіть частки секунди.

При перевантаженнях, які виникають в електрично непошкоджених колах за рахунок надмірної кількості навантаг або за рахунок механічного перевантаження електродвигунів, температура нагрівання провідників електромереж або обмоток двигунів зростає відносно повільно, але при тривалих перевантаженнях температура провідників підвищується настільки, що стає небезпечною для ізоляції, яка її оточує, й призводить до пошкодження ізоляції та короткого замикання. Отже, струми перевантаження також слід відмикати, але не одразу, щоб не переривати технологічний процес при нетривалих перевантаженнях, а з витримкою часу, яка має зворотно залежати від струму перевантаження. Ця витримка часу може становити декілька годин при струмі перевантаження, який на 20 ... 30 % перевищує значення номінального струму захисного апарата, або не перевищувати 0,2 с, коли струм перевантаження у 10 ... 12 разів перевищує значення номінального струму захисного апарата.

Тому дуже важливо використовувати пристрої (електричні апарати) які здатні захищати обладнання, людей і тварин від згаданих вище аварійних режимів шляхом вимикання пошкодженої чи перевантаженої ділянки електричного кола. Крім того, сама операція вмикання і вимикання (комутації) електричного струму є не простим завданням з технічного погляду.

## **7.2 Історична довідка, передумови появи проблеми**

Починаючи з моменту виникнення електрики в XIX столітті стали зрозумілими пов'язані з нею небезпеки та необхідність використання не

лише пристроїв комутації електричних кіл, але й пристроїв захисту, зокрема - від коротких замикань та електричних перевантажень.

Точні дати, коли вказані пристрої захисту стали використовуватися в електротехнічній галузі на сьогодні встановити важко – самі ранні згадування проблеми захисту та шляхів її вирішення починаються фактично з моменту виникнення електрики.

Історично першим апаратом захисту від коротких замикань та перевантажень був запобіжник (англ. fuse від лат. "fusus" – розтоплюватися). Його принцип дії полягає у розмиканні кола шляхом розтоплення топкого елемента при протіканні струмів короткого замикання чи перевантажень.

Перші згадування практичного застосування прототипів сучасного запобіжника, топкі елементи яких були виконані у вигляді тонких провідників (круглих, пізніше у вигляді тонких стрічок), для захисту телеграфних кабелів, ламп розжарювання та освітлювальних установок датуються 60-80-ми роками XIX століття.

Нижче наведено цікавий історичний факт застосування запобіжників у вигляді тонких провідників не лише для захисту від коротких замикань та перевантажень, але й для вимикання електричного кола високої напруги – у Лауфен-Франкфуртській електропередачі (1891 р.), що була реалізована в рамках міжнародної виставки в м. Франкфурт-на-Майні і мала дуже велике значення для створення та розвитку всієї техніки змінного струму. Ця електропередача була найбільш загальним та першим за часом технічним втіленням принципів, що лежать в основі техніки змінного струму. На початку та у кінці лінії встановлювалися підвищуючий та понижуючий трансформатори для забезпечення передачі трифазної енергії високою напругою.

На відстані 170 км від Франкфурта-на-Майні (поблизу міста Гейльброн) у містечку Лауфен знаходився невеликий цементний завод, який користувався для своїх силових потреб енергією річки Неккар. У 1890 році виникла думка про передачу електроенергії у Франкфурт і німецький промисловець і винахідник Оскар фон Міллер (1855 - 1934) почав вести переговори про це з різними фірмами.

Наприкінці року було вирішено, що цементний завод надасть для цього свою турбіну на річці Некар, фірма Ерлікон (Maschinenfabrik Oerlikon) поставить у Лауфені трифазний синхронний генератор, а компанія AEG – асинхронний електродвигун у Франкфурті. Електродвигун мав потужність 100 к.с. (біля 75 кВт) та приводив в дію насос, що подавав воду до декоративного водоспаду, побудованого перед головним входом на виставку.

У компанії AEG з 1887 року працював відомий винахідник Михайло Осипович Доліво-Добровольський (1861 – 1919), який приймав

керівну участь у реалізації вказаної лінії електропередачі. Працюючи у цій компанії, М.О. Доліво-Добровольський виконав свої знамениті роботи з розробки та впровадженню трифазного струму, які створили світову популярність автору і переворот у техніці використання та передачі електричної енергії.



Рисунок 7.1 Михайло Осипович Доліво-Добровольський.

Він отримав кілька патентів на трифазні трансформатори, двигуни та генератори. Причому цікаво відзначити, що його конструкція трансформатора досі збереглася практично без будь-яких принципових змін.

Як це не дивно, але під час першої передачі трифазного струму на велику відстань всі елементи сучасної лінії електропередачі вже існували і практично не зазнали змін до сьогодні. Однак, є дуже важлива деталь - пристроїв здатних вимкнути та ввімкнути споживачів високої напруги на той момент часу не існувало.

Жодних вимикачів на лінії не було. Генератор та трансформатор з'єднувалися в блок. Для того, щоб у разі потреби можна було швидко вимкнути лінію, була передбачена ослаблена ділянка, що представляла собою три плавкі вставки завдовжки 2,5 м.

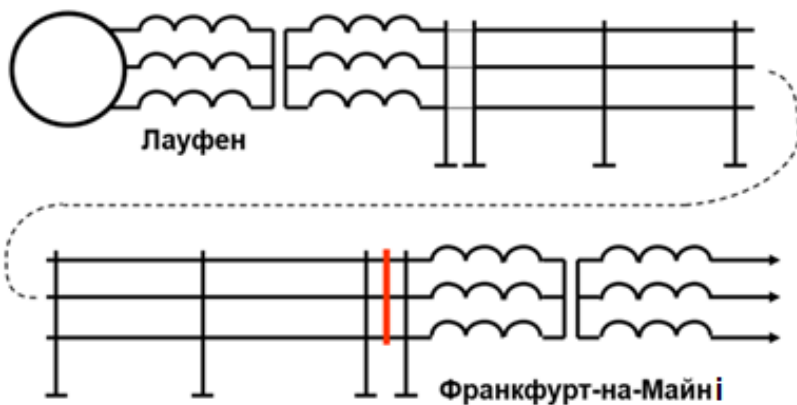


Рисунок 7.2 Схема лінії електропередачі з Лауфена до Франкфурта-на-Майні.

Кожна плавка вставка складалася з двох мідних дротів діаметром 0,15 мм і включалася між двома спеціальними опорами в розсічення кожного дроту лінії передачі. Для зручності обслуговуючого персоналу, якому доводилося замінювати вставки, що згоріли, на опорах був влаштований майданчик, до якого вели сходи.

У Франкфурті та інших пунктах на трасі лінії були встановлені «кутові замикачі» - металеві бруси, які можна було за допомогою шнура опускати на дроти лінії. При короткому замиканні лінії, отриманому за допомогою бруса, перегорали плавкі вставки в Лауфені, турбіна з генератором, опинившись розвантаженими, розвивали велику швидкість, і машиніст, помітивши це, зупиняв генератор. Лінія знеструмлювалася, до неї включався телефон, і персонал по телефону дізнавався про причину вимкнення та час нового ввімкнення лінії.

Таким чином вимикання електричного струму відбувалося досить примітивним способом, покладеним в основу першого електричного апарату захисту від надструмів - запобіжника, про який піде мова нижче.

### 7.3 Запобіжники

Запобіжник (fuse) – це електричний апарат, який шляхом розтоплення одного або декількох спеціально спроектованих деталей розмикає коло, у якому він встановлений, відмикаючи струм, коли той перевищує задане значення впродовж обумовленого часу. Таким чином, запобіжник здійснює захист електричних мереж та обладнання від перевантажень і коротких замикань.



Здавалося б, все дуже просто, необхідно взяти тонкий дріт і підібрати його діаметр, щоб він розтоплювався при певному значенні струму. Перші виробники так і чинили, такий дріт навіть продавався у вигляді мотків.

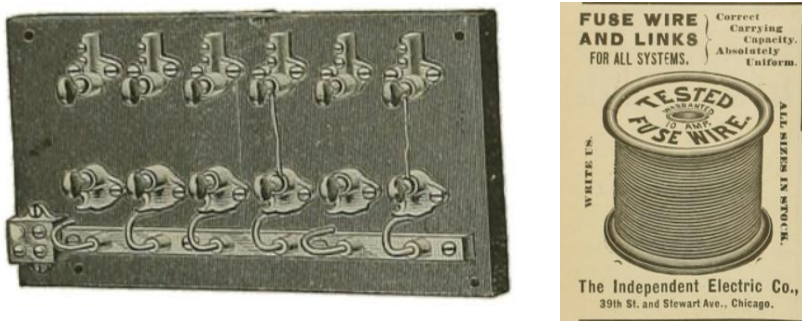


Рисунок 7.3 Запобіжники у вигляді дроту та котушка дроту для створення запобіжників.

Однак, така конструкція дає можливість змінювати діаметр дроту, що може призвести до небажаних наслідків і звести нанівець захисну функцію запобіжника. Заміну необхідно виконувати строго відповідно до рекомендацій. Крім того відкрита конструкція перших запобіжників була пожеженебезпечною, оскільки розплавлений матеріал та електрична дуга, що виникали при перегоранні дроту могли спричиняти пожежі при потягненні на легкозаймисті матеріали.

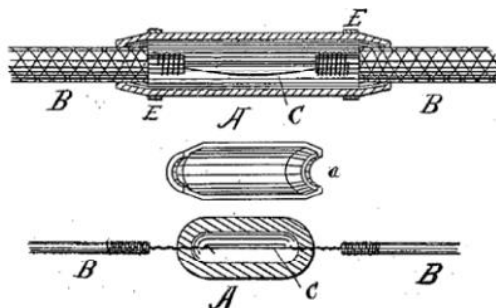


Рисунок 7.4 Зображення запобіжника з патенту №227226 Т.А. Едісона.

4 травня 1880 р. Т.А. Едісон отримав патент №227226 на винахід провідника безпеки для електричних ламп, що в сучасній термінології являє собою запобіжник в захисній оболонці з ізоляційного матеріалу.

Сама оболонка могла бути розбірною – складалася з двох половинок чи суцільною. Плавкий елемент у такому запобіжнику знаходиться у повітрі, тому цей запобіжник був небезпечним при відносно великій напрузі постійного струму – тривале горіння електричної дуги постійного струму у даному запобіжнику могло спричинити розрив його корпусу.

Дана проблема була вирішена з появою захисних оболонок запобіжників, заповнених наповнювачем – спеціальним матеріалом для гасіння електричної дуги. Перший такий запобіжник зі скляною чи іншою подібною оболонкою заповненою частково чи повністю дрібнодисперсним, що не проводить струм, не займистим, не горючим матеріалом була запатентована в 1890 році головним інженером Brush Electrical Engineering Company англійцем В. Морді. Плавка вставка такого запобіжника могла бути виконана у вигляді мідного проводу (одного або декількох) малого діаметру чи інших тонких стрічок. У якості наповнювача пропонувались: суха крейда, мармур, цегла, пісок, слюда, корунд, асбест. Найбільш ефективним наповнювачем запобіжника для практичного застосування виявився дрібнодисперсний кварцевий пісок високого ступеню чистоти, він ефективно розсіює енергію електричної дуги, охолоджує її, скорочуючи тим самим тривалість горіння дуги при спрацьовуванні запобіжника.

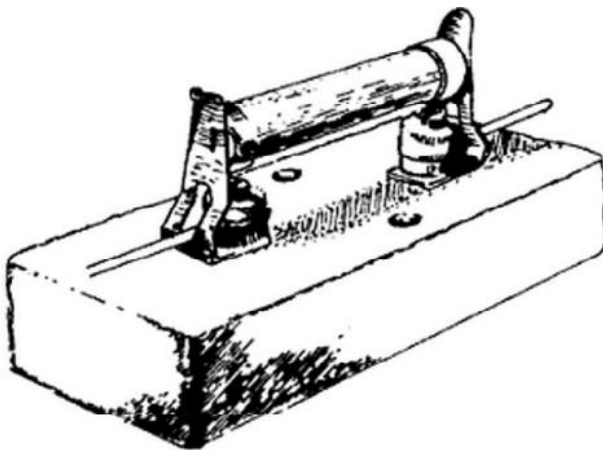


Рисунок 7.5 Запобіжник В. Морді.

У сучасному розумінні запобіжник не слід ототожнювати з частиною, що розтоплюється при надструмах або тією частиною, яку належить замінити після спрацьовування. Запобіжник містить усі частини, що утворюють єдиний пристрій (рис. 7.6).



Рисунок 7.6 Частини запобіжника ППС: 1 – ізоляційна кришка; 2 – основа (fuse-base); 3 – тримач вставки (fuse-carrier); 4 – калібрувальна деталь (gauge-piece); 5 – вставка (fuse-link). До складу вставки входить топкий елемент (fuse-element), який розтоплюється при надструмах. Тримачем запобіжника (fuse-holder) називають поєднання основи та тримача вставки.

У такій конструкції застосовано принцип розділення конструкції на дві основні частини – з'ємну і нез'ємну, та їх з'єднання за допомогою різьби. Калібрувальна деталь має різні діаметри отвору, що забезпечує невзаємозамінність вставок, тобто унеможливує встановлення вставки з більшим значенням номінального струму замість вставки з меншим струмом при якому забезпечується захист електричного кола. Завдяки таким технічним рішенням заміна плавкої вставки є безпечною і тому не потребує кваліфікованого персоналу.

В силу простоти конструкції запобіжник до цих пір має самі високі показники надійності та низьку собівартість.

Різновидів запобіжників існує величезна кількість: для захисту розподільних мереж, для захисту напівпровідникових пристроїв, для захисту кіл з електродвигунами, для захисту радіоелектронних пристроїв. Вони можуть бути як для промислового призначення, так і для побутових та аналогічних електроустановок. Діапазон номінальних струмів запобіжників від декількох міліампер (у мініатюрних та субмініатюрних запобіжниках) до більше тисячі ампер (у запобіжниках промислового призначення). Плавкі вставки випускаються на два діапазони відмикання (відмикання струмів перевантаження і короткого замикання, відмикання лише струмів короткого замикання).

Мініатюрні та субмініатюрні запобіжники зазвичай встановлюються безпосередньо на печатні плати електронних пристроїв. Запобіжники промислового, побутового та аналогічного призначення встановлюються у відповідних розподільних пристроях, виконаних у вигляді металевих шаф, щитків та ящиків.

Згідно з сучасними стандартами стосовно запобіжників після спрацювання плавкої вставки вона підлягає заміні на аналогічну по характеристиках після усунення причин аварії. Категорично забороняється використовувати "альтернативи" заміни топких вставок у вигляді перемичок чи "жучків", приклади яких наведено на рисунку нижче, так як це може привести до трагічних наслідків.

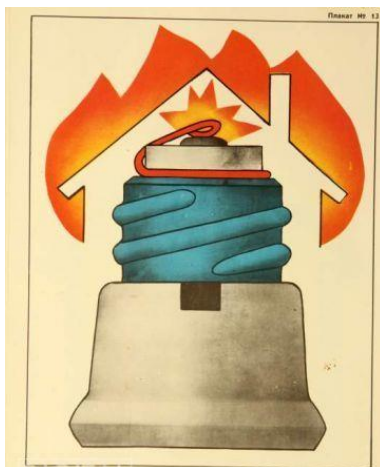


Рисунок 7.7 Категорично не припустимі заміни топких вставок запобіжників.

#### **7.4 Відмикачі для побутових та аналогічних електроустановок**

Запобіжники мають один недолік - вони одноразові. Після кожного аварійного відключення необхідно замінювати запобіжник, що спрацював, на новий. Це не завжди зручно, треба мати відповідну кваліфікацію і, зрештою, сам по собі новий запобіжник потрібного номіналу. Цю проблему може вирішити багаторазовий електричний апарат захисту від надструмів – відмикач (у англomовній літературі – circuit-breaker, у російськомовній – автоматический выключатель).

Перші згадування таких апаратів приходяться на кінець XIX століття. Практичне застосування вказаних апаратів розпочалося не початку XX століття. На рисунку нижче показаний рекламний плакат 1904 р. з зображенням відмикача для захисту генераторів та електродвигунів від струмів короткого замикання.

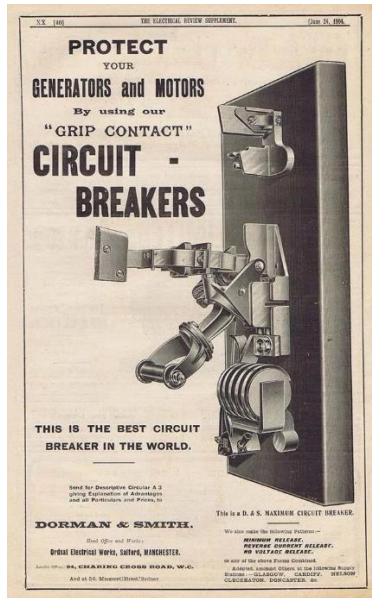


Рисунок 7.8 Рекламний плакат відмивача (1904 р.).

Захист від струмів короткого замикання виконує електромагнітний розчіплювач відмивача. При короткому замиканні необхідно як найшвидше розірвати електричне коло. Принцип дії наступний: при значному перевищенні номінального струму, що протікає через обмотку електромагніту електромагнітного розчіплювача, виникає потужне магнітне поле, яке тягне вниз якір з рухомим контактом. Якір у свою чергу натискає на важіль механізму вільного розчеплення, внаслідок чого відбувається відключення навантаження.

Захист від струмів перевантаження виконує тепловий розчіплювач. Принцип роботи даного розчіплювача полягає в наступному: коли струм, що протікає через біметалеву пластину, стає рівним або більше встановленого значення, пластина нагрівається та поступово згинається. Досягнувши певного кута вигину, вона натискає своїм кінчиком на важіль механізму вільного розчеплення. Таким чином, відмивач відмивається.

Тепловий розчіплювач, на відміну від електромагнітного, є більш повільним. Для його спрацювання потрібно більше часу, але він більш точний і легше піддається налаштуванню.

У таких відмивачах тривалий час існувала проблема гасіння електричної дуги, яка виникала при розмиканні контактів відмивача і руйнувала їх. Одним із перших винаходів дугогасних пристроїв, що

частково вирішували дану проблему стали дугогасні роги. Конструкція одного з перших відмикачів з дугогасними рогами наведена нижче.

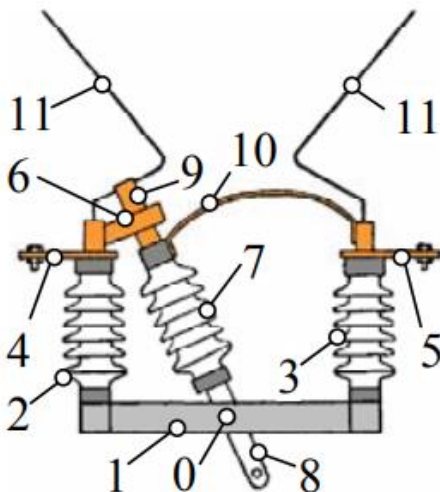


Рисунок 7.9 Один з перших відмикачів з дугогасними рогами (Фойт і Гефнер, 1902 р.): 1 – металева рама; 2, 3 – нерухомі ізолятори; 4, 5 – термінали; 6 – нерухомий контакт, з’єднаний з виводом 4; 7 – рухомий ізолятор; 8 – важіль, що обертається навкруги вісі 0; 9 – контактний ніж; 10 – гнучке контактне з’єднання; 11 – дугогасні роги. При обертанні важеля за годинниковою стрілкою контакти 9 і 6 розмикаються, між ними виникає електрична дуга, яка під дією електродинамічних сил перекидається на дугогасні роги 11, де розтягується, охолоджується й згасає.

Згаданим раніше винахідником М.О. Доліво-Добровольським в 1912 році було розроблено та запатентовано дугогасні решітки та відмикач представлені нижче. Завдяки дугогасній решітці електрична дуга розбивається на ряд послідовних коротких дуг, що суттєво підвищує падіння напруги на дузі завдяки чому вона швидше гасне. У вказаному відмикачі електрична дуга спрямовується на дугогасні роги за допомогою електродинамічних сил, створених у міжконтактному проміжку магнітним полем дугогасних котушок. Дугогасні решітки у поєднанні з дугогасними рогами дотепер застосовуються у відмикачах та інших комутаційних апаратах.

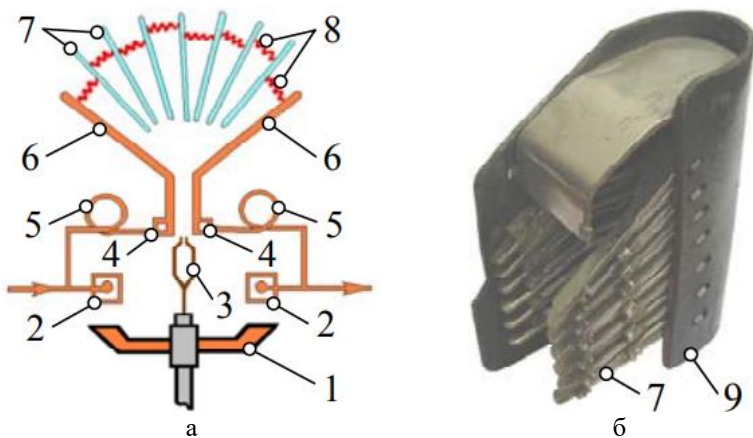


Рисунок 7.10 Дугогасні решітки в електричних апаратах: а – відмикач М.О. Доліво-Добровольського (1 – рухомий головний контакт; 2 – нерухомі головні контакти; 3 – рухомий дугогасний контакт; 4 – нерухомі дугогасні контакти; 5 – дугогасні котушки; 6 – роги; 7 – сталеві пластини дугогасної решітки; 8 – короткі дуги); б – решітчаста камера сучасного автоматичного відмикача (9 – газогенерувальна обойма).

У 1924 р. німецький винахідник Хуго Штоц запатентував відмикач у якому об'єднав тепловий і електромагнітний розчіплювачі в один апарат багаторазового використання, внаслідок чого такий апарат забезпечував захист від струмів короткого замикання та перевантажень. Через чотири роки було налагоджено його серійне виробництво яке проіснувало близько 30 років без будь-яких особливих змін у конструкції.

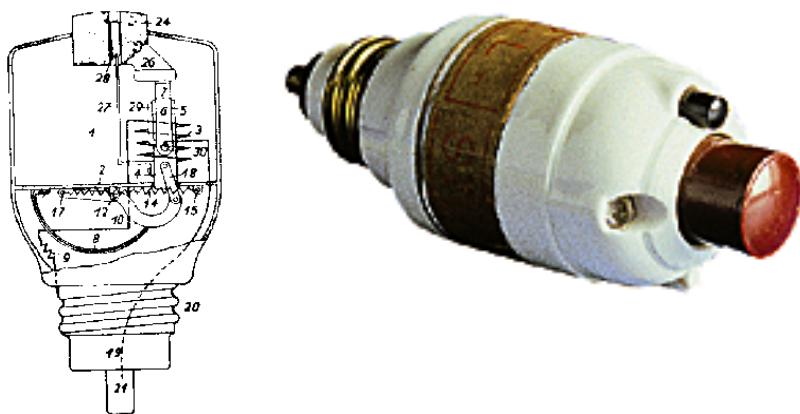


Рисунок 7.11 Відмикач Хуго Штоца.



Вказаний відмикач було розроблено таким чином, щоб він встановлювався у основу запобіжника згадану вище, з тримачем плавкої вставки, що вкручувалися в основу, тобто був фактично взаємозамінним із таким запобіжником.

У Радянському Союзі серійне виробництво аналогічних відмикачів було налагоджене значно пізніше і проіснувало аж до 90 - х років XX століття.

За час серійного виробництва відмикачів Хуго Штоца було налагоджено випуск і інших вионань цього апарату зображених нижче на рекламному плакаті.



Рисунок 7.12 Рекламний плакат з різновидами відмикачів Хуго Штоца.

Сучасні відмикачі для побутових та аналогічних електроустановок, вимоги до яких сформульовані у міжнародному стандарті ІЕС 60898-1, за призначенням, принципом дії та складовими



частинами (корпус, термінали, струмопровідна система, головні контакти, актуатор, механізм вільного розчеплення, розчіплювачі) дуже близькі до відмикачів промислового призначення. Але, враховуючи, що ці апарати розташовуються на найнижчих рівнях систем розподілення електричної енергії (у розподільних щитках квартир, офісів, невеликих майстерень тощо), їх номінальний струм не перевищує 125 А. Крім того, вони повинні мати дуже високу швидкодію (їх час спрацювання становить 3 ... 5 мс), щоб попередити спрацювання інших апаратів захисту від коротких замикань (відмикачів й запобіжників), розташованих на вищих рівнях розподільних систем. Ці апарати не призначені для захисту обладнання (електричних двигунів тощо), їх захисні характеристики пристосовані виключно для захисту електричних мереж (електропроводок) від перевантажень та коротких замикань.

Внутрішня побудова полюсу сучасного відмикача побутового та аналогічного призначення (одна з можливих конструкцій) зображена на рисунку.

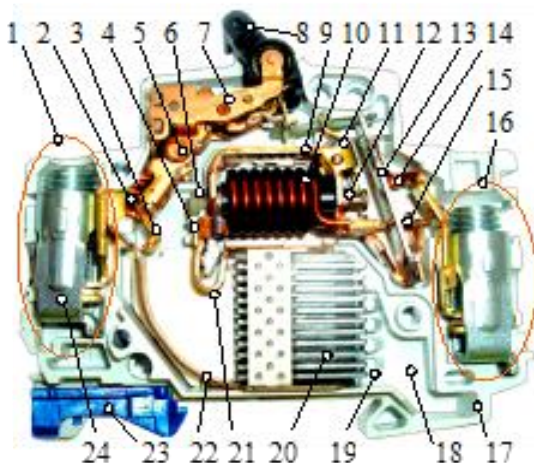


Рисунок 7.13 Внутрішня побудова полюсу сучасного відмикача побутового та аналогічного призначення.

На рисунку 7.13 позначено: 1 – термінал; 2 – гнучка шина, що з’єднує рухомий контакт з терміналом; 3 – рухомий контакт; 4 – контактна накладка нерухомого контакту; 5 – вісь обертання рухомого контакту; 6 – молоточок, який здійснює ударний вплив на рухомий контакт при потужних коротких замиканнях; 7 – механізм вільного розчеплення; 8 – актуатор; 9 – ярмо електромагнітного розчіплювача; 10 – обмотка електромагнітного розчіплювача; 11 – важіль механізму вільного розчеплення, який сприймає

вплив електромагнітного та біметалевого розчіплювачів; 12 – рухомий циліндричний сердечник електромагнітного розчіплювача; 13 – біметалевий розчіплювач; 14 – гнучка шина, що з'єднує біметалевий розчіплювач з терміналом; 15 – гвинт для калібрування біметалевого розчіплювача та вивід для випробувань; 16 – термінал; 17 – боковина пластмасового корпусу; 18 – полум'ягасна камера; 19 – полум'ягасні штирі; 20 – пластини дугогасної камери; 21 – дугогасний ріг з боку нерухомого контакту; 22 – дугогасний ріг з боку рухомого контакту; 23 – зачіпка для монтування відмикача на спеціальну монтажну рейку або DIN рейку (DIN rail); 24 – стовпчиковий затискний пристрій терміналу подвійного приєднання.

Ручне керування контактами здійснюється актуатором, який впливає на контакти через механізм вільного розчеплення (MBP) (trip-free mechanism). Автоматичне відмикання здійснюється завдяки впливу розчіплювачів на MBP, а при потужних коротких замиканнях електромагнітний розчіплювач здійснює ударний вплив на контакти, розмикаючи їх ще до моменту спрацювання MBP. Завдяки такій особливості конструкції (молоточковому ефекту – hammer effect) ці відмикачі мають високу здатність до відмикання коротких замикань, яка може перевищувати 10 кА.

Електромагнітний розчіплювач представляє собою мініатюрний електромагніт з циліндричним якорем, заглибленим в отвір струмової обмотки, з'єднаної послідовно з контактами. До якоря прикріплено шток з пластиковим молоточком на кінці, який спрямований до рухомого контакту (див. рисунок). Ефективність молоточкового ефекту ілюструють фото, отримані методом швидкісної кінозйомки при відмиканні струму короткого замикання відмикачем S201 (STOTZ KONTAKT, ABB) й представлені на рисунку 7.14.

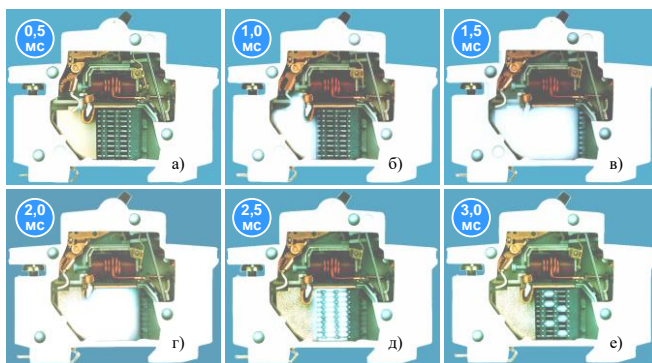


Рисунок 7.14 Стадії відмикання струму короткого замикання відмикачем S201.

Вже через 0,5 мс після початку короткого замикання (рис. 7.14 а) молоточок відштовхує рухомий контакт від нерухомого й між ними виникає коротка дуга, а ще через 0,5 мс (рис. 7.14 б) рухомий контакт відходить від нерухомого, дуга поступово розтягується, а коли контакти розходяться на повну відстань (рис. 7.14 в), дуга збігає з контактів на дугогасні роги, її опір швидко зростає, що створює умови для обмеження струму у колі. Приблизно через 1,5 мс після початку короткого замикання дуга розпочинає вхід в дугогасну камеру з решітками, простір між контактами та дугогасними рогами поступово деіонізується (рис. 7.14 г), а дуга локалізується в камері (рис. 7.14 д). Починаючи з цього моменту струм стрімко зменшується до нуля й приблизно через 3 мс після початку короткого замикання дуга остаточно згасає (рис. 7.14 е). Показово, що, хоча вивільнення механізму вільного розчеплення відбулося приблизно через 1,5 мс після початку короткого замикання (це видно з рис. в), від цього моменту й до моменту повного відмикання механізм не встиг повністю спрацювати, принаймні актуатор весь цей час лишався у положенні «відключено».

Такі відмикачі виготовляються в 1, 2, 3 та 4-ох полюсному виконаннях, що дозволяє ефективно захищати одно та трифазні мережі від надструмів.

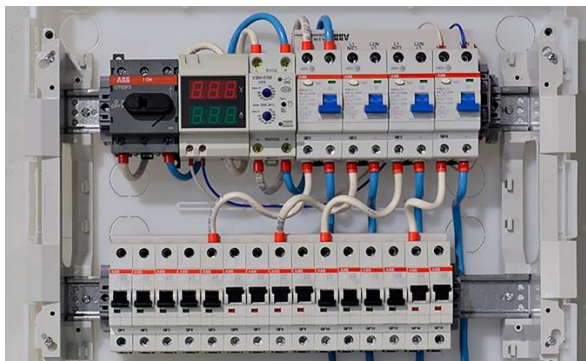


Рисунок 7.15 Розподільний щит у квартирі.

Сьогодні автоматичні відмикачі обов'язково встановлені в кожному будинку, офісі та на виробництві. Вони невпинно виконують покладені на них функції для збереження обладнання, майна, здоров'я та життя людини.

## 7.5 Експериментальна частина

Для демонстрації термічної дії струму необхідно дотримуватись правил пожежної безпеки.



Рисунок 7.16 Хід проведення демонстрації термічної дії електричного струму короткого замикання.

Також необхідно бути обережним оскільки деякі частини складових експеримента можуть мати високу температуру та призвести до опіків.

Для проведення експеримента нам знадобиться: сірники, батарейка типу «крона» та графітовий стрижень автоматичного олівця.

За допомогою графітового стрижня необхідно з'єднати контакти елемента живлення «крона» утворюючи таким чином коротке замикання. При протіканні електричного струму короткого замикання скрізь графітовий стрижень він буде нагріватись і цієї температури буде цілком достатньо для того щоб змусити спалахнути сірник.

Таким чином можна спостерігати термічну дію електричного струму короткого замикання, це явище є принципом дії такого електричного апарата, як запобіжник.

**ВАЖЛИВО!!!** Батарейка типу «крона» повинна бути лужна алкалінова для вдалого проведення досліду.

## **7.6 Висновки**

Важливість таких пристроїв як електричні апарати захисту від надструмів, а саме запобіжників та відмикачів побутового та аналогічного призначення складно переоцінити. Вони використовуються повсюдно в кожному будинку, обов'язково входять до складу кожного електронного та електричного приладу, побутової техніки та розподільних електричних мереж. Без них не можна було б уявити наше сучасне життя.

### **Перелік джерел інформації**

1. О.Н. Веселовский Юбилей электропередачи трехфазным током / О.Н. Веселовский – Электричество, 2016, 12, с. 50-53.
2. Клименко Б.В. Электричні апарати. Загальний курс: навчальний посібник (видання друге, допрацьоване та доповнене). – Харків: Вид-во «Точка», 2013. – 400 с.
3. А.М. Гречко Плавкие предохранители. Назад в будущее / А.М. Гречко // Электротехника і Електромеханіка. – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. - №6. – С. 3-7.
4. Необычная история обычного автоматического выключателя // [Електронний ресурс] – режим доступу <http://elektrik.info/main/fakty/1638-neobychnaya-istoriya-obychnogo-avtomaticheskogo-vyklyuchatelya.html>

## Розділ 8

### САЛІЦИЛОВА КИСЛОТА ТА АСПІРИН - ВІД ЧАСІВ ГІПОКРАТА ДО ЛАБОРАТОРІЇ BAYER AG

<sup>1</sup>Анан'єва Валерія Вікторівна

<sup>2</sup>Циганков Олександр Валерійович

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»

<sup>1</sup>Кафедра органічного синтезу та фармацевтичних технологій

<sup>2</sup>Кафедра органічної хімії, біохімії, лакофарбових матеріалів та покриттів

**Тема:** Саліцилова кислота та аспірин - від часів Гіппократа до лабораторії Bayer AG

#### **Мета та завдання уроку:**

- Отримання уявлень про значення органічної хімії, як базової науки для суттєвих наукових відкриттів та створенні продукції для якісного життя людини;
- Ознайомлення учнів із хімічною будовою та властивостями саліцилової кислоти та аспірину, практично доводячи приналежність речовин до певного класу органічних сполук;
- Ознайомлення учнів з лабораторною установкою для проведення синтезу ацетилсаліцилової кислоти шляхом відео-презентації (з поясненням);
- Створення мотивації до подальшого набуття теоретичних та практичних знань в області органічної хімії.

#### **Мотивація учнів до навчальної діяльності:**

Вступне слово вчителя стосовно випадкових та важливих відкриттів для людства хіміками-синтетиками (синтетичні барвники, лікарські субстанції), необхідно вивести учнів на запитання, щоб «розкачати» їх для активного проведення уроку.

Потім вчитель представляє цікаві факти з історії виникнення саліцилової кислоти та аспірину, як ефективних лікарських субстанцій, використовуючи для цього проєктор для презентації слайдів по темі питань - мінімум тексту на слайді, лише ключові слова та дати, наявність ілюстрацій по темі буде підводити учнів до уточнюючих запитань та зацікавленості.

Важливо використовувати методику «peer to peer» при проведенні уроку, щоб учні відчували себе рівноцінно із вчителем - так зацікавленість уроком кількість питань по темі значно підвищиться.

### **План уроку:**

#### **1. Обговорення організаційних моментів та правил проведення уроку**

#### **2. Вступне слово вчителя**

#### **3. Презентаційна частина уроку:**

- слайди про цікаві факти
- експериментальна частина (якісні реакції з презентацією саліцилової кислоти та ацетилсаліцилової кислоти – готові лікарські препарати)

- відео-презентація лабораторного синтезу (при необхідності)

#### **4. Домашнє завдання.**

#### **5. Висновки. Підсумки уроку.**

### **8.1 Вступне слово вчителя.**

Чи міркували ви колись над тим, що приступивши до вивчення шкільного курсу органічної хімії, кожен з вас може увійти до чергової сторінки історії великих та значущих відкриттів в області органічного синтезу? Кожен з вас, якщо забажає, може стати хіміком-синтетиком, який буде працювати над створенням лікарської речовини, що позбавить людство від смертельних хвороб, або синтезує субстанцію, використання якої значно підвищить врожайність багатьох культур та позбавить людство у майбутньому від загрози голоду.

### **8.2 Історичний екскурс**

Важливі наукові відкриття в органічній хімії часто можна було назвати «фатальною помилкою». Взагалі, випадковість для хіміків синтетиків відкривала шляхи до створення нових органічних сполук, які рятували життя, активізували розвиток текстильної промисловості, і можна сказати надавали «яскравість та насиченість» життю людини.

Ось кілька прикладів:

- у середині 19ст. молодий хімік Вільям Перкін шукав шляхи синтезу хініну (ліки від малярії, хвороби, що уносила десятки тисяч життів щорічно). В результаті одного з лабораторних експериментів у 1856 р. він отримав невеличку кількість речовини, яка забарвлювала шовк у рожево-лиловий колір. Так світ «випадково» отримав стійкий синтетичний барвник благородного пурпурового кольору.

- у 1886 році вперше, за допомогою синтезу, хіміками була отримана лікарська речовина - ацетанілід (антифебрин).

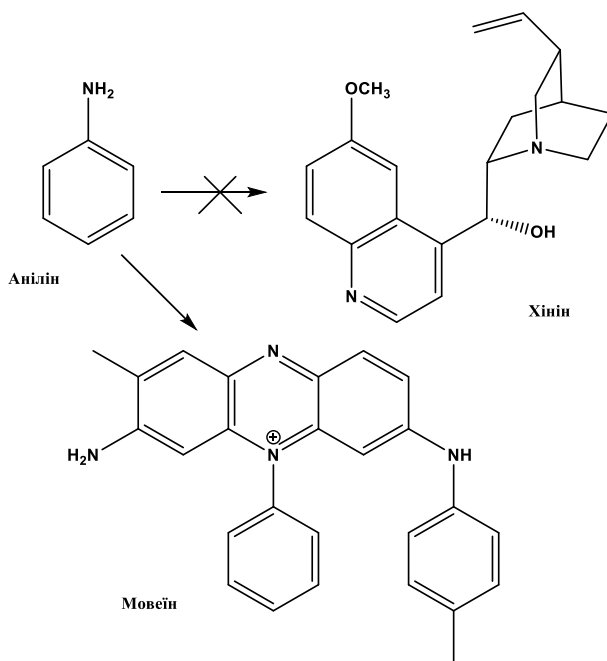


Рисунок 8.1 «Фатальна помилка» Перкіна.

Але про її справжні лікувальні властивості фармацевти дізналися також випадково! У 1893 р помилково фармацевт хворому з хронічним больовим синдромом виписав ліки, до склад яких потрапила стороння хімічна сполука - ацетанлід. На щастя, пацієнт не тільки не постраждав, а й зазначив виражене зменшення болю. Подальші дослідження ацетанліду показали, що ця речовина є досить потужним анальгетиком. Також виявилось, що навіть в помірних терапевтичних дозах використання ацетанліду призводить до важкого токсичного пошкодження печінки, Але це вже інша історія, яка призвела до створення парацетамолу - одного з найзатребуваніших лікарських препаратів у світі.

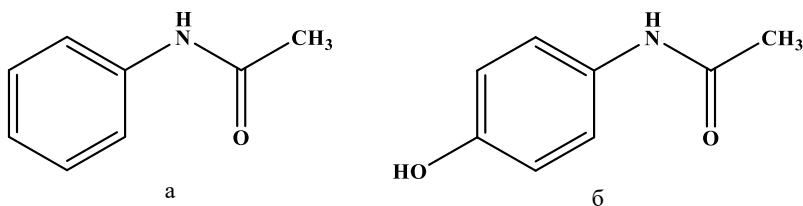


Рисунок 8.2 Структурні формули ацетанліду (а) та парацетамолу (б).



Лише ці два приклади показали нам наскільки важлива роль органічної хімії та продуктів її синтезу у житті. А скільки ще ви дізнаєтесь, якщо поринете у цей цікавий світ досліджень, експериментів та важливих для людства відкриттів!

І давайте почнемо ось з чого.

### 8.3 Презентаційна частина уроку.

Отже аспірин! Всім відомий цей препарат, кожен з вас хоч раз у житті приймав таблетку аспірина від головного або зубного болю або лихоманки. Розчини саліцилової кислоти широко використовують у медичній та косметологічній практиці. У кожній аптечці вдома є препарати ацетилсаліцилової кислоти, а в усьому світі щорічно споживається 80 000 000 000 (мільярдів) таблеток аспірину - уявіть собі цю білу гору!

Але з чого ж почалася історія виникнення аспірину як лікарського засобу?

Про цілющі властивості вербової кори людству було відомо ще три тисячі років тому. «Батько медицини», старогрецький лікар та філософ Гіппократ рекомендував відвар з кори верби при лихоманці і родових муках. Звідки їм, древнім, було знати, що вся ця рослинність лікує хвороби або значно полегшує стан хворих від того, що в ній міститься саліцилова кислота?

У 1828 році в Мюнхенському університеті виділили з кори верби активну речовину. Оскільки на латині верба - це «салікс», речовину назвали саліцин (це глюкозид саліцилового спирту). Дослідження саліцину показали наявність в цій речовині вираженої жарознижуючої і протизапальної дії.

У 1838 р італієць Рафаель Піріа розділив саліцин на дві частини, виявивши, що лікувальними властивостями володіє його кисла складова - 2-гідроксibenзойна або фенольна кислота, відома широкому загалу як саліцилова кислота.

З 1874 року саліцилову кислоту почали виробляти у промислових масштабах - нею лікували доволі широкий спектр нездужань, від ревматоїдних болей до юнацьких вугрових висипів. Молоді люди вважали за необхідним мати при собі у мішечку невеличку ємність із розчином саліцилової кислоти.

Було тільки суттєве «АЛЕ» - препарати саліцилової кислоти, при прийнятті внутрішньо викликали сильні побічні явища: болі в животі, нудоту і блювоту.

І ось уродженець Швейцарії Фелікс Хофман взяв за мету перетворити саліцилову кислоту в щось легкотравне, щоб допомогти батькові, який страждає на ревматизм і одночасно - на виразкову хворобу шлунка. Адже ефективність саліцилової кислоти у лікуванні болей рівно як

і її сильні побічні ефекти не могли не привернути увагу фармацевтів та хіміків-синтетиків.

В серпні 1897 року Хоффман-молодший в лабораторії «Bayer AG» отримав перші міліграми нової речовини - ацетилсаліцилової кислоти (ацилюванням). При збереженні всіх позитивних властивостей «саліцилки» ацетилсаліцилова кислота помітно менше ушкоджувала слизову оболонку шлунка. Клінічні випробування нового препарату вклалися в рекордні за нинішніми мірками два роки і в 1899 р в аптеки надійшов новий засіб у вигляді порошку, а з 1901 року - в таблетках, що позбавляло провізорів від необхідності витрачати час на навішування препарату.



Рисунок 8.3 Вид пакування таблеток аспірину.

*Цікаво, чому саме «ASPIRIN»? Є така версія:*

Назва повинна бути короткою, що запам'ятовується. У «Bayer» за основу взяли латинську назву рослини, з якої берлінський вчений Карл Якоб Ловіг виділяв саліцилову кислоту, - *Spīraea ulmarīa* (таволга). До кореня «spīg» зліва приставили букву «А» на честь реакції ацилювання, що дала світові новий препарат. Справа для милозвучності і в силу традиції додали «in», отримавши відомий всьому світу *Aspirin*.

Аспіріну йде друге століття, але він як і раніше залишається одним з найбільш вживаних ліків в світі: в одній тільки Америці – більше шістнадцять тисяч тонн таблеток на рік.

#### **8.4 Практична частина (можливий показ презентації з синтезу аспірину якщо неможливо відтворити роботу в умовах класу).**

А тепер власне про навчальну складову нашого уроку.

Саліцилова кислота відноситься до класу фенолокислот, похідні ароматичних вуглеводнів, в яких атоми гідрогену бензольного кільця заміщені на карбоксильні та гідроксильні групи (рис. 8.5). Фенолокислотам притаманні властивості та фенолів і карбонових кислот.

Схема отримання аспірину (ацетилсаліцилової кислоти) з саліцилової кислоти представляє собою ацилювання по фенольній групі саліцилової кислоти (см.рис.4).

Реакція ацилювання – це процес заміщення атома водню деяких функціональних груп, таких як гідроксильна, аміногрупа та інші, на залишок карбонової кислоти (R–CO)–, що мають загальну назву ацилів.

Взагалі реакція ацилювання є дуже важливою у сфері синтезу лікарських субстанцій. Велика кількість важливих фармацевтичних препаратів існує завдяки саме застосуванню ацилювання у тонкому органічному синтезі. Наприклад, рентгеноконтрастні препарати, анальгетики, протимікробні препарати тощо.

Реактиви: саліцилова кислота, зневоднена оцтова кислота, крижана оцтова кислота, етанол, 3,0% розчин хлорного заліза, вода дистильована

Обладнання: тригорла круглодонна колба 100 см<sup>3</sup> з мішалкою, термометром та зворотнім холодильником, баня водяна, пробірки, крапельниці

#### 8.4.1 Хід роботи:

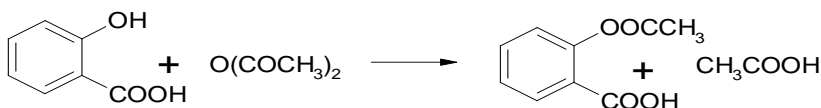


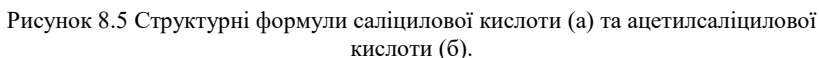
Рисунок 8.4 Схема синтезу ацетилсаліцилової кислоти.

У круглодонну тригорлу колбу об'ємом 100 см<sup>3</sup>, зі зворотним холодильником, мішалкою і термометром, поміщають 0,06 моля зневодненої оцтової кислоти і при перемішуванні невеликими порціями протягом однієї години додають 0,04 моля саліцилової кислоти. Реакційну суміш обережно нагрівають на водяній бані так, щоб температура в масі не перевищувала 85-88°C. Перегрівання реакційної маси призводить до зменшення виходу і забрудненню аспіріну побічними продуктами.

Після завантаження саліцилової кислоти продовжують розмішування при температурі 85-90°C протягом 2-2,5 годин. Нагрівання припиняють і, не виймаючи колбу з бані, дають реакційній масі охолонути до 65-70°C. При цій температурі додають 0,12 моль крижаної оцтової кислоти і при розмішуванні залишають масу охолоджуватися до кімнатної температури, при якій викристалізовується аспірин, що утворився. Його фільтрують, добре віджимають і відбирають пробу для визначення чистоти продукту.

#### 8.4.2 Якісні реакції:

Для цього потрібно відібрати у пробірки 2 проби – перша пробірка з розчином саліцилової кислоти, друга з розчином отриманої ацетилсаліцилової кислоти

$$\begin{array}{ccc}
 \text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{COO}^- & \xrightarrow{\text{FeCl}_3} & \left[ \text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{COO}^- \right]_3 \text{Fe}^{3+} \\
 \text{Салицилат-аніон} & & 
 \end{array}
 \quad (8.1)$$


Молекулярна вага 180,1 г; температура плавлення 136,5°C.

### 8.5 Домашнє завдання:

- 163

### **8.6 Висновки. Підсумки уроку.**

По закінченню уроку вчитель оголошує бонусні бали найактивнішим учням та проводить голосування «Чи зацікавила вас органічна хімія і чи хочете ви в подальшому періодично проводити уроки в такому форматі?»

#### **Перелік джерел**

1. Ю.О. Ластухін, С.А. Воронов. Органічна хімія. Підручник / Центр Європи, 2009 – 868с.
2. Ковтуненко В. О. Лікарські засоби / В.О. Ковтуненко. – К., 1997. – 464с.
3. Д.І. Дмітрієвський Технологія лікарських препаратів промислового виробництва / Д. І. Дмітрієвський, Л. І. Богуславська, Л. М. Хохлова. – Вінниця: Нова книга, 2008. – 280 с.
4. П.Л. Сенов. Фармацевтическая химия. Учебник. 3-е изд., перераб. и доп. - М: Медгиз, 1950 - 464 с.

## Розділ 9

# ПРОЦЕС ПРОМИСЛОВОЇ ПЕРЕГОНКИ НАФТИ ЯК ОСНОВНОГО ДЖЕРЕЛА МОТОРНИХ ПАЛИВ ТА СИРОВИНИ ДЛЯ ОРГАНІЧНОГО СИНТЕЗУ

*Лаврова Інна Олегівна*

*Національний технічний університет*

*«Харківський політехнічний інститут»*

*Кафедра технології переробки нафти, газу та твердого палива*

**Тема:** Процес промислової перегонки нафти як основного джерела моторних палив та сировини для органічного синтезу.

### **Мега та завдання уроку:**

- Отримання уявлень про значення нафтопереробної та хімічної промисловості для сучасного людства;
- Узагальнення та систематизація знань учнів на тему «Природні джерела вуглеводнів»; поглиблення їх уявлень про природні джерела нафтохімічної сировини;
- Ознайомлення учнів із фракційним складом нафти та асортиментом продуктів, які можна отримати з неї;
- Ознайомлення учнів з установкою лабораторної розгонки нафт або нафтопродуктів (з демонстраційним дослідом або розбором презентації);
- Створення мотивації до поглиблення знань у галузі технічної органічної хімії та основ органічного синтезу.

### **Мотивація учнів до навчальної діяльності:**

Вступне слово вчителя стосовно історичної традиції використання нафт і нафтопродуктів та соціально-економічних та технологічних підвалин нафтового буму наприкінці XIX – початку XX століття. Бажано застосовувати презентації з максимумом графічного та фотоматеріалу. Також вкрай бажано підготувати короткі виступи кількох учнів, що допоможуть вчителю перевести урок у площину живої дискусії.

### **План уроку:**

- 1. Заявлення теми, обговорення організаційних моментів та правил безпеки.**
- 2. Вступне слово вчителя**
- 3. Презентаційна частина уроку:**
  - доповіді-презентації учнів; демонстрація і обговорення колекційних зразків нафти і нафтопродуктів;

- експериментальна частина - лабораторна розгонка нафти або нафтопродуктів (можливо у вигляді відеопрезентації)

4. Домашнє завдання.

5. Висновки. Підсумки уроку.

### 9.1 Вступне слово вчителя.

*Ось моя формула успіху: вставай раніше,  
працюй більше та качай нафту.*

Пол Гетті, американський промисловець,  
один із перших доларових мільярдерів

*Наша культура базується на каві та бензині,  
причому перша за смаком вже нагадує останній.  
Едвард Еббі, американський письменник*

Епіграфом до уроку взято вислови двох видатних в своїй справі американців, і це не спроста, адже ХХ століття назвали століттям нафтового буму. Людство увійшло в ХХІ століття, однак вирішальне слово у розвитку світової економіки залишилося за цією вуглеводневою корисною копалиною, що разом з вугіллям і природним газом є основним енергоресурсом нашої цивілізації, а також безцінною сировиною для хімічної промисловості.

За твердженнями лінгвістів свою назву нафта отримала від древнього індоєвропейського слова «нафата», що означає «та, що витікає». Археологічні розкопки показали, що на березі Євфрату нафта видобувалась вже за 6–4 тис. років до н.е. Вона використовувалась для різноманітних цілей, у тому числі як ліки. Стародавні єгиптяни застосовували асфальт (окислену нафту) при бальзамуванні. Добували вони його, як повідомляє давньогрецький історик і географ Страбон, переважно біля берегів Мертвого моря. Нафтові бітуми використовувалися для виготовлення будівельних розчинів і як мастило. Нафта була складовою частиною запалювальної суміші, що увійшла в історію під назвою «грецького вогню». У народів, які населяли південне узбережжя Каспійського моря, нафта здавна застосовувалась для освітлення помешкань. Про це свідчить, зокрема, давньоримський історик Плутарх, який описав походи Олександра Македонського [1]. Була відома ця речовина також арабським вченим і алхімікам середньовічної Європи. Проте справжнім проривом у нафтопереробці стало відкриття процесу перегонки нафти, зумовлене високим попитом на одну з нафтових фракцій – газову або керосинову.

## 9.2 Історичний експурс

На початку XIX ст. у Росії, а в середині XIX ст. в Америці з нафти була видобута освітлювальна олія, названа керосином. Керосин (гас) використовувався в лампах, які були винайдені у Львові в 1853 р. Іваном Зегом та Ігнатієм Лукасевичем і швидко поширилися по всьому світу.

Вважається, що перший у світі найпростіший промисловий нафтоперегінний куб сконструювали брати Дубініни у 1821 році в Моздоку (рис.1). Їх винахід застосовували як основний промисловий метод аж до 80-х років XIX століття як у Європі, так і в Америці. Нафта в такому кубі, що є великим циліндричним казаном, нагрівалася і закипала, а пари охолоджувалися в спеціальному холодильнику і збиралися в приймачі. Таким чином вдавалося виділити гас – продукт, що широко використовується на той час для освітлення.

Власне, саме завдяки тому, що з нафти навчилися добувати гас, зробило її такою популярною. До цього для освітлення використовували китовий жир, але чисельність китів почала скорочуватися, і полювати на них ставало все складніше.

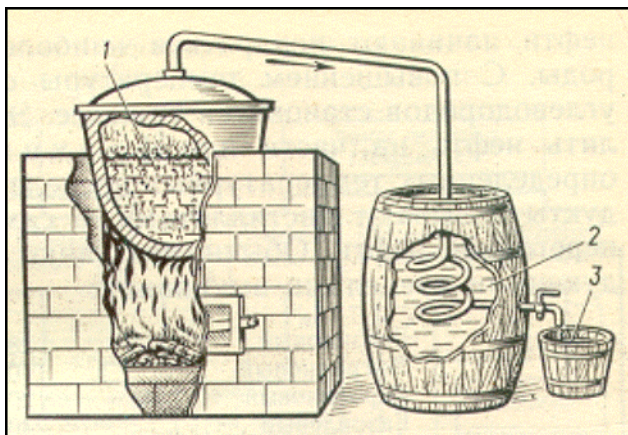


Рисунок 9.1 Типова конструкція одного з перших нафтоперегінних кубів. 1 – казан; 2 – холодильник; 3 – приймач.

Як видно з рисунку, конструкція разом з простотою та ефективністю, мала низку недоліків, головні з яких – періодичність дії, низький ступінь переробки та вибухо- та пожежна небезпечність. Спочатку використовували лише освітлювальну газову фракцію (без бензину, який вважався в ті часи шкідливою вибухонебезпечною домішкою) та мазут в якості змащувального матеріалу.



Вчитель. Познайтеся із матеріалом нової теми мені допоможуть ваші товариші, які підготували невеликі виступи про нафту. Крім цього, нас чекає лабораторний експеримент.

Учень або група №1: «Нафта - не паливо, топити можна і асигнаціями» – крилатий вислів, що належить Д.І. Менделєєву, адресований до нафтопромисловців із закликом поглиблювати глибину переробки нафти для отримання цінних нафтопродуктів.

Саме Менделєєв зробив величезний внесок у технологію нафтопереробки. За його схемою нафтоперегонні куби об'єднувалися в так звану кубову батарею і з'єднувалися між собою переточними трубами, якими нафта поступово переливалася з одного котла до наступного (рис. 9.2). Кожен котел підігрівався окремою топкою і був забезпечений холодильником та приймачем для збору фракції. Сира нафта подавалася у верхню секцію кубової батареї. У першій секції відганявся бензин, у наступній — гас, далі — мазут. Фактично це був блочний прототип сучасного колонного апарату атмосферної перегонки нафти.



Рисунок 9.2 Кубова батарея на заводі «Товариство братів Нобель» у м. Баку.

В даний час технології нафтопереробки, звичайно, суттєво відрізняються від тих, що використовувалися наприкінці XIX століття, проте саме принцип, запропонований Д.І. Менделєєвим, ліг основою сучасних методів. Перегонні куби перетворилися на значні колони ректифікації, здатні розділяти нафту на тонкі фракції, додалася стадія вакуумної перегонки. Крім цього, з'явилося безліч процесів глибшої

переробки нафти, за допомогою яких одержують цінні нафтопродукти: палива, оливи та ін.



Рисунок 9.3 Атмосферні колони сучасного нафтопереробного заводу.

Вчитель. Розглянемо, що ж таке «фракції нафти» і яким чином вони виділяються з первинної сировини.

Учень або група №2: Нафта складається з великої кількості різних вуглеводнів. Їх молекули відрізняються масою, яка, своєю чергою, визначається кількістю атомів вуглецю і водню у молекулі. Щоб отримати той чи інший нафтопродукт, потрібні речовини з певними характеристиками, тому переробка нафти на НПЗ починається з її поділу на фракції [2].

В одній фракції нафти можуть утримуватися молекули різних вуглеводнів, але властивості більшої частини їх близькі, а молекулярна маса варіюється в певних межах. Поділ фракцій відбувається шляхом перегонки нафти (дистиляції), заснованої на тому, що у різних вуглеводнів температура кипіння різниться: у легших вона нижча, у важчих — вища. На рис. 9.4 та 9.5 подано принципову схему основної атмосферної колони для фракціонування нафти та принципову блок-схему переробки нафти за паливним варіантом.

## СХЕМА ПРЯМОЇ ПЕРЕГОНКИ НАФТИ

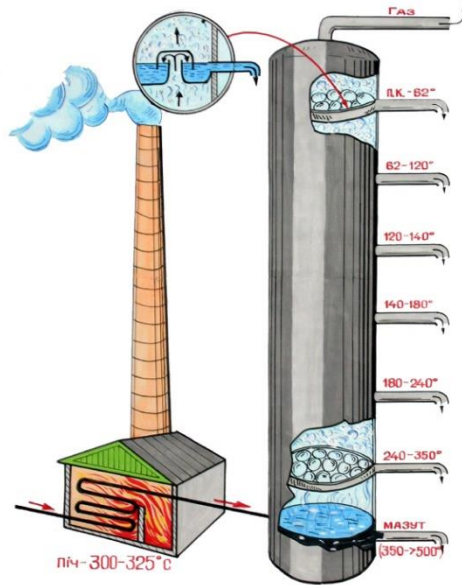


Рисунок 9.4 Принципова схема основної атмосферної колони.

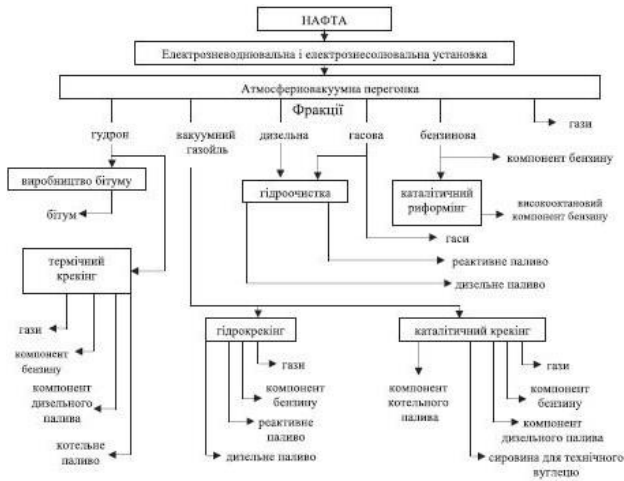


Рисунок 9.5 Принципова блок-схема переробки нафти за паливним варіантом.

### 9.3 Основні фракції, що виділяються при первинній перегонці нафти:

1. Бензинова фракція – нафтовий погон із температурою кипіння від н.к. (початку кипіння, індивідуального кожної нафти) до 150-205 °С (залежно від технологічної мети отримання авто-, авіа-, чи іншого спеціального бензину). Ця фракція є сумішшю алканів, нафтенів і ароматичних вуглеводнів. У всіх цих вуглеводнях міститься від 5 до 10 атомів.
2. Гасова фракція – нафтовий погон із температурою кипіння від 150-180 °С до 270-280 °С. У цій фракції містяться вуглеводні C<sub>10</sub>-C<sub>15</sub>. Використовується як моторне паливо (тракторний гас, компонент дизельного палива), як реактивне пальне та ін.
3. Дизельна фракція - температура кипіння від 270-280 °С до 320-350 °С. У цій фракції містяться вуглеводні C<sub>14</sub>-C<sub>20</sub>. Використовується як дизельне паливо.
4. Мазут – залишок після відгону вищеперахованих фракцій з температурою кипіння вище 320-350 °С. Мазут може використовуватися як котельне паливо, або піддаватися подальшій переробці - або перегонці при зниженому тиску (у вакуумі) з відбором масляних фракцій або широкої фракції вакуумного газойлю (у свою чергу, є сировиною для каталітичного крекінгу з метою отримання високооктанового компонента бензину) .
5. Гудрон – майже твердий залишок після відгону від мазуту масляних фракцій. З нього отримують так звані залишкові олії та бітум, з якого шляхом окислення одержують асфальт, що використовується при будівництві доріг тощо. З гудрону та інших залишків вторинного походження може бути отриманий шляхом коксування кокс, що застосовується в електродній промисловості.

*Вчитель.* А тепер наші товариші допоможуть нам розібратися – які продукти можна отримати з такої чудової сировини, як фракції нафти. Можна ввести елемент лабораторної роботи і запропонувати учням охарактеризувати за зовнішнім виглядом фізичні властивості нафтових дистилатів, представлених вчителем у колбах або склянках – рис. 9.6.)



Рисунок 9.6 Приклад оформлення зразків для демонстрації.

Учень (або група №3): Відповідно до дослідження нафтопереробних та нафтохімічних виробництв, проведеного Американським нафтовим інститутом, номенклатура нафтопродуктів, що випускаються на сучасних НПЗ, та мають індивідуальні специфікації, налічує понад 2000 найменувань [3].

Багато продуктів багатотоннажного органічного синтезу (так званого основного органічного синтезу) одержують з нафти; серед них — етилен, пропілен та інші ненасичені вуглеводні, бензол, ксилол та інші ароматичні сполуки, та багато інших сполук.

Основний органічний синтез також включає виробництво спиртів, альдегідів, органічних кислот, розчинників.

Підприємства органічного синтезу виробляють пластмаси, смоли, хімічні волокна та інше, виробництво гуми, синтетичного каучуку, шин. Вироблення штучних та синтетичних волокон потребує великої кількості сировини та матеріалів, палива, води.

Центри органічного синтезу у нашій країні - Северодонецьк, Запоріжжя, Дніпродзержинськ. Синтетичні смоли та пластмаси виробляють у Северодонецьку, Запоріжжі та Луцьку.

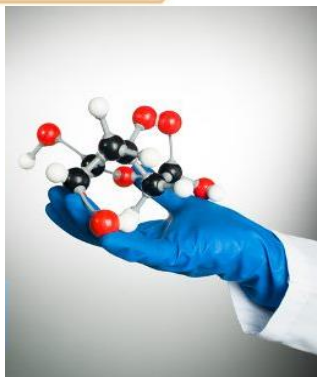


Рисунок 9.7 Продукти основного органічного синтезу.

## 9.4 Практична частина: «Визначення фракційного складу нафт або нафтопродуктів».

Поділ нафти на більш прості складові частини (фракції або дистилати) за температурою кипіння відіграє велику роль у сучасній нафтопереробці й у дослідженні фракційного, групового й індивідуального складу вуглеводневих сполук нафти і фракцій.

### 9.4.1 Методика визначення фракційного складу нафти або нафтопродуктів

Фракційний склад нафти за [4] визначають в апараті, наведеному на рис. 9.8.

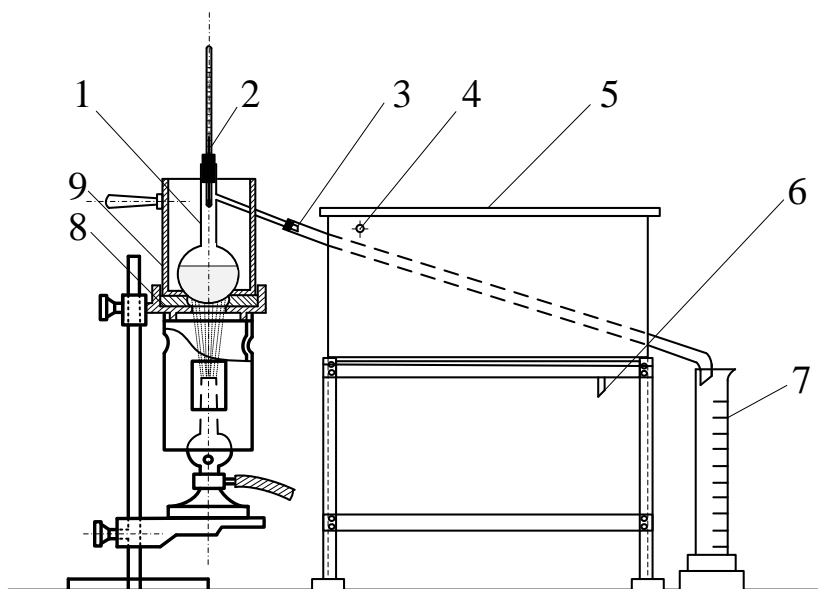


Рисунок 9.8 Апарат для визначення фракційного складу:

- 1 – колба; 2 – термометр; 3 – трубка холодильника;  
4, 6 – патрубки для введення та виведення води; 5 – ванна холодильника; 7 –  
циліндр; 8 – азбестова прокладка; 9 – кожух.

У зв'язку з тим, що нафти іноді містять воду, то перед визначенням фракційного складу її необхідно видалити відстоюванням. Якщо у такий спосіб зневоднити нафту не вдається, то її змішують з деемульгатором у герметично закупореній посудині та нагрівають до  $40\text{--}60^\circ\text{C}$ . Витримують при цій температурі 1,5–2,0 години та охолоджують до  $20^\circ\text{C}$ , не відкупорюючи посудини, щоб не втратити легкі вуглеводневі фракції. До визначення фракційного складу допускається нафта зі вмістом води не більше, ніж 0,1–0,2 %.

У чисту суху колбу 1 за допомогою мірного циліндра 7 наливають  $100\text{ см}^3$  випробовуваної нафти або нафтопродукту, що має температуру  $20\pm 3^\circ\text{C}$ . Для парафіністих нафт температура при наливанні у колбу повинна бути  $33\pm 3^\circ\text{C}$ . Потім у шийку колби вставляють на добре підігнану пробку термометр (ТН-7) 2 із шкалою від 0 до  $250^\circ\text{C}$  (для бензинової фракції) та 0 до  $360^\circ\text{C}$  (для нафти або дизельної фракції) (ГОСТ 400). При цьому вісь термометра повинна збігатися з віссю шийки колби, а верх ртутної кульки – перебувати на рівні нижнього краю відповідної трубки в місці її паяння. Протирають трубку холодильника 3 і з'єднують з нею відвідну трубку колби за допомогою пробки. Відвідна трубка колби

повинна входити в трубку холодильника на 25–40 мм і не торкатися її стінок.

При визначенні фракційного складу нафти ванну холодильника заповнюють льодом і заливають водою, підтримуючи температуру від 0 до 1 °С (для бензинової фракції) та від 0 до 5 °С (для нафти або дизельної фракції). При перегонці парафінистих нафт або дизельної фракції при досягненні температури 250°C, температуру води у холодильнику доводять до 50°C, додаючи у нього гарячу воду.

У зібраному приладі встановлюють колбу на азбестову прокладку 8 з внутрішнім фасонним отвором 40–50 мм і закривають її верхньою частиною кожуха 9. Мірний циліндр, не висушуючи, ставлять під нижній кінець трубки холодильника так, щоб трубка холодильника входила в циліндр не менш ніж на 25 мм, але не нижче мітки 100 см<sup>3</sup>. Мірний циліндр поміщають у скляну посудину з водою і, щоб він не спливав, на його ніжку кладуть вантаж. Отвір циліндра закривають ватою. Записують барометричний тиск.

Для нагрівання колби використовується газовий палик або електричний нагрівач із реостатом, що дозволяє регулювати нагрівання. Після складання приладу починають рівномірно нагрівати колбу.

Нафта або нафтопродукт випаровується, конденсується в холодильнику й надходить у мірний циліндр. Для дотримання стандартних умов розгону необхідно регулювати обігрів таким чином, щоб від початку обігріву до падіння першої краплі дистиляту в приймач пройшло не менше 5 і не більше 10 хв, а надалі інтенсивність нагрівання повинна забезпечувати рівномірну швидкість перегонки з відбором 2 – 5 см<sup>3</sup> дистиляту за 1 хв, що приблизно відповідає 20–25 краплям за 10 с. Після відгону 95% нагрівання регулюють так, щоб до кінця перегонки, тобто до вимикання нагрівання, пройшло від 3 до 5 хв.

Якщо ж нормується температура кінця кипіння, то нагрівання ведуть доти, поки ртутний стовпчик термометра не зупиниться на деякій висоті, а після цього не почне опускатися. Температуру, при якій у мірний циліндр падає перша крапля, відзначають як температуру початку кипіння.

Для визначення фракційного складу нафти температуру доводять до 300°C. При цьому відмічають температуру початку кипіння та температури, при яких рівень рідини в прийомному циліндрі відповідає певним відсоткам відгону (через кожні 10 %), або навпаки, відзначають відсотки відгону при певних нормованих температурах (наприклад, 100, 120, 150, 160°C і далі через кожні 20°C до 300°C). Якщо буде потреба, відзначають також температуру кінця кипіння.

Для бензинової фракції відмічають початок кипіння, температури виходу фракції через кожні 10% та кінець кипіння.



Запис останнього обсягу дистилляту в мірному циліндрі роблять після закінчення 5 хв від припинення нагрівання, щоб дистиллят стік з холодильника. Для встановлення відсотка залишку прилад розбирають і гарячий залишок виливають у циліндр місткістю 10 см<sup>3</sup>. Після охолодження до 20±3 °С відзначають об'єм залишку. Всі вимірювання при перегонці ведуть із точністю до 0,5 см<sup>3</sup> і до 1 °С. Різницю між 100 см<sup>3</sup> і сумою об'ємів дистилляту й залишку записують як втрати при перегонці.

Якщо перегонка ведеться при барометричному тиску вище 770 або нижче 750 мм рт. ст., то в показання термометра вводять поправку за формулою

$$C = 0,00012(760 - p) \cdot (273 + t) \quad (9.1)$$

де  $p$  – барометричний тиск під час перегонки, мм рт. ст.,  $t$  – температура, показана термометром, °С.

Поправка  $C$  додається до показань термометра при барометричному тиску нижче 750 мм рт. ст. і віднімається при барометричному тиску вище 770 мм рт. ст. Вводиться також поправка на неточність термометра відповідно до прикладеного до нього посвідчення.

Для двох паралельних розгонів допускаються такі розбіжності: для температури початку перегонки це 4 °С; для кінцевих і проміжних точок фракційного складу 2 °С и для залишку 0,2 см<sup>3</sup>.

При розгоні нафт з температурою застигання вище –5 °С швидкість подачі води в холодильник регулюють так, щоб температура води, що відходить із холодильника, при розгоні до 250 °С була в межах 30–40 °С, а після 250 °С – у межах 60–75 °С. Якщо ця умова порушується, то високоплавкі парафіни, що входять до складу нафти, яка перегоняється, можуть відкластися в трубці холодильника. В інших випадках розгін і визначення фракційного складу ведуться так, як описано вище.

Примітка: за неможливості проведення дослідів можна використати фільм або презентацію.

### 9.5 Домашнє завдання:

1. За необхідності перерахувати температурні поправки  $C$  з урахуванням барометричного тиску
2. Оформити результати лабораторної роботи в журнал.

### 9.6 Висновки. Підсумки уроку.

По закінченню уроку вчитель оголошує оцінки або бонусні бали своїм асистентам з тих груп, які брали участь у підготовці уроку і пропонує класу подумати, а може й написати коротке есе – чи може сучасне людство обійтися без вуглеводневих копалин, зокрема без нафти.

### Перелік джерел

1. <http://energetika.in.ua/ua/>
2. Баннов П.Г. Нефтепереработка : Т.1. / П.Г. Баннов. – М. : ЦНИИТ Энфтехим, 2000. – 228 с.
3. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа / С.А. Ахметов. – Уфа : Гилем, 2002. – 669 с.
4. А.Б. Григоров. Методи визначення якості нафти та нафтопродуктів : навчальний посібник / А.Б. Григоров, І.В. Сінкевич, І.О. Лаврова, О.В. Богоявленська. – Х : НТУ «ХПІ», 2015. – 146 с.

## Розділ 10

# БІОСФЕРА – НАЙВАЖЛИВІШЕ ВІДКРИТТЯ АКАДЕМІКА ВЕРНАДСЬКОГО

*Тихомирова Тетяна Сергіївна*

*Гетта Оксана Сергіївна*

*Національний технічний університет*

*«Харківський політехнічний інститут»*

*Кафедра хімічної техніки та промислової екології*

**Тема:** Біосфера – найважливіше відкриття академіка Вернадського.

### **Мета та завдання уроку:**

- освітні: отримання інформації про історичну постать академіка Вернадського, його вчення про біо-сферу та ноосферу та їх значення для прогнозування екологічних криз та явищ й створення сучасної кон-цепцій гармонійного розвитку суспільства;
- інтегральні: узагальнення знань про планету Земля та процесів, які на ній відбуваються в розрізі сучасних екологічних проблем;
- розвиваючі: набуття навичок роботи з масивом інформації для виконання практичних завдань;
- виховні: формувати культуру роботи в групі: учень-учень, учень-група, група-вчитель.

### **Мотивація учнів до навчальної діяльності:**

Цікава презентація з не відомою учням раніше інформацією, запитання, які на перший погляд не пов'язані з те-мою, учні приймають участь у дискусії та висловлюють свої власні судження, практична завдання виконуються за допо-могою пошуку інформації в мережі Інтернет.

**Особливі вимоги:** для виконання практичного завдан-ня під час уроку учні повинні мати доступ до мережі Інтер-нет на своїх смартфонах або у комп'ютерному класі школи. Якщо такої можливості нема, то під час уроку вчитель проговорює орієнтовний хід виконання практичного завдання , яке потім учні виконують як домашнє завдання та презентують на наступному уроці.

### **План уроку:**

- 1. Організаційний момент.**
- 2. Опитування домашнього завдання.**

3. Актуалізація знань. Вступне слово вчителя. Фронтальна бесіда.
4. Вивчення основних питань теми:
  - біографія академіка Вернадсько-го;
  - вчення про біосферу;
  - вчення про ноосферу;
  - стихійна лиха як помста природи
5. Закріплення матеріалу через само-стійне виконання практичних завдань.
6. Домашнє завдання.
7. Висновки. Підсумки уроку.

### 10.1 Фронтальна бесіда.

Вчитель: Розпочати наш урок я хотів б одним з законів екології Барі Комонера «Природа знає краще». Поки людство це не усвідомить, ми приречені на вимирання, як динозаври. Але хто ж перший замислився про вплив людини на природу та про планету Земля як цілісний організм? Хто сформулював наукову теорію та вплинув на всі подальші дослідження у цій сфері?

Учень: Якщо урок присвячений академіку Вернадському, напевно це саме він й зробив?

Вчитель: Так, це Володимир Іванович Вернадський, видатний вчений, який вірив у «велике майбуття й України, й Української академії наук».

Учень: а чи не його портрет зображено на купюрі у 1000 гривень?

Вчитель: Так, й це найменше, чим ми можемо віддячити академіку Вернадському. Але там намальований всім нам звичний «дідусь Вернадський», а ось яким він був у молодості.



Рисунок 10.1 Володимир Іванович Вернадський, академік.

Вчитель: Взагалі постать Володимира Івановича як науковця та культурного діяча зазнавала карколомних змін – його підносили на п’єдестал пошани у Радянські роки, знімали, знов піднімали, на початку Незалежності України ставили в один ряд з Грушевським, потім знову намагалися пересунути у кінець першої двадцятки видатних вчених. Чи не цікаво, чому? З чим пов’язане таке відношення?

Учень: Можливо, з політичних мотивів?

Вчитель: Політична діяльність Вернадського до революції 1917 року була в межах лібералізму. З моменту створення Конституційної демократичної партії і до 1918 року він був членом її центрального комітету. Кадети були однією з основних легальних політичних сил, опозиційних царському уряду, вони домагалися проведення демократичних реформ. Все це відбувалося в Санкт-Петербурзі, де працював Володимир Іванович. Він вивчав та розвивав науку біогеохімію, розуміння якої стало основою його концепції про ноосферу

Учень: тоді тому, що народився не в Україні?

Вчитель: Вернадський походив з прадавнього козацького українського роду. Його дід був нагороджений головним французьким орденом Почесного легіону за те, що перебуваючи у полоні лікував усіх поранених без винятку. Мати Вернадського теж походила зі старовинного роду Константиновичів, її предки належали до козацько-старшинської верхівки. Материн дядько, Микола Гулак був співзасновником Кирило-Мефодіївського братства. Згодом у всіх автобіографіях Володимир Вернадський підкреслював своє козацьке походження. Місце народження Володимира Івановича, я маю на увазі географічне, дійсно лежить за межами сучасної України. Але не це формувало складне та суперечливе ставлення до академіка.

Учень: Тоді чому хтось зменшує важливість Вернадського, а Ви кажете, що він зробив вагоме наукове відкриття?

Вчитель: Саме його наукові відкриття, на мій погляд, роблять постать Вернадського суперечливою для деяких науковців та істориків. Адже згідно його теорії тільки людство відповідальне за сьогоденні екологічні катастрофи, природні лиха та інші не гаразди. А нести відповідальність ніхто не хоче. Ті, хто намагається зменшити цінність відкриттів Володимира Івановича, найчастіше кажуть, що закордонні вчені не згадують його у своїх працях та на закордонних вчених він не впливав й не впливає. Але це маніпуляція. Давайте стисло розглянемо сутність вчення академіка Вернадського.

*«Людина своєю працею – і своїм свідомим ставленням до життя – змінює земну оболонку – геологічну ділянку життя, біосферу, переводячи її в новий геологічний стан. Завдяки людській праці і свідомості біосфера переходить в ноосферу», – вважав Вернадський.*

Чому іноді не Вернадського вважають засновником терміну ноосфера? У 1923 році у Парижі академік Вернадський прочитав лекцію про біосферу. Після детального вивчення матеріалів цієї лекції два вчених, французький математик та філософ Е. Ле Руа разом з його другом Тейяром де Шарденом ввели термін ноосфера, при цьому Ле Руа визначав ноосферу як сучасну стадію, що її геологічно переживає біосфера. Далі вже сам академік Вернадський використовує термін ноосфера у своїх працях.

Відповідно до оригінальної теорії Вернадського, ноосфера є третьою у послідовності таких основних фаз розвитку Землі як утворення геосфери (неживої природи) та біосфери (живої природи).

Так само, як біосфера утворюється взаємодією всіх організмів на Землі, ноосфера складається усіма розумами, що взаємодіють.

Ноосферу можна розглядати як єдність «природи» і культури (в широкому тлумаченні останньої — з техносферою включно), особливо починаючи з того моменту, коли «культура» досягає (за силою впливу на біосферу та геосферу) потужності «геологічної сили».

Учень: а що мається на увазі «потужності геологічної сили»? Це штучний землетрус?

Вчитель: прикладом потужної геологічної сили є ядерні вибухи, адже вони так, дійсно, викликають штучний землетрус. З мірних прикладів — це будівництво Суецького та Панамського каналу, які змінили географічні карти материків та водообмін між водними об'єктами. Таких перетворень все більше у світі.

Учень: ви назвали двох вчених, про яких ми до сьогодні не чули, на яких можна сказати, що вплинув Вернадський. Чи є ще хтось?

Вчитель: український вчений С. А. Подолинський, обрахувавши баланс енергії для планети Земля, показав залежність ноосфери від джерел енергії і їхній культурний вплив на формування економіки і соціуму Землі. Цим він дав поштовх і підґрунтя працям Вернадського, Ціолковського та інших космістів. Космізм в роботах Ціолковського К.Е. і Чижевського О.Л. дає нову якість розуміння і межах ноосфери. У такому розумінні ноосфера розповсюджена в пізнанні засобами телескопів до меж далеких галактик, і ми отримали інформацію про аномалії сонячної планетарної системи проти норми, що переважає у Всесвіті.

Учень: тобто без Вернадського не було б освоєння космосу?

Вчитель: Можливо й не було б. Але точно не було б радянської ядерної програми. Григорій, старший син академіка, після революції жив у США. Завдяки заступництву Молотова, офіційна влада не заважала їх інтенсивному листуванню. І це листування стало одним з тих каналів, по яких в СРСР проникли відомості про американський атомний проект.

Учень: а хіба не Вернадський зображено на купюрі не тому, що він був першим президентом Української Академії Наук?

Вчитель: Так, дійсно, саме Вернадський очолив першу вітчизняну академію наук у 1918 році. У 1921 році його навіть арештували більшовики, але згодом завдяки заступництву багатьох видатних вчених та діячів відпустили. Надалі Вернадський працював у різних радянських наукових установах. Він не був прихильником Радянської влади, але і не займався політичною боротьбою проти неї. Він не був прихильником ні капіталізму, ні соціалізму і вважав, що в майбутньому влада значною мірою повинна належати науковим діячам. Але можливо його зображення на купюрі – це взагалі визнання його таланту як поета? Адже Володимир Іванович й вірші писав. Його взагалі часто порівнюють з Михайлом Ломоносовим – настільки різностороннім вченим та людиною він був.

Учень: чому сьогодні важливо розуміти нам його концепцію ноосфери?

Вчитель: Вернадський вірив у колективний розум, у те, що людство не використає свій науковий інтелект для руйнування біосфери, бо є її частиною. Він вперше довів, що органічне життя відіграє в еволюції нашої планети першорядну роль. Зараз ми бачимо, що людина своїм втручанням у природу руйнує усю планету. Ї планета нам мстить. Адже сучасні лісові пожежі в Європі – це наслідки теплового куполу, який утворився над великими територіями з-за змін клімату. Часті, не типові повені у місцевостях, де їх раніш не було, аномальні спекотні дні та тижні – це так само наслідки глобального потепління. Розуміючи, що причина всього людство, ми можемо змінити ситуацію на краще.

## 10.2 Робота в групах:

### 1 група:

Знайти інформацію про топоніми, що пов'язані з іменем Вернадського у вашій області. Знайти установи, які носять ім'я академіка Вернадського. Нанести на карту.

### 2 група:

Проаналізувати зміну середньорічної температури за останні 100 років за будь-який місяць у вашому місті або в Києві. (для цього можна скористатися наступними ресурсами:

<http://www.pogodaiklimat.ru/climate.php>

<https://mepr.gov.ua/news/35246.html>

[http://cgo-sreznivskyi.kyiv.ua/index.php?fn=k\\_klimat&f=kyiv](http://cgo-sreznivskyi.kyiv.ua/index.php?fn=k_klimat&f=kyiv)

Побудувати графік та визначити, з огляду на економічний розвиток місцевості та світу в цілому, чи була людина причиною відхилень від норми та зростання температури (за умови, що зростання спостерігається)

### 3 група:

Знайти інформацію про термін «тепловий купол» та оцінити масштаби лісових пожеж в Європі та в Україні в останні роки. Порівняти

з попередніми роками площу, що було охоплена пожежами. Зробити висновки.

**4 група (цей тип завдання можна використати для дітей з особливим освітніми потребами у класі):**

Намалюйте ваше уявлення про сучасні відносини між суспільством (людством) та природою. Які можуть бути наслідки далі? Чи буде шкода від нашого освоєння космосу? Поясніть та аргументуйте свої малюнки.

### **10.3 Лабораторна робота «Порівняльний аналіз ходу температури»**

*Мета* – порівняти значення температури, що отримані за власними спостереженнями впродовж визначеного терміну, з офіційними даними та з минулими роками.

*Матеріали:* термометр вуличний, ПК чи мобільний телефон з виходом в мережу Інтернет

#### **10.3.1 Хід роботи:**

Визначити місце розташування термометру вуличного, навчитися визначати температуру

Обрати час для виміру температури, створити журнал спостережень та точно заносити отримані дані.

Користуючись Інтернет сервісами визначати температуру повітря в той самий час, що й за термометром

Після закінчення терміну спостережень (не менше 1 місяця) побудувати температурний графік, де відобразити три криві:

1- дані власних спостережень

2- дані погодних сервісів

3- історичні дані в аналогічний період 10 або 50 років тому назад. Якщо є формація ля вашої місцевості за різні періоди, то на графік можна нанести декілька додаткових кривих

Аналізуючи отримані данні зробити висновок про зміну (або сталість) температури та визначити причини, що впливають.

Якщо не достатньо дані за минули роки за кожен дату, то треба вирахувати середню температуру у місяці для спостережень та порівняти з історичним ходом температури.

Така лабораторна робота допоможе учням краще зрозуміти проблему зміну клімату та вплив на це людини.

Вчитель підбиває підсумок уроку, відмічає найбільш вдалі моменти у відповідях учнів, дає рекомендації.



### Перелік джерел

1. В.И. Вернадский. Ученый. Мыслитель. Гражданин. Труды ученого и литература про него из фондов Национальной библиотеки Украины имени В.И. Вернадского: Библиогр. указатель. / НАН Украины. НБУВ; Сост.: Л.В. Беляева, Л.С. Новосёлова и др.; Науч. ред. В.Ю. Омельчук. - К., 2003. - 260 с.
2. В.И. Вернадский, Научная мысль как планетное явление, Отв. ред. А. Л. Яншин, Москва, «Наука», 1991
3. Вернадский В.И. Живое вещество. М.: Наука, 1978. С. 131—134.
4. Оноприенко В. И. Подвижнический вклад в вернадоведение // Наука и науковедение. 2010. № 1. С. 132—135.
5. Вернадский В. И. «Коренные изменения неизбежны...» Дневник 1941 года // Новый мир. — 1995. — № 5.
6. В.И. Вернадский. Биосфера и ноосфера. – М.:Айрис-Пресс, 2013.

## Розділ 11

# ПРОЦЕС ПРОМИСЛОВОГО КОКСУВАННЯ ВУГІЛЛЯ – СПУСКОВИЙ ГАЧОК ПРОМИСЛОВОЇ РЕВОЛЮЦІЇ

*Лаврова Інна Олегівна*

*Національний технічний університет*

*«Харківський політехнічний інститут»*

*Кафедра технології переробки нафти, газу та твердого палива*

**Тема:** Процес промислового коксування вугілля – спусковий гачок промислової революції.

### **Мета та завдання уроку:**

- Отримання уявлень про значення коксохімії для сучасного металургійного та ливарного виробництва;
- Узагальнення та систематизація знань учнів на тему «Тверді корисні копалини»;
- Ознайомлення учнів з технічним аналізом вугілля та його роллю у визначенні придатності останнього для виробництва коксу(з демонстраційним дослідом або розбором презентації);
- Створення мотивації до поглиблення знань у галузі технічної органічної хімії.

### **Мотивація учнів до навчальної діяльності:**

Вступне слово вчителя стосовно історичної традиції використання деревного вугілля та коксу, а також про причини шаленого зростання попиту на продукцію чорної металургії на початку XX століття. Бажано застосовувати презентації з максимумом графічного та фотоматеріалу. Також вкрай бажано підготувати короткі виступи-презентації кількох учнів, що допоможуть вчителю перевести урок у площину живої дискусії. Можливо проведення як скороченого варіанту заняття – у вигляді одного або двох уроків, так і у форматі конференції або великого міжпредметного семінару (хімія, історія, економічна географія).

### **План уроку:**

- 1. Заявлення теми, обговорення організаційних моментів та правил безпеки.**
- 2. Вступне слово вчителя**
- 3. Презентаційна частина уроку:**
  - доповіді-презентації учнів; демонстрація і обговорення колекційних зразків коксівних марок вугілля і коксу різних видів;

- експериментальна частина - лабораторна робота  
«Технічний аналіз вугілля – визначення виходу летких речовин» (можливо у вигляді відеопрезентації)

4. Домашнє завдання.

5. Висновки. Підсумки уроку.

#### Вступне слово вчителя.

У системі народного господарства коксохімічне виробництво відіграє особливу роль. Воно є суміжною галуззю між металургійною промисловістю та хімічною; коксохімічне виробництво є початком металургійного циклу будь-якого меткомбінату. Основною цільовою продукцією його є кокс, який у доменному виробництві виконує функції: джерело теплової енергії; хімічний реагент; розпушувач стовпа шихтових матеріалів. Кокс одержують із вугільної шихти (це суміш різних марок коксівного вугілля) у процесі коксування.

Коксування – це процес нагрівання вугільної шихти без доступу повітря до  $1000^{\circ}\text{C}$ . У процесі коксування одержують хімічні продукти: коксовий газ; смола; аміак; бензол; нафталін та інших. Всі ці продукти переробляються на підприємства хімічної промисловості, їх отримують товари промислового і побутового призначення.



а



б

Рисунок 11.1 Так званий «деревний» кокс або деревне вугілля(а) та кокс кам'яновугільний (б).

### 11.1 Історичний екскурс

Кокс – це залишок, який виходить під час нагрівання без доступу повітря будь-якого органічного матеріалу. Нагріли дерево до температур 500 – 700°C градусів у закритій реторті – отримали деревний кокс, або як його спочатку назвали – деревне вугілля. А якщо нагріти вугілля, теж без доступу повітря до температури 1000°C – вийде кам'яновугільний кокс.

Чому кам'яновугільний кокс у металургії витіснив деревне вугілля? Користуючись деревним вугіллям, неможливо було задовольнити потреби в металі. По-перше, це обернуло б земну кулю в безлісну пустелю. По-друге, деревне вугілля мало міцну. Для виробництва великої кількості металу потрібно було будувати доменні печі великих розмірів. Чим вище доменна піч, тим більше стовп руди, флюсів, вугілля, тим більше навантаження посідає вугілля. Не витримуючи навантаження, вугілля кришиться. Вугільний пил, що утворився при цьому, набивається між шматками руди. Гази що неспроможні подолати опір стовпа шихти, плавка сповільнюється, або навіть припиняється повністю. Крихкість, недостатня міцність деревного вугілля не дозволяла споруджувати великі домни. Для цього потрібен був міцніший вуглецевий матеріал.

Все це не означає, природно, що неминуча перемога кам'яновугільного коксу виявилася простою та легкою. Шлях коксу до домених печей виявився довжиною майже двісті років.

І кам'яне вугілля, і кокс, що отримується з нього, містять чимало домішок, яких немає в деревному вугіллі. Так, у деревному куті практично немає сірки, а в кам'яному вугіллі її чимало. Навіть у малосірчистому вугіллі, що видобувається в Кузнецькому кам'яновугільному басейні (Кузбасі), міститься до одного відсотка сірки. У вугіллі Донецького вугільного басейну її втричі більше, а з шахт Кизелівського басейну в Пермській області, де видобували коксівне вугілля у XIX – XX ст. сірки 3 - 5%. Сірка з коксу потрапляє до чавуну, а з нього до сталі. Чим більше сірки в сталі, тим гірше вона працює за високих температур. Саме домішки сірки роблять метал ламким у нагрітому стані (прокатка, штампування). Це і називається «червоноламкістю».

Стандарти встановлюють дуже жорсткі норми вмісту сірки в сталях і обмежують застосування сталі, в якій багато сірки. Звичайно, сірку коксу можна зв'язати у шлаки. Але це означає, що в домну треба подати додаткову кількість флюсів, переважно вапняку і доломіту. Щоб їх нагріти, розплавити шлак, потрібно подавати додаткові тонни коксу, при цьому зменшується продуктивність доменної печі.

Після згоряння деревного вугілля залишаються лише десятки частки відсотка золи. А зольність кам'яного вугілля і тим більше коксу набагато вища. У середньому зольність металургійного коксу, отриманого з кам'яного вугілля, становить 10–12%. Зола є баластом, і її перетворюють на

плавкий шлак. А для цього в доменну піч треба додавати додатково флюси, переважно вапняки і доломіти, а значить витратити більше тепла на плавлення шлаку.

Вчитель. Що ж таке кокс і яка історія його виробництва?

Учень або група №1: Що таке кокс? Порівняємо кам'яне вугілля та отриманий з нього кокс. Вугілля – речовина чорного кольору. У ньому помітні блискучі та матові прошарки. Кокс – сіро-сталевого кольору, щільний, оплавлений, набагато міцніший за вугілля. Вугілля горить полум'ям, що коптить, а кокс дає рожево-блакитне полум'я без слідів кіптяви. Відрізняються вони і за хімічним складом.

*Бажано додати елемент практичної роботи ( демонстрація і обговорення колекційних зразків коксівних марок вугілля і коксу різних видів)*

## 11.2 Кокс

Кокс – точніше його горюча маса – майже чистий вуглець. У вугіллі, навпаки, міститься багато водню і кисню. Отримують кокс шляхом нагрівання кам'яного вугілля без повітря. При цьому розкладається речовина вугілля, виділяються газоподібні продукти розпаду [1].

Як паливо вугілля відоме людству понад 25 століть. Ще учень Аристотеля Теофраст у книзі «Історія каменю» порівнював кам'яне та деревне вугілля і вказував на можливість застосування кам'яного вугілля для виплавки металів.

У Європі видобуток вугілля як палива вівся вже римлянами на території Британії. Є відомості, що понад дві тисячі років тому у Китаї, в провінції Юннань, виробляли кокс. Письмові джерела вказують на підземний видобуток вугілля у XII ст. на території Бельгії та Моравії (тодішньої Чехії). З XIII ст. всюди у Європі до самісінького Уралу відома практика застосування кам'яного вугілля у ковальських горнах. Ці сорти вугілля і нині у Європі називають ковальськими. Без них не було б відомих у всьому світі варяжських мечей – каролінгів.

Перші патенти з коксування вугілля відносяться до кінця XVII ст. Піонерами у цій справі стали англійці і не дарма.

Для отримання деревного вугілля у XV-XVI ст. на англійських островах було спалено стільки лісів, що над ними нависла загроза повного винищення. Адже чимало деревини потрібно і для будівництва будинків, кораблів, мостів. Було тут, чому забити на сполох. Нагадаємо, що у 1558 р. королева Єлизавета I видала указ, який забороняв на більшій частині території Англії використовувати ліс для випалювання деревного вугілля. Але, мабуть, металурги примудрилися порушувати королівський наказ, тому через чверть століття з'явився новий державний указ, згідно з яким у ряді графств взагалі не дозволялося займатися випалкою заліза. У

наступні роки ця заборона поширилася майже на всі райони Англії. Доменні печі, що остигли, «мерзнули» без живлющого палива — виплавка чавуну в країні різко впала. Залізо доводилося ввозити із Росії, Швеції та інших країн.

До цього часу кам'яне вугілля, що виділяло при згорянні більше тепла, ніж деревне, вже встигло здобути репутацію відмінного палива, але не для доменних печей. Усі спроби виплавити чавун на кам'яному вугіллі закінчувалися невдачею: метал містив шкідливі домішки — сірку та фосфор, витрата палива була дуже великою.

Мабуть, одним із перших, кому безперечно вдалося досягти успіху, був молодий англійський металург Дод Додлей, який володів кількома залізобірними заводами. У 1619 р. Додлей отримав королівський патент, що свідчив про те, що його власник «відкрив після довгих праць і багатьох дорогих дослідів секрет, спосіб і засоби виплавки залізної руди та виробництва з неї чавунного лиття або брусків шляхом застосування кам'яного вугілля в печах з хутрами». Причому результати вийшли такої ж гарної якості, як і ті, що досі вироблялися за допомогою деревного вугілля, - винахід, ще ніким досі не досконале в нашому англійському королівстві ...».

Проте лише в 1735 р., тобто через 116 років після видачі патенту Додлею, доменний процес був вперше здійснений повністю на коксі, отриманому з кам'яного вугілля паливі, без якого немислимі сьогодні ні доменна плавка, ні низка інших металургійних процесів.

Винахід коксування - важлива подія в історії техніки, пов'язана з ім'ям англійського залізопромисловця Абрахама Дербі-сина. Сімейний клан Дербі володів залізобірним заводом у Колбрукдейлі. Досліди щодо перетворення кам'яного вугілля на кокс та використання його при виплавці чавуну почав проводити ще родоначальник династії - Абрахам Дербі-батько, але до кінця вирішити проблему йому не вдалося.

Кам'яновугільний кокс отримували як і деревний – коксуванням у купках різних видів вугілля, коли тепло виділялося за рахунок спалювання тирси та угару від згорання деякої частини вугільної загрузки, але придатного для доменної плавки матеріалу отримати не вдавалося.

Зазвичай купа мала висоту 1,5-2 м, діаметр 3 м і вміщала 10-30 т вугілля (Рис.11.2). Тривалість коксування становила 6-8 діб. Вихід коксу не перевищував 65% від маси вугілля, оскільки частина вугілля та коксу згоряла для забезпечення нагріву та через неминуче надходження в купу повітря.

Крім круглих куп коксування іноді здійснювали в "довгих купках" або "хребтах". Такі купи не мали цегляних труб, канали для газів організовували шляхом спеціального укладання вугілля; запалювання проводилося зверху, і коксування йшло відповідно зверху до низу.

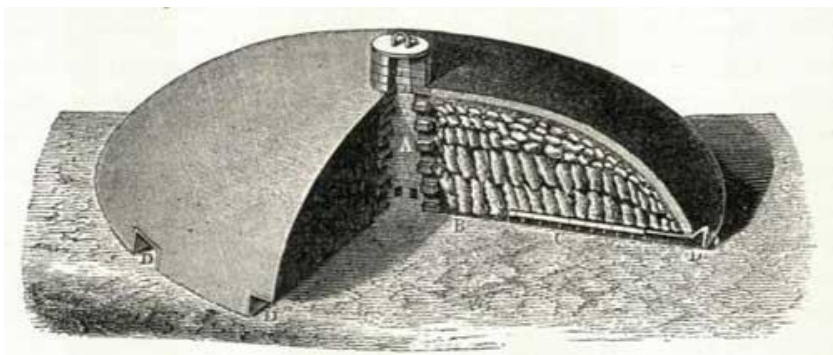


Рисунок 11.2 Коксування у купак ( з англійської гравюри XVII століття).

Роботу Дербі продовжив його син, який чудово розумів значення переводу доменної плавки на мінеральне паливо. Однак отримати кокс, що відповідає всім вимогам, виявилось надзвичайно складно. На експерименти, що проводилися один за одним, знадобився не один рік. Коли ж бажаний кокс, нарешті, був отриманий, його одразу завантажили в доменну піч.

За сімейним переказом, Дербі-молодший цілодобово, не знаючи сну, чергував біля печі в очікуванні результатів плавки. Минуло кілька днів, сповнених хвилюванням і тривогою, надіями та розчаруваннями. Лише на шостий день, надовечір, домна дала чудовий чавун. І тут же біля печі щасливий винахідник заснув мертвим сном. Так і віднесли його додому.

Наприкінці XVIII століття майже всі доменні печі Англії працювали на кам'яновугільному коксі. Однак перехід на паливо із значно більшою теплоотою згоряння зажадав збільшити кількість повітряного дуття, що подається в піч. Водяне колесо вже не могло впоратися із таким завданням — на зміну йому прийшла парова машина.

Вчитель. Давайте розглянемо більш детально сучасний доменний процес, його особливості, історичну перспективу та хімізм перетворень, що відбуваються з рудою в доменній печі.

Учень або група №2: Історичні періоди розвитку суспільства позначені назвами основного матеріалу, який воно застосувало для вироблення засобів праці і предметів ужитку: кам'яний, мідний, бронзовий і залізний віки. Останній охоплює і наш час, оскільки *залізо і сьогодні є найпоширенішим штучно вилученим з природи конструкційним матеріалом - фундаментом сучасної цивілізації.* За вмістом хімічних елементів у земній корі залізо (у хімічних сполуках) на четвертому місці (близько 5 %), поступаючись лише кисню, кремнію й алюмінію. За своїми

властивостями воно задовольняє широкий спектр технічних вимог: може бути пластичним і піддатливим для оброблення тиском, пружним або таким твердим, що може різати інші метали.

Незважаючи на широке застосування в сучасній техніці алюмінію і нових сплавів на основі титану, цирконію, магнію та ін., значення заліза в народному господарстві не зменшується. Щорічне виробництво сталі у світі становить понад 700 млн т. У наш час використання металів в основному визначає рівень технічного розвитку країни. Основною продукцією чорної металургії є чавун, сталь.

*Чавуни*-- сплави заліза з вуглецем, які містять більше 2% С. Крім вуглецю, чавун завжди містить до 4% Si, до 2% Mn, P, S та інші елементи. Близько 80% всієї кількості виплавленого чавуну становить переробний чавун, який є вихідною сировиною для виробництва сталі.

*Сталі* - це залізовуглецеві (вміст вуглецю до 2 %) сплави з добавками легуючих елементів, таких як Cr, W, Co, V та ін., що надають їм цінних техніко-економічних властивостей. Сучасна металургія включає в себе такі процеси, як добування і підготовку руд до переробки (подрібнення, збагачення та ін.); виділення (відновлення) металів із руд, рафінування (очищення) металів, одержання та виплавка сплавів, оброблення металів і сплавів з метою надання їм кращих властивостей. Для відновлення металів із руд (переважно з оксидів) використовують більш активні до кисню хімічні елементи, а в деяких процесах — електричний струм та інші методи.

Вихідними матеріалами для доменного виробництва є залізна руда, флюси, паливо (кокс) і повітря. *Залізна руда* — це гірська порода, яка містить залізо в таких мінералах і кількостях, за яких її технічно та економічно доцільно переробляти [2]. *Основним видом відновлювача і водночас палива при виплавленні чавуну в доменних печах є кокс*. Як ми вже казали, кокс виробляють у спеціальних коксових батареях при 1000 - 1100°C без доступу повітря з деяких сортів кам'яного вугілля, що мають назву коксівних. Пориста маса коксу при спіканні розтріскується і розпадається на куски. Суміш газів, що виділяються, направляються в хімічний цех, де вони підлягають поділу за хімічним складом. З них виділяють такі цінні хімічні продукти, як аміак, бензол, фенол та інші, а коксовий газ використовують як паливо. Середня теплота згоряння коксу складає близько 30 MJ/kg. Виплавку чавуну здійснюють у домнах (піч шахтного типу). Верхня половина домни називається шахтою, верхній отвір — колошником, найширша частина — розпаром, нижня — горном, де накопичується розплавлений метал (чавун). Сучасні доменні печі мають загальну висоту до 80 м, корисний об'єм (об'єм робочого простору) від 3000 до 9000 м<sup>3</sup>. Продуктивність доменної печі від 6000 до 10 000 т чавуну за добу. Домна — це найбільший сучасний технологічний апарат



(рис. 11.4). Доменна піч працює за принципом зустрічних потоків: шихта (руда, агломерат, флюс, кокс) завантажується зверху і рухається згори вниз, а теплові потоки і газ, які утворились під час згоряння палива, — назустріч, тобто знизу вгору. Характер фізико-хімічних процесів, які відбуваються в різних зонах домни, залежить від температури (рис. 11.3).

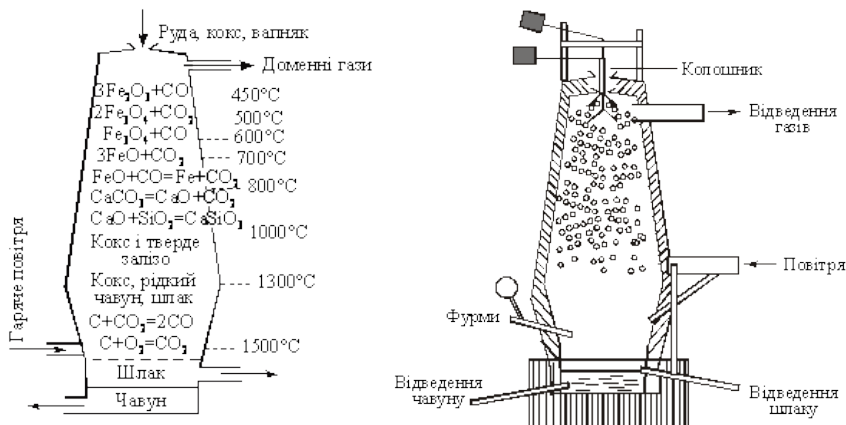


Рисунок 11.3 Схема конструкції та процеси, що протікають в доменній печі по висоті в залежності від температурних умов процесу.

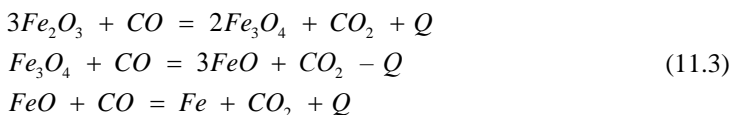
При завантаженні на колошник сирі матеріали попадають у область низьких температур 200 - 300°C. У міру опускання матеріалів температура росте, досягає максимуму 1900 - 2100°C на рівні фурм, через які вдувається повітря, й у горні знижується до 1450°C. На рівні фурм розжарений кокс реагує з нагрітим повітрям з виділенням тепла:



Діоксид вуглецю, що утворився, за умов недостатності кисню (з повітря) реагує знову з коксом, відновлюється до монооксиду вуглецю. Ця реакція йде з поглинанням теплоти:



Піднімаючись угору, монооксид вуглецю (CO) вступає у взаємодію з оксидами заліза і відновлює їх послідовно від вищих оксидів до нижчих і далі до повного відновлення заліза.



Вище в доменній печі за нижчої температури газом CO відновлюється понад 60% заліза. Після завершення процесу відновлення за температури 1300—1400°C залізо перебуває у твердому стані і має вигляд губчастої маси ( $T_{пл.}(Fe) = 1539^\circ C$ ), але, опускаючись униз шахти, розплавляється і поступово насичується вуглецем. Утворений сплав (чавун) стікає у горн. Одночасно з відновленням і науглецюванням заліза відбувається відновлення оксидів кремнію, фосфору, марганцю. Пуста порода, вапняк і кокс, опускаючись униз, потрапляють в область високих температур й утворюють рідкий шлак. Шлак накопичується у горні шаром над чавуном і періодично випускається через шлакову летку. Чавун із печі випускають у ковші-чавуновози, які перевозять його в сталеплавильні цехи, або розливають у злитки (чушки) для відправки на інші заводи.

Вчитель. Як же виглядає сучасна коксова батарея, що виробляє близько 1 млн. т коксу за рік?

Учень (або група №3): На зміну купам прийшли печі з вертикальними камерами. Проблема низької продуктивності вирішили шляхом будівництва кількох печей, які об'єднувалися в батарею із загальною системою завантаження вугілля та вивантаження коксу. Для вирішення проблеми димових газів стали практикувати влаштування збірного каналу (борову), до якого надходили гази від усіх печей батареї. Боров з'єднувався з димарем, якою і видалялися димові гази (рис.11.4).

Сучасні коксові батареї - це автономний металургійний комплекс, основним призначенням якого є виготовлення в необхідному обсязі коксу для його подальшого транспортування до доменних цехів. Дані виробничі об'єкти можуть відрізнятися за своїми габаритами між собою, але у будь-якому разі їх розміри дуже значні [3].

Облаштування коксових батарей наступне. Головними елементами цих печей є звані камери коксування. Саме в них відбувається процес завантаження сировини. Камер коксування у печі налічується не один десяток. Також найважливішими елементами батареї можна вважати опалювальні простінки, в яких протікає горіння палива. Орієнтовні лінійні розміри камери коксування такі:

- Довжина – від 12 до 16 метрів.
- Висота – 4-5 метрів.
- Ширина – 400-450 мм.



а



б

Рисунок 11.4 Одна з перших батарей (а) і сучасна батарея – «мільйонка» (б).

Сама ж піч для виробництва коксу у загальному вигляді має у своєму складі:

- Камера для завантаження вугільної шихти.
- Обігрівальний простінок із системою опалювальних каналів.
- Систему газорозподілу та повітропідведення.
- Регенератор для підігріву повітря та виведення відпрацьованих газів.

- Запірну арматуру та механізми.

Процес виробництва здійснюється у кілька етапів:

- Весь процес починається із завантаження шихти в камеру печі та подальшого розрівнювання матеріалу за допомогою штанги. Для того щоб уникнути задимлення атмосфери при відкритті камери в момент завантаження матеріалу всередині печі, створюється розрядження шляхом інжекції пари або газу. Крім того, можна використовувати спеціальну систему відсмоктування газу із камери.
- Далі протікає процес коксування шихти. Протягом цього часу матеріал піддається всім необхідним впливам, які призводять до його перетворення на кокс та коксовий газ. Також на цьому етапі виділяють продуктивність печі, яка визначається часом, необхідним для

отримання готового коксу з моменту закінчення завантаження шихти всередину.

- Вивантаження готової продукції, тобто коксу або, як його ще називають, коксового "пирога" здійснюється у гасильний вагон. Для цієї операції використовується автоматичний коксовиштовхувач. Схематично конструкція батареї наведена на рис. 11.5.



а



б

Рисунок 11.5 Схема коксової батареї (а) та обслуговування печей (б).

Вчитель. А тепер наші товариші допоможуть нам розібратися – які продукти можна отримати на коксохімічному підприємстві, крім коксу.

Учень (або група №4): Зі зростанням світової промисловості збільшувалися масштаби коксохімічного виробництва. Вже на початку 20 - х років XX ст. кількість вугілля, що коксується у світі за рік, перевищувала сто мільйонів тонн. Хімічні продукти коксування стали єдиною сировиною для більшості галузей хімічної промисловості (рис. 11.5).

Один на персонажів книги «Гіперболоїд інженера Гаріна» мультимільйонер Роллінг висловлює припущення про те, що "світ був створений Богом із кам'яновугільної смоли та невеликої кількості кухонної солі". Вислів досить ексцентричний, проте він відображає роль вугілля, коксу, та продуктів їх переробки у промисловості і житті людини.

Низка хімічних продуктів коксування кам'яного вугілля (бензол, нафталін, феноли, інден-кумаронові смоли та інші), поряд з продуктами переробки нафти та природного газу, знаходить широке застосування у виробництві пластичних мас, хімічних волокон, барвників, вибухівки, фармпрепаратів та інших синтетичних матеріалів. Водночас споживання в хімічній промисловості багатьох інших продуктів переробки сирого бензолу, кам'яновугільної смоли та коксового газу дуже обмежене і не вичерпує ресурсів коксохімії.

### **Продукти переробки кам'яного вугілля**



Рисунок 11.6 Продукти коксохімічної промисловості.

Таблиця 11.1 – Основні хімічні продукти коксування, що є сировиною для хімпрому.

	<p><b><u>Бензол сирий кам'яновугільний</u></b></p> <p>Рідина з характерним запахом, що отримується з коксового газу. Являє собою суміш бензолу та його гомологів, а також домішок у вигляді парафінових та нафтових вуглеводнів, ненасичених сполук, сіро-азот- та кисневмісних сполук. Сирий бензол є сумішшю декількох хімічних речовин, при переробці якої одержують чистий бензол, толуол, ксилол та ін. Ці продукти застосовуються як сировина для виробництва барвників, лікарських та вибухових речовин, а також можуть бути використані як складові світлого моторного палива.</p>
	<p><b><u>Сульфат амонію</u></b></p> <p>Амонійна сіль сірчаної кислоти у вигляді прозорих безбарвних кристалів (або білий порошок) без запаху. Це хімічно нейтральна кристалічна сіль білого кольору, добре розчинна у воді. При тривалому зберіганні не злежується та зберігає сипкість. Використовується переважно у сільськогосподарському призначенні</p>
	<p><b><u>Кам'яновугільна смола</u></b></p> <p>В'язка чорна рідина з характерним фенольним запахом. Є сумішшю великої кількості сполук. Кам'яновугільна смола утворюється у процесі виробництва металургійного коксу та знаходить застосування у хімічній промисловості.</p>

### 11.3 Практична частина: Технічний аналіз. Леткі речовини вугілля і методика визначення їх виходу

Тверде паливо складається із горючої або органічної маси і баласту, до якого відносяться волога і мінеральні речовини, які після спалювання палива дають золу. Органічна маса палива - дуже складний по складу продукт глибокого перетворення рослинного матеріалу, який включає вуглець, водень, кисень, азот і сірку. Одною із найбільш важливих характеристик твердого палива є вихід із нього *летких речовин* і характер нелеткого залишку. У склад мінеральних домішок входять головним чином карбонати, силікати, фосфати, сульфіді і сульфати заліза, кальцію, алюмінію, калію, натрію, а також деякі інші хімічні сполуки різних елементів.

*Технічний аналіз твердого палива разом з даними елементарного аналізу дає першу приблизну уяву про його склад і технічні цінності.* Як правило, технічний аналіз зводиться до визначення вологості  $W$ , зольності  $A$ , виходу летких речовин  $V$ , вмісту сірки  $S$  і теплотворної здатності  $Q$ . Одержані дані відносяться до певного стану палива: робочого, повітряного або абсолютно сухого. Робочим називається таке паливо, яке не піддавалося підсушці. Дані технічного аналізу віднесені до такого палива, позначаються  $W^p$ ,  $A^p$ ,  $V^p$  і т.д.

Повітряно-сухим називається паливо, яке одержується в результаті підсушки лабораторної проби за 70-75 °С в сушильній шафі, а потім при кімнатній температурі на повітрі. У цьому випадку вологість палива буде визначатися його гігроскопічністю. Дані технічного аналізу при цьому означаються  $W^d$ ,  $A^d$ ,  $V^d$  т.д.

Абсолютно-сухим називається паливо, яке одержується в результаті підсушки лабораторної проби за 105 °С до постійної маси. Зольність і кількість летких розраховані на абсолютно сухе паливо, позначається відповідно,  $A^c$ ,  $V^c$ .

В деяких випадках кількість летких речовин відносять до органічної маси палива (горюча частина палива) і позначають через  $V^l$ .

У даній роботі слід ознайомитися зі стандартним методом визначення виходу летких речовин у паливі, які здійснюються з попередньо підготовленими середніми пробами твердого палива. Всі аналізи проводяться з двома наважками.

#### Реактиви та обладнання

1. Фарфоровий тигель,
2. муфельна піч,
3. аналітичні ваги,
4. ексікатор,
5. кам'яне вугілля, подрібнене до класу 3-0 мм.

### 11.3.1 Методика проведення лабораторної роботи

Леткими речовинами називаються паро- і газоподібні продукти, які утворюються при нагріванні палива без доступу повітря. Вихід летких речовин в значній мірі залежить від умов, при яких проводять визначення. Велике значення має температура, швидкість нагрівання, розмір кусків палива, конструктивне оформлення процесу термічного розкладу досліджуваного палива і т.п. Тому вихід летких повинен визначатися в строго визначених умовах. Вихід летких ( $V$ ) для різних видів палива коливається в широких межах (від 6 до 50 % і навіть вище).

Суть методу визначення виходу летких речовин у вугіллі і відходах його збагачення полягає в нагріванні наважки палива у фарфоровому тиглі при  $850 \pm 25^\circ\text{C}$  на протязі 7 хв. з наступним встановленням втрати в масі. Наважку вугілля в 1 г з відомою вологістю ( $W^a$  прийняти значення 1%) зважують з точністю до  $\pm 0,01$  г у фарфоровому тиглі висотою 40 мм і діаметром 30 мм. Тигель з наважкою ставлять електричну піч таким чином, щоб дно його розміщалося від поду печі на 10-20 мм. Для цього користуються жаротривкою підставкою, в найпростішому випадку виготовленою із фарфорової трубки, або підвішують тигель на кільці із вогнетривкого дроту, прикріпленого до кришки шахтної або муфельної печі.

Піч попередньо розігрівають до  $850 \pm 25^\circ\text{C}$ . Коливання температури печі на протязі останніх 4 хвилин нагрівання не повинно перевищувати  $\pm 25^\circ\text{C}$  (в іншому випадку дослідження повторюють).

Перед тим, як ставити в піч, тигель закривають кришкою, яка не перешкоджає виходу летких із тигля, так як лежить на ньому вільно. Вихід летких продуктів із печі забезпечується отворами або виїмками в кришці. Для вимірювання, температури користуються термopарою, гарячий кінець якої повинен знаходитися на відстані 10-20 мм від верху печі.

Після нагрівання на протязі 7 хв. тигель, закритий кришкою, виймають із печі і охолоджують спочатку на протязі не більше 5 хв. на повітрі, потім в ексикаторі до кімнатної температури. Охолоджений тигель з вмістом в ньому твердого залишку зважують (всі зважування проводять з точністю до 0,0002 г).

Вихід летких речовин в пробі палива визначають за формулами, %

$$V^a = \frac{G_1 \cdot 100}{G} - W^a \quad (11.4)$$



(при вмісті двооксиду вуглецю карбонатів у пробі менше 2%), де  $G$  - наважка палива, г;  $G_1$  - втрата в масі тигля з наважкою палива, г;  $W^\alpha$  - вміст води в досліджуваній пробі, %.

На умовну горючу масу палива

$$V^\Gamma = V^\alpha = \frac{100}{100 - W^\alpha - A^\alpha} \quad (11.5)$$

де  $A^\alpha$  - зольність досліджуваної дробки палива, %. При розрахунку  $A^\alpha$  прийняти на рівні 8-10%,  $W^\alpha$  – на рівні 1%.

Примітка: за неможливості проведення досліду можна використати фільм або презентацію.

#### 11.4. Домашнє завдання:

1. Розрахувати вихід летких речовин в аналітичній пробі та на горючу масу.
2. Оформити результати лабораторної роботи в журнал.
3. Зробити прогноз – чи потенційно придатне досліджуване вугілля для коксування за показником виходу летких речовин (якщо цей показник на рівні від 8 до 22%, вугілля коксівне, тобто може використовуватись для виробництва коксу).

#### 11.5 Висновки. Підсумки уроку.

По закінченню уроку вчитель оголошує оцінки або бонусні бали своїм асистентам з тих груп, які брали участь у підготовці уроку і пропонує класу подумати, якщо відмовитися від вуглевидобутку та від металургійної промисловості – що буде з людством.

#### Перелік джерел

1. <http://energetika.in.ua/ua/>
2. <http://www.koks.in.ua/tradicionnoe-proizvodstvo-koksa/konstrukcii-koksovyh-pecей>
3. С.Л. Ярошевський. Ресурсозберігаючі технології металургійного виробництва на основі використання українського вугілля / С.Л. Ярошевський, А.В. Ємченко, І.В. Шульга та інші – Харків: Контраст, 2012. – 204 с.

## **Розділ 12**

### **НОВА ЕПОХА ЛЮДСТВА: ІНТЕРНЕТ ТА МЕРЕЖІ**

*Пуставойтов Павло Євгенович*  
*Національний технічний університет*  
*«Харківський політехнічний інститут»*  
*Кафедра систем інформації ім. В.О. Кравця*

**Тема:** Інтернет та мережі.

#### **Мета та завдання уроку:**

- Отримання уявлень про значення інтернету для сучасного життя;
- Узагальнення та систематизація знань учнів на тему «Інтернет та мережі»;
- Ознайомлення учнів з тематикою та його роллю для становлення суспільства;
- Створення мотивації до поглиблення знань у галузі технічної інформатики.

#### **Мотивація учнів до навчальної діяльності:**

Вступне слово вчителя стосовно історичного становлення мережі інтернет та впливу на стрімкий розвиток суспільства. Бажано застосовувати презентації з максимумом графічного та фотоматеріалу. Також вкрай бажано підготувати короткі виступи-презентації кількох учнів, що допоможуть вчителю перевести урок у площину живої дискусії. Можливо проведення як скороченого варіанту заняття – у вигляді одного або двох уроків, так і у форматі конференції або великого міждисциплінарного.

#### **План уроку:**

- 1. Історичний експурс – перші мережі.**
- 2. Архітектура мереж**
- 3. Мережеві рівні.**
- 4. Quality of Service.**
- 5. Висновки. Підсумки уроку.**

#### **12.1 Історичний експурс – перші мережі**

Перші телекомунікаційні мережі на початку XX сторіччя функціонували на базі дротових телефонних станцій. Кожний абонент станції, тобто людина чи комерційне підприємство, мав мікрофон, динамік та дріт, який було прокладено до телефонної станції. Абонент спершу зв'язувався із оператором телефонного комутатора (рис. 12.1) та називав номер іншого клієнта телефонної станції. Оператор, у свою чергу, фізично

з'єднував дроти двох абонентів, таким чином вони могли спілкуватися. Коли розмову було завершено, оператор роз'єднував дроти. Такі телефонні станції функціонували за умови близького розташування оператора та абонентів. Для дзвінків на великі відстані прокладався магістральний дріт між телефонними компаніями. За такі дзвінки стягувалася окрема плата.



Рис.12.1 Оператор телефонного комутатора початку XX сторіччя

Подібно телефонним абонентам перші прилади з'єднувались між собою дротами попарно через автоматичний комутатор. Канал зв'язку займався поки не закінчувалась передача повідомлення безпосередньо від відправника до адресата. Такий спосіб передачі даних називається *комутацією каналів* (рис. 12.2).

Новою на той момент була передача даних таким способом, що повідомлення між абонентами передавались через декілька приладів (комутаторів). Все це працювало за умови, що кожний прилад повинен був вміти зберігати копії повідомлень, а сама передача від відправника до адресата все так саме могла займати декілька часів. Тобто деякі канали зв'язку між комутаторами було зайнято на великий термін, а інші повідомлення становились у чергу у очікуванні звільнення каналу. Такий спосіб передачі даних називається *комутацією повідомлень* (рис. 12.2).

Вперше у 1960х роках запропонували ідею розбиття великих повідомлень на дрібні пакети даних та зробити *комутацію пакетів* (рис. 12.2). Передача дрібних пакетів мережею дозволила би виключити

займання каналу лише парою абонентів, зменшити середній час очікування передачі даних та, головне, виключити взагалі таку невизначеність, коли невідомо, дані буде передано відразу, чи доведеться чекати декілька часів.

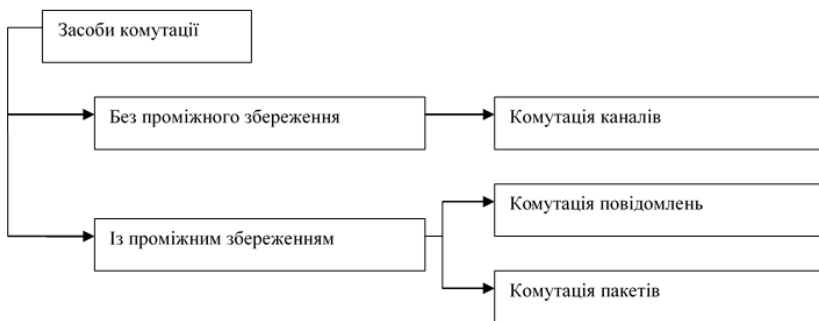


Рисунок 12.2 Засоби організації взаємодії між абонентами.

При передачі інформації комутацією пакетів (рис. 12.3) всі абоненти передають свої дані майже одночасно. За такою схемою маленьким повідомленням не треба чекати закінчення передачі великого повідомлення, пакети маленького передадуться між пакетами великого. Тому ж значно зменшується потреба у великому об'ємі пам'яті для збереження даних на проміжних маршрутизаторах.

У перших достатньо великих мережах із проміжним зберіганням пакетів до кожного пакету, який був часткою одного повідомлення, додавалась ще й додаткова інформація:

- *адреси одержувача* – дозволяла маршрутизатору знайти найкращий шлях для цього пакету;
- *номер пакету за порядком* у відправленому повідомленні – дозволяв одержувачу правильно, у вірному порядку, зібрати повідомлення із отриманих пакетів;

*адреса відправника* – у разі втрати пакету дозволить запросити у відправника чи проміжного вузла передачу копії пакету.

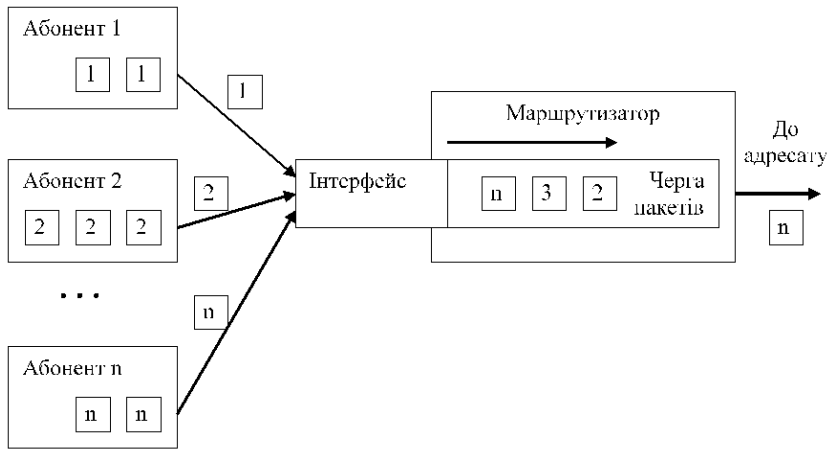


Рисунок 12.3 Комутація пакетів

Сучасний Інтернет передбачає існування великої кількості мереж, поєднаних маршрутизаторами, які пересувають пакети даних між абонентами різних мереж. Наприклад, користувач мобільного телефону завантажує сторінку з сайту [www.kpi.kharkov.ua](http://www.kpi.kharkov.ua), це означає, що пакет із запитом на завантаження даних уходить з телефону до мережі мобільного оператора. У свою чергу мобільний оператор посилає цей пакет-запит до порогового маршрутизатору, який поєднує локальну мережу оператора мобільного зв'язку із іншими мережами світу. Так як у пакеті-запиті зберігається адреса сайту, кожний маршрутизатор знає, куди його передавати далі. Нарешті пакет-запит досягне адресата, який, у свою чергу, відправить у зворотному напрямку повідомлення (яке може містити множину пронумерованих пакетів).

## 12.2 Архітектура мереж

У звичайному житті для того, щоб розв'язати складну задачу, слід розбити її на ряд підзадач та розв'язувати їх окремо. Ще кращім рішенням буде доручити розв'язування кожної підзадачі окремим спеціалістам у своїй галузі, причому спеціаліст із однієї галузі, розв'язуючи свою задачу, не вникає у задачу іншого спеціаліста, вони тільки обмінюються результатами своїх задач. Це дозволяє кожному із них сфокусуватися тільки на своїй області, що покращує загальний результат.

За таким принципом розділили усі задачі в мережах на окремі шари задач. У запропонованій моделі TCP/IP виділяють чотири шари (рис. 12.4):

- *прикладний* рівень (Application);
- *транспортний* рівень (Transport);

- мережевий рівень (Internetwork);
- каналний рівень (Link).

Таким чином задача із передачі повідомлення між двома комп'ютерами розділяється на ряд підзавдань (рис. 12.4), а інформація із повідомлення проходить крізь усі рівні моделі, коли відсилається, та у зворотному порядку ще раз, коли адресат його одержує.

Важно розуміти, що на кожному рівні моделі TCP/IP функціонують правила, які називають *протоколами*. Причому, однакові рівні відправника та одержувача повідомлення розуміють тільки свої протоколи, тобто говорять однією мовою. Різні рівні одного абонента і гадки не мають, що відбувається на іншому рівні. Задача кожного рівня отримати інформацію з сусіднього із ним, виконати деякі дії з цією інформацією (наприклад, розбити на дрібні пакети) та передати результати роботи наступному рівню.

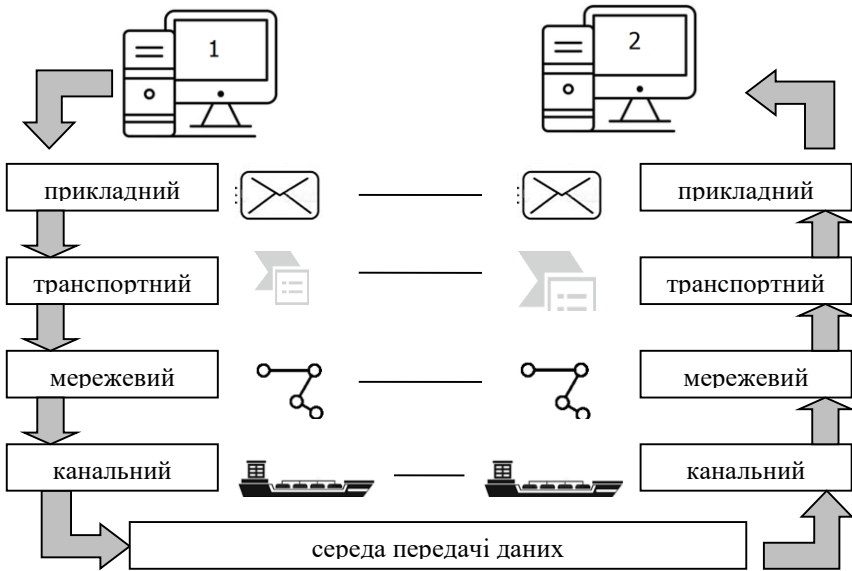


Рисунок 12.4 Модель архітектури мережі TCP/IP

Якщо розглянути передачу повідомлення на прикладі дій із звичайного життя, то уявіть, що ви вирішили переїхати жити на інший континент та забрати із собою будинок (буде аналогом повідомлення). Вам треба відправити його поштою до іншого місця. На прикладному рівні моделі TCP/IP ви бачите свій будинок (рис. 12.4). Далі підключається транспортний рівень, він вміє розбирати будинки на великі фрагменти та

збирати їх. Транспортний рівень поділив будинок на великі контейнери та по одному повільно передає їх мережевому рівню відправника. На тому континенті такий же транспортний рівень отримує по одному контейнери від того мережевого рівня та поступово збирає з частин будинок. Яким чином контейнери до нього потрапили, його не займає. У свою чергу, робота мережевого рівня (рис. 12.4) відправника полягає у наступному. Він отримує по одному контейнери з верхнього транспортного рівня, розбиває їх на дрібні посилки, нумерує їх, призначає кожній посилці власний маршрут до адресату. Відповідно до призначеного маршруту посилки у порту відправника потрапляють на різні кораблі. На тому боці в порту одержувача зустрічають кораблі із посилками. Той мережевий рівень передає їх тому канальному рівню.

Аналогією канального рівня у цьому прикладі будуть кораблі. Їх задача отримати посилки від мережевого рівня у порту відправника, та віддати мережевому рівню у порту одержувача. Тепер розглянемо детальніше усі рівні у зворотному порядку, від нижчого до верхнього.

### 12.2.1 Канальний рівень

Канальний рівень відповідає за підключення приладу користувача до мережі, підключення маршрутизаторів один до одного та за фізичну передачу інформації. Перед спеціалістами на цьому рівні ставляться задачі постійного вдосконалення одночасної передачі інформації по спільним каналам на якомога більшій відстані.

Відомості про мережеве підключення ×

Відомості про підключення до мережі:

Параметр	Значення
Окремий адаптер мережі	Ian
Опис	Intel(R) Dual Band Wireless-AC 8265
Фізична адреса	D4-25-8B-03-F4-D5
DHCP	Так
Адреса IPv4	192.168.31.37
Маска підмережі IPv4	255.255.255.0

Рисунок 12.5 MAC-адреса

Очевидно, що по одному фізичному каналу (дрот, локальна мережа) тільки один прилад може передавати сигнали у одиницю часу. Інші прилади чекають на звільнення каналу та намагаються його зайняти.

У випадку, коли декілька комп'ютерів хочуть одночасно передати свої повідомлення через спільну середу передачі, вони насправді ділять свої повідомлення на дрібні пакети, передача яких окремо по черзі не займає довгий час.

Усі вузли локальної мережі (прилади) мають унікальний 48-бітний серійний номер, який називають адресою управління доступом до середовища передачі даних (Media Access Control), або MAC-адресою.

### 12.2.2 Мережевий рівень

Якщо пакет даних відправляється комп'ютером однієї локальної мережі до іншої локальної мережі, то він потрапляє до маршрутизатору. Як було сказано раніше, у кожному пакеті міститься адреса одержувача, по ній маршрутизатор визначає, куди відправити пакет далі. Якщо одержувач знаходиться у іншій мережі, то маршрутизатор передає пакет до наступного маршрутизатору. Пакет на своєму шляху до одержувача може пройти декілька мереж та маршрутизаторів. Кожний такий перехід називається хопом (hop, стрибок).

Звичайно, що для пакета може існувати декілька можливих шляхів через різні вузли та мережі. Перед спеціалістами цієї області ставиться задача розробки методів та алгоритмів пошуку шляху для пакетів, управління трафіком мережі, наприклад, зробити так, щоб пакети досягали адресата за меншу кількість хопів, чи за менший час. Щоб такий процес працював глобально, маршрутизатори обмінюються службовими пакетами щодо зайнятості каналів, перераховують матриці відстаней до інших вузлів.

Відомості про мережеве підключення

Відомості про підключення до мережі:	
Параметр	Значення
Ориєнтований для підключення	lan
Опис	Intel(R) Dual Band Wireless-AC 8265
Фізична адреса	D4-25-8B-03-F4-D5
DHCP	Так
Адреса IPv4	192.168.31.37
Маска підмережі IPv4	255.255.255.0

Рисунок 12.6 IP-адреса та маска мережі



На цьому рівні функціонує IP протокол (Internet Protocol). Кожний вузол мережі Інтернет має унікальну IP-адресу, яка складається з чотирьох чисел (у версії IPv4) в діапазоні від 0 до 255, які записують через крапку (рис. 12.6). Насправді цими цифрами у IP-адресі шифрується два ключових параметри:

- адреса підмережі (network), до якої підключено прилад;
- адреса приладу (хосту, host) у складі підмережі.

Для того, щоб у IP-адресі визначити, які числа визначають підмережу, а які хост використовують маску підмережі. У прикладі на рис.6 задано маску 255.255.255.0, це означає, що у IP-адресі хост має адресу 37 у рамках підмережі із номером 192.168.31.

Така адресація дуже зручна для мережевих пристроїв (маршрутизаторів), вона прискорює визначення маршруту пакетів.

На пристроях IP-адресу можна задавати вручну примусово, але її можна отримувати її автоматично, використовуючи протокол динамічного налаштування вузла (Dynamic Host Configuration Protocol – DHCP). Якщо в мережі налаштовано DHCP-сервер, то він автоматично видає приладам унікальні IP-адреси.

### 12.2.3 Транспортний рівень

Транспортний рівень відповідає за цілісність даних, розбирає повідомлення на пакети перед відправленням та збирає повідомлення при отриманні. Оскільки пакети повідомлення мають власний маршрут, то до адресата вони можуть надходити не у порядку відправлення, чи можуть бути взагалі втрачені. Транспортний рівень знає позицію пакета у повідомленні та ставить пакет, що прибув, до правильного місця у повідомленні. Якщо пакет було втрачено, транспортний рівень одержувача запросить пакет ще раз у вузла відправника. Коли всі пакети повідомлення будуть зібрані, воно буде передано до прикладного рівня. Транспортний рівень одержувача запросить наступне повідомлення у відправника. Також транспортні рівні вузлів відповідають за швидкість передачі, тобто регулюють кількість пакетів (порцію), що відправляються.

Пакети на цьому рівні несуть таку інформацію:

- адреса відправника;
- адреса одержувача;
- *порт* вузла одержувача;
- тіло пакету (дані користувачів, які треба передати).

*Порт* - це умовне число від 0 до 65535, що дозволяють різним програмам на одному комп'ютері отримувати тільки ті пакети, які їй призначаються. Кожна програма обробляє дані, що надходять на певний порт, який вона займає (слухає).

Коли програмі вказують на який хост слати пакети, додатково вказують через двокрапку номер порта, щоб цей пакет отримала саме та програма, яка зайняла цей порт, наприклад 127.0.0.1:80. Тут на хост 127.0.0.1 буде відправлено пакет на порт 80.

На цьому рівні функціонують наступні протоколи:

- TCP (Transport Protocol) – транспортний протокол з гарантованою доставкою пакету;
- UDP (User Datagram Protocol) - протокол датаграм користувача. Він не гарантує доставку пакету, але значно швидший.

#### **12.2.4 Прикладний рівень**

На прикладному рівні функціонують програми та застосунки користувачів, які встановлено на вузлах мережі (комп'ютер, телефон, сервер). Принцип їх роботи зазвичай називають клієнт-сервер. Тобто серверні програми зберігають інформацію (сайти новин, бази даних, ігрові сервери, сервери соціальних мереж та месенджерів), а клієнтські нею користуються (месенжер, браузер, онлайн гра).

Разом із існуванням великої кількості застосунків, існує і велика кількість протоколів прикладного рівня. Головне тут, що для спілкування програм вони повинні використовувати однакові протоколи.

Найпоширенішим протоколом можна назвати гіпертекстовий транспортний протокол (HyperText Transport Protocol), або скорочено – HTTP. Його використовують у браузерах. Протокол передачі файлів FTP (File Transfer Protocol) – один з найстаріших протоколів, з'явився у 70х роках. Протоколи POP3, SMTP, IMAP використовують для роботи із електронною поштою.

#### **12.3 Якість обслуговування**

Якість обслуговування у мережах QoS (Quality of Service) — технологія розподілу пріоритетів обслуговування різним типам пакетів чи трафіку. Тобто QoS – це технологія, яка може гарантувати пропуск пакетів у повному обсязі певного виду трафіку за заданими технологічними вимогами.

Параметри якості обслуговування:

- Пропускна смуга — описує доступну пропускну здатність каналу зв'язку. Вимірюється у бітовій швидкості — bit/s (bps), kbit/s (kbps), Mbit/s (Mbps).
- Затримка при передачі пакету (Ping), вимірюється у мілісекундах.
- Джиттер (Jitter) — нерівномірність (коливання) затримок пакетів при передачі пакетів.

- Втрата пакетів (Packet loss) — визначає кількість пакетів, втрачених у мережі під час передачі.

Головне завдання QoS – забезпечити гарантовану передачу пакетів певного типу даних непомітно для користувачів. Технологія QoS використовується при спілкуванні у онлайн конференціях, комп'ютерних іграх, тощо. За допомогою технології QoS можна гарантувати, що у користувачів не виникне проблем при завантаженні файлів, відеодзвінках, розмовах по IP-телефонії, перегляду будь-яких онлайн-документів у локальній або глобальній мережі.

## 12.4 Кібербезпека

*Кібербезпека* – це діяльність, спрямована на захист систем, мереж та програм від цифрових атак. Метою таких кібератак зазвичай є отримання доступу до конфіденційної інформації, її зміна або знищення, незаконне отримання грошей у користувачів або порушення нормального бізнес-процесу.

*Фішинг* – це надсилання підроблених електронних листів, які схожі на повідомлення від надійних адресатів, розробка точної копії сайту банку, тощо. Метою цього виду шахрайства є крадіжка конфіденційних даних, таких як номери кредитних карток та облікові дані. Це найпоширеніший тип кібератак. Захиститись від фішингу можна за допомогою навчання користувачів, встановлення спеціальних браузерів, використання сайтами захищених протоколів та сертифікатів захисту.

*Віруси-здириники* - один з видів шкідливого програмного забезпечення. Вони вимагають гроші, блокуючи доступ до файлів чи комп'ютерних систем користувача, доки він не сплатить викуп. При цьому сплата викупу не гарантує відновлення доступу до файлів або систем.

*Шкідливе програмне забезпечення* – це програмне забезпечення, призначене для несанкціонованого доступу до комп'ютера або заподіяння шкоди.

*Соціальна інженерія* використовується зловмисниками, щоб обманом змусити користувача розкрити конфіденційну інформацію. Зловмисники можуть попросити користувача зробити грошовий переказ або надати доступ до конфіденційних даних. Соціальна інженерія може поєднуватися з будь-яким із перелічених вище типів загроз, щоб користувачі з більшою ймовірністю переходили за посиланнями, завантажували шкідливе програмне забезпечення або довіряли шкідливому джерелу.

## 12.5 Інтернет речей

Інтернет речей (Internet of Things, IoT)— це мережа фізичних об'єктів, які мають вбудовані технології, що дозволяють здійснювати

взаємодію із зовнішнім середовищем, передавати відомості про свій стан та приймати дані ззовні.

Зараз багато пристроїв наділяють функцією підключення до маршрутизаторів із можливістю управління ними через смартфон (кондиціонер, телевізор, робот пиросос, камери спостереження, тощо). Розумні лічильники самі фіксують, скільки енергії було витрачено у квартирі. Деякі рішення для розумного будинку навіть показують, скільки витрачає конкретна лампочка або побутовий пристрій, підключений до мережі.

Інтернет речей застосовуватися в різних галузях: промисловість (Промисловий інтернет речей), транспорт (автомобілі, міський транспорт), розумний будинок, комунальні служби, охорона здоров'я (кардіодатчики, датчики тиску, нанотехнології), аграрний сектор, торгівля, бізнес, харчування, тощо.

Інтернет речей використовує наступні технології передачі даних у мережі:

*ZigBee* — це комунікаційна технологія для реалізації низькошвидкісних бездротових приватних мереж. Характеристики *ZigBee*: низьке енергоспоживання, низька швидкість передачі даних, низька вартість і висока пропускна здатність. Це, в основному периферійні пристрої (миша, клавіатура) і побутова електроніка, а також пристрої промислового управління (монітори, давачі і засоби автоматизації).

*Wi-Fi* — це локальна бездротова технологія для передавання великих обсягів даних по бездротовій мережі між пристроями. Характеристики *WiFi*: вимагає багато енергії для роботи і має невеликий рівень пропускної здатності даних.

*Bluetooth* — це бездротова технологія, яка використовується для передачі даних в персональних мережах, працює на коротших відстанях, ніж *Wi-Fi* та синхронізує пару пристроїв. Характеристики *Bluetooth*: низьке енергоспоживання і невеликий радіус дії до декількох десятків метрів.

## **12.6 Онлайн ігри та кіберспорт**

*Кіберспорт* – вид спорту, що ґрунтується на змагальній діяльності з використанням відеоігор. Може також називатись комп'ютерним або електронним спортом.

У 70-х роках XX століття в Стенфордському університеті проходять перші змагання з комп'ютерної гри *Spacewar*. Ця подія проходила в одній із комп'ютерних лабораторій університету. У 1980 році вже близько десяти тисяч геймерів зі США змагалися на чемпіонаті зі *Space Invaders*.

У 1980-ті роки електронний спорт в основному розвивався на базі ігрових приставок, що тільки-но з'явилися. З моменту виходу *Nintendo* та

Sega Genesis, багато компаній стали вкладати солідні кошти у справу прилучення людей до відеоігор.

Серйозним проривом у поширенні комп'ютерних ігор стали 90-ті роки, поява Інтернет дала серйозний поштовх у розвитку відеоігор. Учасники отримали можливість влаштовувати між собою змагання з Quake або Warcraft.

У Південній Кореї на початку 2000-х років настає справжній бум кіберспорту. Студенти, школярі та все молоде населення улюбленим місцем відпочинку обирають інтернет-кафе. Південна Корея одна з перших країн, що систематизували кіберспорт на законодавчому рівні. У 2016 році створено Всесвітню асоціацію кіберспорту.

Види змагань у кіберспорті:

- *Бойова арена* - 2 команди гравців борються одна з одною на карті особливого виду з метою знищення головної будівлі команди суперника. Кожен гравець управляє одним із списку доступних героїв, які відрізняються характеристиками та здібностями. Протягом матчу герої можуть ставати сильнішими, отримувати нові здібності та спорядження;
- *Змагальні головоломки* - результат змагання залежить від швидкості логічного мислення та кмітливості, які визначають вибір тієї чи іншої стратегії гри для досягнення перемоги;
- *Спортивний симулятор* - Спортивна гра на арені за правилами певного виду спорту;
- *Стратегія у реальному часі* - протиборчі сторони учасників змагань на арені в реальному часі позиціонують та маневрують ігровими персонажами для захисту районів карти та/або знищення активів своїх суперників. У ході гри можуть створюватися додаткові ігрові персонажі та покращуватися властивості вже наявних;
- *Технічний симулятор* - учасники змагань замагаються навичками керування реальними технічними засобами (наприклад: танковий симулятор, авіаційний симулятор, автомобільний симулятор);
- *Файтинг* – ігри імітують процес єдиноборства на арені, в якій учаснику змагань необхідно знизити параметр енергії (здоров'я) об'єкта управління суперника за відведений час.
- *Шутер* - Тактичний тривимірний бій.

## 12.7 Практична частина

Для запуску наступних команд необхідно завантажити командний рядок Windows. Для цього треба виконати наступні дії: правою кнопкою миші жмемо кнопку ПУСК → Відкрити.

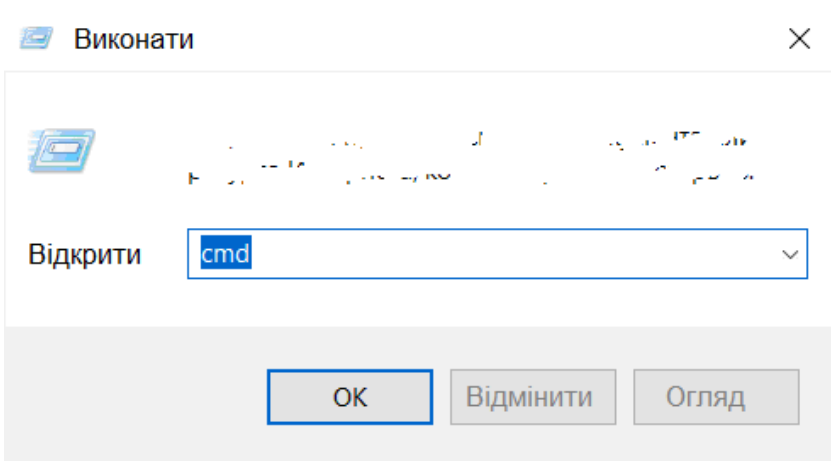


Рисунок 12.7 Завантаження командного рядка Windows

У вікні, що з'явилося, вводимо *cmd* та жнемо кнопку *OK*. Запускається командний рядок.

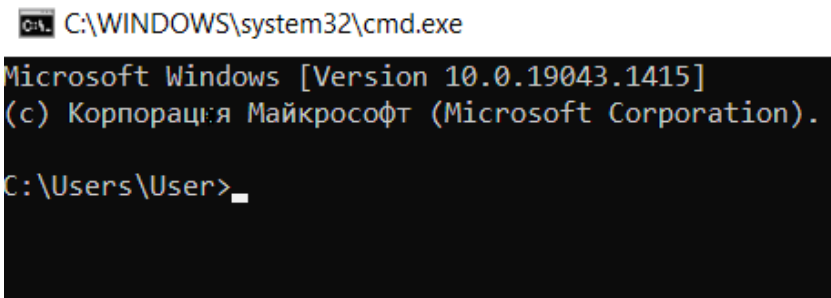


Рисунок 12.8 Командний рядок Windows

### Завдання 1. Перевірка параметрів мережевого інтерфейсу.

Для перевірки параметрів мережевого інтерфейсу комп'ютера використовують утиліту *ipconfig*. У командному рядку необхідно виконати команду *ipconfig /all*, на консоль буде виведено багато параметрів інтерфейсу, серед яких треба знайти (рис. 12.9):

- фізичну адресу (MAC);
- IP-адресу;
- маску підмережі.

Microsoft Windows [Version 10.0.19043.1415]  
(c) Корпорація Майкрософт (Microsoft Corporation).

C:\Users\User>ipconfig /all

Налаштування протоколу IP для Windows

Им'я комп'ютера . . . . . : DESKTOP-L6VK3R3  
Основний DNS-суфікс . . . . . :  
Тип вузла . . . . . : Гібридний  
IP-маршрутизація увімкнена . . . . : Ні  
WINS-проксі увімкнено . . . . . : Ні

Адаптер Бездротової мережі:

DNS-суфікс підключення . . . . . :  
Опис . . . . . : VMware Virtual Ethernet Adapter  
Фізична адреса . . . . . : 00-50-56-C0-00-01  
DHCP увімкнено . . . . . : Так  
Автоналадування увімкнено . . . . : Так  
Локальна IPv6 адреса каналу . . . . : fe80:b035:cb7h:a132:aa53%7(Базовий)  
IPv4-адреса . . . . . : 192.168.115.1(Базовий)  
Маска мережі . . . . . : 255.255.255.0  
Оренда отримана . . . . . : 7 січня 2022 г. 11:23:10  
Термін оренди закінчується . . . . . : 7 січня 2022 г. 11:53:09  
Базовий шлюз . . . . . :  
DHCP-сервер . . . . . : 192.168.115.254  
IAD DHCPv6 . . . . . : 637554774  
DUID клієнта DHCPv6 . . . . . : 00-01-00-01-27-85-36-19-00-E0-4C-68-5C-7B  
DNS-сервери . . . . . : fec0:0:0:ffff::1%1  
                              fec0:0:0:ffff::2%1  
                              fec0:0:0:ffff::3%1

Рисунок 12.9 Результат виконання команди *ipconfig*

## Завдання 2. Маршрут пакетів до сайту.

Спробуємо проаналізувати маршрут пакетів до сайту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», який міститься за адресою [www.kpi.kharkov.ua](http://www.kpi.kharkov.ua) (рис. 12.10). У завданні перевіримо, які мережі проходить пакет на шляху від поточного комп'ютера до вузла призначення (тобто, сайту НТУ «ХПІ»).

Для трасування маршруту до вказаного віддаленого вузла використовують утиліту *TRACERT*. Виконаємо у командному рядку команду *tracert www.kpi.kharkov.ua*. Під час трасування буде показано весь маршрут проходження пакетів. Також ця команда командного рядка показує затримку пакетів між вузлами на шляху кожного маршрутизатора. Ця затримка дозволяє визначити, на якій проміжній ділянці відбувається втрата пакетів. Втрати пакетів позначаються зірочками (рис. 12.11).

Першим вузлом у списку буде найближчий до поточного комп'ютеру маршрутизатор, а останнім – вузол призначення пакету.

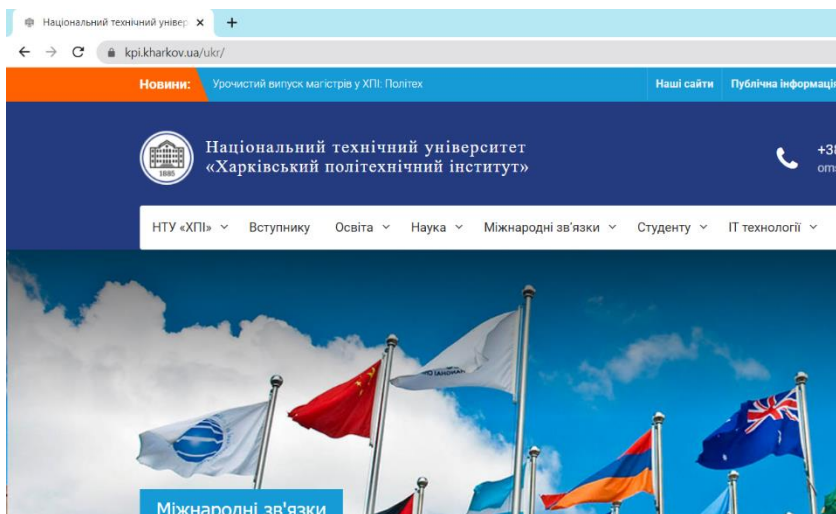


Рисунок 12.10 Сайт Національного технічного університету «ХПІ»

C:\Users\User>tracert www.kpi.kharkov.ua

Трасування маршруту до [www.kpi.kharkov.ua](http://www.kpi.kharkov.ua) [195.178.155.18]  
із максимальною кількістю стрибків 30:

1	1 ms	<1 ms	<1 ms	XiaoQiang.lan [192.168.31.1]
2	5 ms	2 ms	2 ms	254.243.150.178.triolan.net [178.150.243.254]
3	6 ms	7 ms	5 ms	10.254.251.114
4	7 ms	2 ms	9 ms	10.14.20.2
5	3 ms	2 ms	*	185.43.248.149
6	9 ms	8 ms	8 ms	ntu-khpi-ix.giganet.ua [185.1.63.80]
7	11 ms	8 ms	8 ms	195.178.155.2
8	11 ms	11 ms	10 ms	www.kpi.kharkov.ua [195.178.155.18]

Трасування завершено.

Рисунок 12.11 Трасування маршруту до сайту [www.kpi.kharkov.ua](http://www.kpi.kharkov.ua)

### Завдання 3. Перевірка якості з'єднання.

Для перевірки якості з'єднання у мережах на базі TCP/IP використовують службову утиліту *PING*. Вона визначає завантаженість каналів передачі даних і проміжних пристроїв.



Утиліта відправляє пакети зазначеному вузлу мережі й фіксує відповіді. Час між відправленням запиту й одержанням відповіді дозволяє визначати затримки у маршруті й частоту втрат пакетів.

Перевіримо якість каналу від комп'ютера до сайту НТУ «ХП» за адресою [www.kpi.kharkov.ua](http://www.kpi.kharkov.ua). Для цього виконаємо у командному рядку команду *ping* [www.kpi.kharkov.ua](http://www.kpi.kharkov.ua) (рис.12.12).

C:\Users\User>ping www.kpi.kharkov.ua

Обмін пакетами с [www.kpi.kharkov.ua](http://www.kpi.kharkov.ua) [195.178.155.18] с 32 байтами даних:  
Відповідь від 195.178.155.18: кількість байт=32 час=12мс TTL=123  
Відповідь від 195.178.155.18: кількість байт=32 час=11мс TTL=123  
Відповідь від 195.178.155.18: кількість байт=32 час=11мс TTL=123  
Відповідь від 195.178.155.18: кількість байт=32 час=11мс TTL=123

Статистика Ping для 195.178.155.18:

Пакетів: відправлено = 4, отримано = 4, втрачено = 0  
(0% втрат)

Приблизний час прийому-передачі в мсек:

Мінімальний = 11мсек, Максимальний = 12 мсек, Середній = 11 мсек

Рисунок 12.12 Трасування маршруту

У лабораторній роботі було виконано завдання для визначення параметрів мережевого інтерфейсу комп'ютера та перевірки якості каналу зв'язку із віддаленим сайтом на прикладі сайту НТУ «ХП».

## 12.8 Висновки

Таким чином розглянуто загальні принципи функціонування мереж та Інтернет. Показано, що всі функції в мережах розділено на чотири шари відповідно до моделі TCP/IP. Кожен шар моделі не залежить від інших, та його задачами та проблемами займаються відповідні спеціалісти. На кожному шарі функціонують свої протоколи – правила, яких дотримуються відправник на одержувач.

Вимогами до функціонування мереж є показники якості обслуговування (QoS), які було перелічено та описано.

З появою Інтернет так трапилось, що усі прилади стали, так чи інакше, підключені один до одного. Тому доволі гострими стали питання кібербезпеки та збереження даних.

Було розглянуто найпоширеніші протоколи сенсорних мереж та Інтернету речей (IoT), які використовуються у безлічі галузей техніки.

Нарешті, мережа Інтернет та ІТ технології можуть бути використані для дозвілля. За останні роки великого розвитку набула

індустрія комп'ютерних ігор. Люди навіть почали змагатися у іграх та заробляти на цих змаганнях.

Підводячи підсумки, можна визначити, що Інтернет та все, що з ним пов'язано, постійно знаходиться у розвитку. Постійно додаються нові напрямки, сфери діяльності, задачі та проблеми.

Найсумнішим аспектом життя зараз є те, що  
знання збирають швидше, ніж суспільство  
збирає мудрість.  
*Айзек Азімов*

## This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Навчальне видання  
МІНАКОВА Ксенія Олександрівна  
ПЕТРОВ Сергій Олександрович  
РАДОГУЗ Сергій Анатолійович  
СОКОЛ Євген Іванович  
МАТЮХОВ Дмитро Володимирович  
БЛИК Сергій Юрійович  
ЛІНЬКОВ Олег Юрійович  
ІВАНОВА Марина Сергіївна  
БАСОВА Євгенія Володимирівна  
СКИДАН Наталія Павлівна  
КІРІЧЕНКО Михайло Валерійович  
ДАНИЛЬЧЕНКО Дмитро Олексійович  
КОСТУСЯК Володимир Вікторович  
ЛЕБЕДЄВ Володимир Володимирович  
ВИРОВЕЦЬ Сергій Валерійович  
ЧЕПЕЛЮК Олександр Олександрович  
АНАН'ЄВА Валерія Вікторівна  
ЦИГАНКОВ Олександр Валерійович  
ЛАВРОВА Інна Олегівна  
ТИХОМИРОВА Тетяна Сергіївна  
ГЕТТА Оксана Сергіївна  
ПУСТОВОЙТОВ Павло Євгенович

## **«Великі наукові ідеї, які змінили Світ»**

Навчальний посібник  
до циклу уроків міждисциплінарного освітнього проекту  
для вчителів природничо-математичних дисциплін

Відповідальний за випуск К.О. Мінакова  
Роботу до видання рекомендував Л.Л. Товажнянський  
Редактор К.О. Мінакова  
Дизайн обкладинки В.І. Ковшик

План 2022 р.

Підписано до друку 07.02.22. Формат 60×84 1/16. Папір друк. №2.  
Друк – цифровий. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 17,9.  
Обл.–вид. 4,1. Тираж 300 прим.

---

Видавничий центр НТУ «ХПІ». 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2.  
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2000 р.

---

МІНАКОВА Ксенія Олександрівна  
ПЕТРОВ Сергій Олександрович  
РАДОГУЗ Сергій Анатолійович  
СОКОЛ Євген Іванович  
МАТЮХОВ Дмитро Володимирович  
БІЛИК Сергій Юрійович  
ЛІНЬКОВ Олег Юрійович  
ІВАНОВА Марина Сергіївна  
БАСОВА Євгенія Володимирівна  
СКИДАН Наталія Павлівна  
КІРІЧЕНКО Михайло Валерійович  
ДАНИЛЬЧЕНКО Дмитро Олексійович  
КОСТУСЯК Володимир Вікторович  
ЛЕБЕДЄВ Володимир Володимирович  
ВИРОВЕЦЬ Сергій Валерійович  
ЧЕПЕЛЮК Олександр Олександрович  
АНАН'ЄВА Валерія Вікторівна  
ЦИГАНКОВ Олександр Валерійович  
ЛАВРОВА Інна Олегівна  
ТИХОМИРОВА Тетяна Сергіївна  
ГЕТТА Оксана Сергіївна  
ПУСТОВОЙТОВ Павло Євгенович

Завантажуй  
електронну версію:



<https://bit.ly/posibnyk-scientific-ideas>