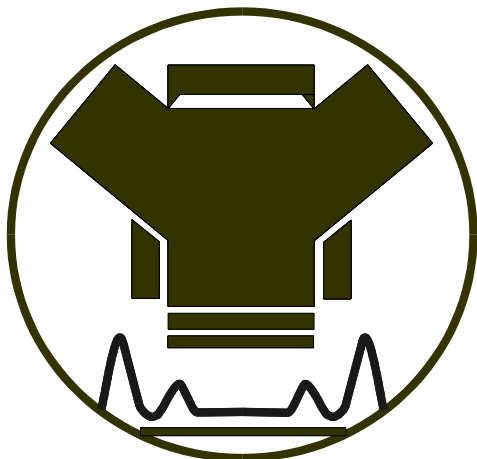


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



**Харківський державний
автомобільно - дорожній технічний
університет**

І. І. Тимченко

ІСТОРІЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

(Історія розвитку теплових двигунів)

Конспект лекцій

Затверджено методичною радою університету

Харків 1999

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Харківський державний автомобільно - дорожній
технічний університет**

І. І. Тимченко

ІСТОРІЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

(Історія розвитку теплових двигунів)

Конспект лекцій

для студентів спеціальності 7.090210, ДВЗ

**Затверджено
методичною радою Університету
Протокол № від 1999 р**

Харків 1999

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Харківський державний автомобільно - дорожній технічний
університет**

**До друку і в світ дозволяю
Проректор
професор І. П. Гладкий**

І. І. Тимченко

ІСТОРІЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

(Історія розвитку теплових двигунів)

**Конспект лекцій
для студентів спеціальності 7.090210, ДВЗ**

**Всі цитати, цифровий,
фактичний матеріал і бібліо-
ту
графічні дані перевірені, на-
писання одиниць відповідає
стандартам**

ЗАТВЕРДЖЕНО
методичною радою Університе-
Протокол № від 1999 р

**Відповідальний за випуск
П. В. Жадан**

Харків 1999 р

УДК 624

Тимченко І. І. Історія інженерної діяльності (історія розвитку теплових двигунів) : Конспект фондових лекцій. - Харків : ХДАДТУ, 1999. - с.

Наведені історія та етапи розвитку механіки машин як наукової бази загального машинобудування. Систематизовані матеріали з історії розвитку теплових машин , в першу чергу двигунів внутрішнього згорання. Визначений сучасний стан та перспектива їх подальшого розвитку.

Затверджено методичною радою Університету як конспект лекцій з спеціальності 7.090210 , Двигуни внутрішнього згорання. Протокол № 2 від 20.10.98.

ПЕРЕДМОВА

Конспект лекцій написаний для студентів, що навчаються за напрямком 6.0902 , Інженерна механіка, за спеціальністю 7.090210, Двигуни внутрішнього згоряння. Обсяг дисципліни - 18 годин аудиторних занять.

Конспект вміщує широке коло питань, пов'язаних з історією розвитку науки та техніки з теплових двигунів. Він складений відповідно до навчального учбового плану спеціальності 7.090210, Двигуни внутрішнього згоряння.

В конспекті подані загальні поняття сучасної науки та техніки, основні етапи розвитку механіки машин, в особливості теплових двигунів, визначаються сучасний стан та перспективи їх подальшого розвитку, в тому числі в Україні.

В конспекті робиться спроба показати соціально - економічну обумовленість розвитку науки та техніки, розкривається взаємний зв'язок та взаємний вплив окремих галузей науки та техніки. Показується також на конкретних прикладах інтернаціональний характер науки та техніки, а разом з тим розкривається внесок кожного народу в світову скарбницю науки та техніки.

Кожна лекція складається з назви, в кінці якої вказується кількість відведених на неї годин ; переліку питань, що розглядаються; тексту та питань або завдань для самоконтролю. В тексті робляться посилання на літературу, яка наведена в кінці конспекту.

При підготовці конспекту лекцій використані архівні матеріали З.З.Маца. Конспект проілюстрований рисунками та схемами, виготовленими асистентом А.О. Єфремовим та аспірантом Д. І. Тимченко, що сприятиме засвоєнню матеріалу.

Лекція 1 ВСТУПНА

План

- 1 Роль та місце навчальної дисципліни в системі підготовки фахівців з спеціальності 7.090210, Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ).
- 2 Загальні поняття сучасної науки та техніки.
- 3 Основні етапи розвитку механіки машин.
- 4 Рекомендації щодо опрацювання дисципліни.

1 Роль та місце навчальної дисципліни в системі підготовки фахівців з спеціальності 7.090210, Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ).

Дисципліна " Історія інженерної діяльності " насамперед історія розвитку механіки машин (в тому числі теплових двигунів) покликана : по-перше, стимулювати поглиблення інтересу студентів до обраної спеціальності, заохочувати їх оволодівати знаннями та навиками, які стануть у майбутньому в пригоді для творчої інженерної діяльності в галузі ДВЗ (проектуванні, виготовленні, дослідженні, експлуатації, ремонті) ; по-друге, не повторювати принципових помилок минулого, визначаючи пріоритетні напрямки в розвитку галузі в цілому, і при розробці конкретних машин, в особливості, і використовувати цінні ідеї, які не впроваджені в минулому ; по-третє, прогнозувати та направляти розвиток даної науки та техніки правильним шляхом.

Кожна наука і техніка мають свою історію. Дуже важливим дбайливе її збереження. В колишньому СРСР для цього в 1921 р. за пропозицією академіка В. І. Вернадського при Академії наук була утворена комісія з історії науки та техніки, на базі якої в подальшому був організований інститут природознавства та техніки. І в комісії, і в інституті був відділ історії теплових двигунів.

Науково - історична діяльність вітчизняних вчених дуже швидко отримала світове визнання. Так у листі до академіка В. І. Вернадського відомий американський вчений Дж. Сортон в 1936 р. писав : " Дозвольте висловити ... моє захоплення роботами російських вчених, що до історії науки. В цій галузі Ваша країна дає приклад всьому світу "[1,2].

Виходячи із зазначеного, можна стверджувати, що дисципліна " Історія інженерної діяльності " займає повноправне місце в робочому навчальному плані і покликана сприяти якісній підготовці кваліфікованих інженерів - механіків, в тому числі із спеціальності 7.090210, ДВЗ.

2 Загальні поняття сучасної науки та техніки.

Розглянемо тільки ті з них, які необхідні для подальшого засвоєння матеріалу.

Під терміном наука в широкому тлумаченні розуміють сукупність - систематизованих, об'єктивних знань, що історично склалися про природу, суспільство мишлення закони їх розвитку. Стосовно конкретної галузі дви-

гунобудування, наука з теплових двигунів - це сукупність систематизованих, об'єктивних знань в цій галузі.

Термін "систематизованих" свідчить про те, що ці знання приведені у відповідний порядок, зручний для використання, наприклад, при вивченні конструюванні, модернізації, експлуатації, та інше. Передбачається, що при цьому встановлені зв'язки між причиною та слідством, діючими законами та впливаючими з них нормами, правилами, рекомендаціями; визначені межі вживання (застосування) цих знань.

"Об'єктивних" - означає доведених, перевірених з визначеним ступенем надійності, вірогідності.

Розрізняють науки фундаментальні та прикладні. Такий розподіл відносний. Двигунобудування - перш за все прикладна наука, яка сформувалась в конкретній галузі.

За видом об'єкта накопичення та використання наукових знань розрізняють науки природознавчі (до них належать і технічні), гро-мадські та науки про пізнання.

Наукове дослідження як вид діяльності людини являє собою виробничий процес, в основі якого лежить розумова праця, направлена на встановлення нових об'єктивних знань, необхідних для розвитку науки і задоволення матеріальних та духовних потреб суспільства. Тобто науковий співробітник - це виробник матеріальних цінностей.

Головним компонентом наукового дослідження є розумова праця, а метою - набування нових наукових знань.

Сучасна наука опанувала численні методи та методики наукового дослідження (аналіз та синтез, індукція та дедукція, системний аналіз, моделювання та інше). Загальною базою методології наукового дослідження є матеріалістичний світогляд і положення діалектичного філософського методу.

Під терміном техніка розуміють сукупність засобів, прийомів та навиків праці, необхідних для задоволення матеріальних та духовних потреб людини. Засоби праці - це матеріальні об'єкти (машини, прилади та інше). Вони складають матеріально - технічну базу суспільства. Навики - прийоми дії людини за допомогою засобів для одержання конкретних результатів (будівництво машин, житла, доріг, робота на машинах станках та інше). Термін "техніка" походить від грецького слова "техне" - "мистецтво" або "майстерність". Зміст поняття техніки історично змінювався відповідно з розвитком виробництва.

Наука і техніка нерозривно зв'язані як причина та слідство, як ціль та засоби та інше. Для розвитку техніки необхідно знання законів природи, а для оволодіння останніми необхідні все більш складні технічні засоби.

Головним об'єктом сучасної технічної творчості є машина, яка являє собою сукупність механізмів і пристроїв, призначених для отримання, перетворення енергії або інформації, обробки металів тощо. ДВЗ - машина для перетворення теплової енергії в механічну роботу.

3 Основні етапи розвитку механіки машин (розділу інженерної механіки)

Механіка машин як наука сформувалась наприкінці XVII початку XVIII століть [1-3].

Її історія починається з IV - III ст. до н. е., з античної наукової школи Геракліта - Арістотеля. Перша праця цієї школи "Механіка машин", яку приписують Арістотелю, вбирала в себе опис найпростіших машин - важеля, клина, сокири, колеса, поліспасти та інше, а також початок статyki.

В 3 ст. до н. е. центр античної науки перемістився в Александрію, а найбільш примітними вченими цієї школи були Архімед (287 - 212 рр. до н. е.), Герон (перше ст. н. е.), Птоломей (друге ст. н. е.). Вони заснували наукові основи механіки машин.

Потім, з VII до XV століття в період переходу від рабства до феодалізму відбувався застій у розвитку наук, не зважаючи на безперервний розвиток ремесел та технічної творчості, наприклад, ткацтва, обробки металів, книгодрукування та ін.

XV - XVI століття - епоха відродження. Найбільш відомими фігурами цієї епохи були Леонардо да Вінчі (1452 - 1519), Д. Кардан (1501 -1576), Г. Бауер (Агрикола) (1490 - 1955), Ромеллі (1530 - 1590). Вони розвивали математику і механіку, будували, описували машини та ін.

XVII - XVIII століття - період наукової революції, який характеризувався значними досягненнями в розвитку машинного виробництва, механіки машин та інше. Найбільш значними діячами цього періоду були Г. Галілей (1564 - 1642), І. Кеплер (1571 - 1630), Х. Гюйгенс (1629 - 1695), Г. Лейбніц (1646 - 1716), І. Ньютон (1643 - 1727), Л. Ейлер (1707 - 1783).

В цей період було сформовано машинобудування як галузь і створені перші ДВЗ.

Засновником класичної механіки справедливо вважають І. Ньютона, який сформулював та обґрунтував 3-и закони механіки, закон інерції, принцип відносності та інше. Складання наукової російської школи механіки починається з Л. Ейлера. Проблема механіки він присвятив п'ять мемуарів, серед яких "Про найвигідніше застосування простих і складних машин", "Про машини взагалі", "Принципи теорії машин".

Формування механіки машин як науки було завершено у XVIII столітті працями Л. Карно (1753 -1823), С. Кулона (1736 - 1806), Г. Монжа (1746 - 1818) (всі Франція, Мьезерська школа Королівського інженерного корпусу). Особливу роль в цій когорті вчених має Г. Монж. Його внесок в розвиток науки - механіки машин - важко переоцінити. Став крилатим серед інженерів його вислов, що " креслення - це мова техніки, а нарисна геометрія - граматики цієї мови ". Він написав підручник з механіки машин.

Розробки Г. Монжа продовжили його послідовники Ашет, Бетанкур, Борньї та інші, нароби яких були викладені у восьмитомному курсі "Повний курс механіки " та тритомному - " Індустріальна механіка " .

Таким чином до 20-30 pp XIX століття механіка машин вже склалась як наука, в першу чергу її розділи - статика та кінематика. Але розвиток різних механізмів і машин, в першу чергу парових вимагав і розвитку динаміки, без якої важко було підвищувати їх ефективність.

До становлення динаміки машин у XIX столітті значний внесок зробила французька школа механіки : Пуансо (поняття пари сил і уявлення про рух тіла під дією сил), Коріоліс (поняття про роботу, прискорення), Понселе (термінологія машин, їх зрівноваження) та ін.

Значний внесок в розвиток механіки машин зробила також італійська (Джуліо) жанглійська (Уевелл , Вілсі), німецька (Грасгоф, О. Мор, К. Бах), російська (П. Чебишев, Л. Асур, В. Горячкін, І. Артоболевський), українська (М. Дьяченко, В. Імшенецький, А. Ляпунов, В. Стеклов, Я. Геронімус) - школи.

Видатними вченим - механіком був перший ректор ХПІ (ХДПУ) академік В. Кірпічов.

4 Рекомендації щодо опрацювання дисципліни.

За основними розділами дисципліни будуть прочитані лекції. Узагальнюючого підручника з дисципліни нема. Тому рекомендується кожному вести конспект.

З окремих розділів, пов'язаних з конкретним матеріалом (тими чи іншими відкриттями, біографіями вчених та винахідників, оригінальними винаходами), кожний студент підготує реферат та виступить з ним перед групою.

В кінці семестру буде проведена Олімпіада, переможці якої, а також студенти, які успішно і активно працювали над дисципліною, будуть звільнені від обов'язкового для інших заліку.

Перед кожною новою темою буде проводитись поточне опитування з матеріалу попередньої.

Завдання та запитання для самоконтролю.

1 Визначіть місце та роль дисципліни "Історія інженерної діяльності" в підготовці кваліфікованих інженерів - механіків.

2 Що треба розуміти під термінами - наука та техніка ? Який існує між ними зв'язок ?

3 Що таке машина ?

4 Перерахуйте основні етапи розвитку механіки машин. Визначте роль І. Ньютона та Л. Ейлера в заснуванні класичної механіки .

5 Який внесок в розвиток механіки машин зробили російська та українська школи механіки ?

Лекція 2 ДЕЯКІ ПОНЯТТЯ, ПОВ'ЯЗАНІ З ТЕПЛОВИМИ МАШИНАМИ

План

- 1 Теплові двигуни та галузі їх застосування.
- 2 Поняття про теплоту, роботу, внутрішню енергію.
- 3 Поняття про робочий цикл ДВЗ.
- 4 Основні показники робочого циклу і ДВЗ.

1 Теплові двигуни та галузі їх застосування.

Машини, які перетворюють будь-який вид енергії в механічну роботу називаються двигунами, а машини, які перетворюють теплоту в механічну роботу, називаються тепловими двигунами.

До двигунів належать :

- 1) Паросилові установки (рис. 1).
 - 1.1 Парові машини.
 - 1.2 Парові турбіни.

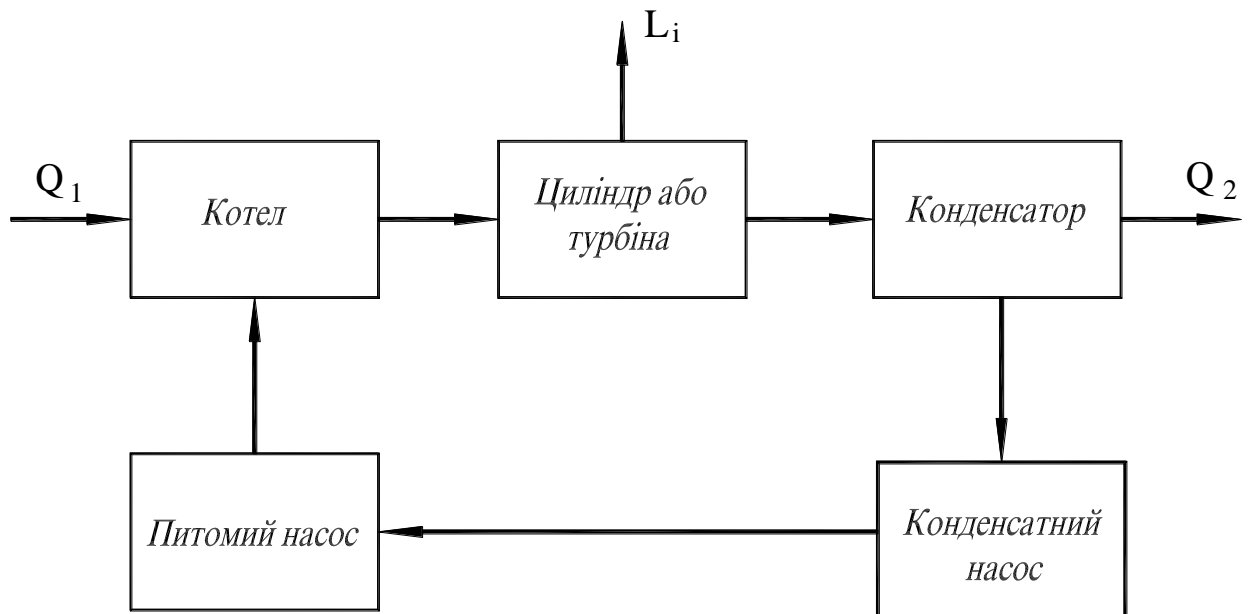


Рис. 1 - Схема паросилової установки

2) ДВЗ.

- 2.1 Поршневі (рис. 2).
- 2.2 Роторні (роторно - поршневі) (рис. 3).
- 2.3 Газотурбінні (рис. 4).

3) Реактивні двигуни (з газовою турбіною) (рис. 5).

Спеціальність 7.090210, Двигуни внутрішнього згоряння орієнтована переважно на поршневі ДВЗ, найбільш поширений клас теплових дви-

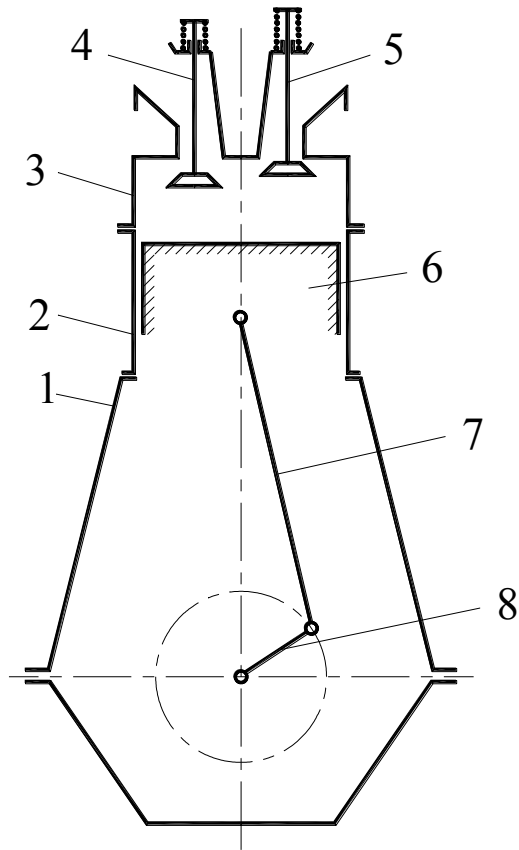


Рис. 2 - Схема поршневого ДВЗ :
 1 - картер; 2 - циліндр; 3 - головка циліндра; 4,5 - впускні і випускні клапани; 6 - поршень; 7 - шатун; 8 - колінчастий вал.

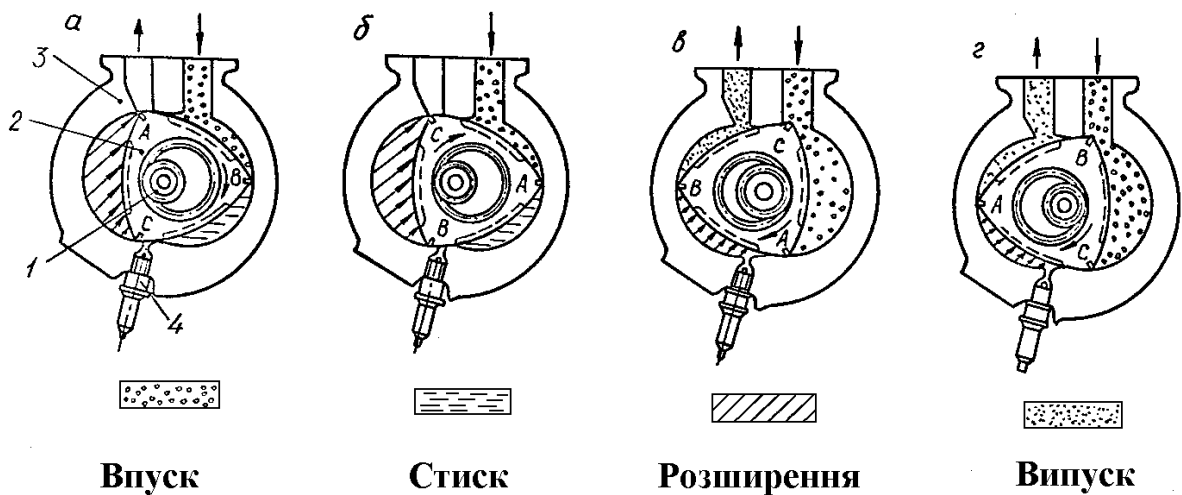


Рис. 3 - Схема роторно поршневого двигуна:
 1- вал відбору потужності; 2- ротор; 3 - корпус; 4 - свічка заплювання.

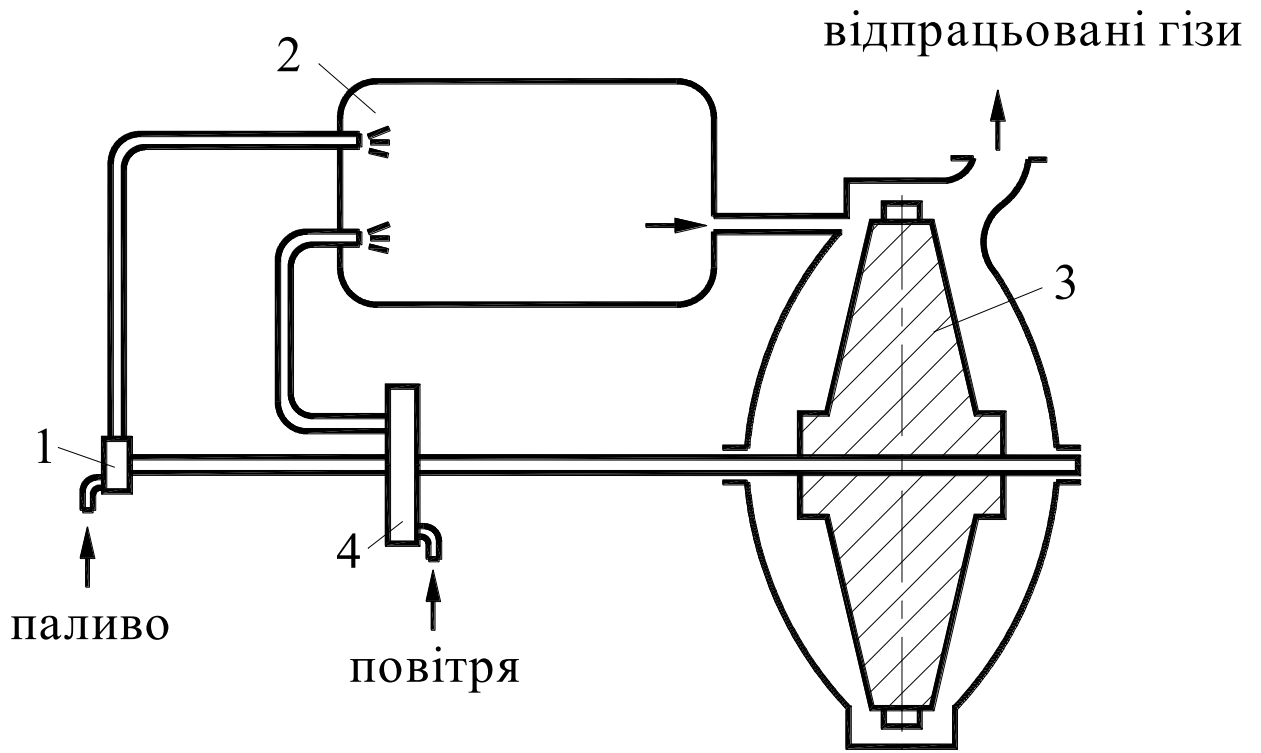


Рис. 4 - Схема газотурбінного ДВЗ :

1- паливний насос; 2- камера згоряння; 3- газова турбіна; 4 - компресор.

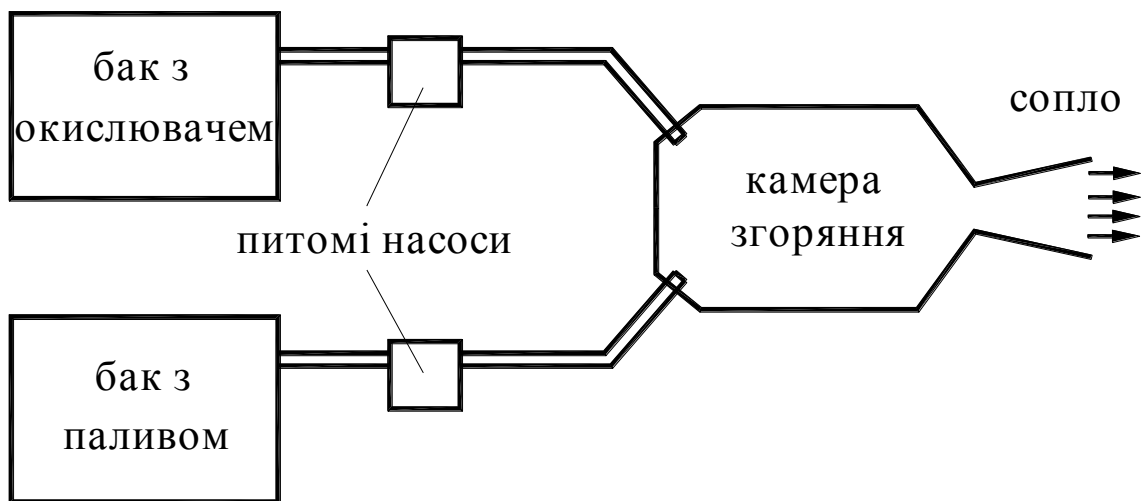


Рис. 5 - Схема реактивного ДВЗ:

1 - бак з паливом; 2- бак з окислювачем; 3 - питомі насоси; 4- камера згоряння.

гунів. Загальна потужність транспортних ДВЗ світу майже в 5,5 разів перевищує загальну потужність гідравлічних, атомних, теплових електростанцій [9].

Практично нема ні однієї галузі господарства, де б не застосовувались поршневі ДВЗ (в подальшому ДВЗ) : транспорт (автомобільний, залізничний, водний, частково авіаційний), енергетика, сільське господарство, промисловість, металургія та ін.

На транспорті ДВЗ, завдяки своїм високим питомим та потужностним показникам, порівняно високій паливній економічності, зручності в експлуатації та ін., займають і ще протягом довгого часу будуть займати провідне місце як силові агрегати. Можливість повної заміни їх іншими силовими установками практично не розглядається.

2 Поняття про теплоту, роботу, внутрішню енергію.

Теплові двигуни (в тому числі і ДВЗ) перетворюють теплоту в механічну роботу.

Теплота - це форма передачі енергії від одного (більш нагрітого) - до другого (менш нагрітого) тіла.

Тому не має сенсу, наприклад, вираз " тіло ма такий-то запас теплоти "

Енергія може передаватись також від одного тіла до другого в формі здійснення роботи або передачі маси.

Довгий час (майже до XIX століття) природа теплоти не була, з'ясована. Теплоту вважали невагомою, невидимою речовиною (теплородом), яка здатна переходити з одного тіла у друге. У XVIII столітті з'явилися припущення про енергетичну природу теплоти, які вперше знайшли підтвердження в роботах Румфорда (1798 р.). Під час сверління гарматних стволів він встановив, що, завдяки тертю різця об ствол (механічна робота), можна одержати значну кількість теплоти в залежності від гостроти різця.

Положення про еквівалентність роботи і теплоти було вперше сформульовано Р. Майером у 1840 р., який обчислив механічний еквівалент теплоти.

Після цього стало очевидним, що перший закон термодинаміки, який об'єднує теплоту, внутрішню енергію і роботу, є, перш за все, пристосуванням закону збереження енергії до теплових двигунів.

Перший закон термодинаміки для ДВЗ записується у формі :

$$Q_i = \Delta U_i + L_i \quad (1)$$

де ΔU_i - зміна внутрішньої енергії тіла ,яка визначається його станом, Дж ;

- L_i - здійснювана робота, Дж.

В теорії ДВЗ беруть до уваги тільки види внутрішньої енергії, які змінюються під час роботи, а саме : кінетичну та потенціальну.

Більш детально ці питання будуть викладатися Вам у курсі "Загальна теплотехніка", а зараз треба лише мати на увазі наступне :

1) теплота (Q) - це форма передачі енергії.

2) виділення або поглинання теплоти пов'язано з процесом зміни стану робочого тіла.

Стан робочого тіла, від якого залежить величина внутрішньої енергії, характеризується (для ідеального газу) рівнянням Клапейрона - Кладіуса :

$$PV = RT \quad (2)$$

де P - тиск, Па;

- V - об'єм, м³;

- T - температура, К;

- R - газова стала, Дж/(кмоль К).

Призначення теплового двигуна свідчить, що він будується для отримання механічної роботи. Однак, отримання цієї роботи повинно супроводжуватись :

1) максимально можливою економічністю (максимальним ККД ДВЗ);

2) в екологічно допустимих умовах.

Показники, які оцінюють ці вимоги до ДВЗ, розберемо нижче на прикладі робочого циклу ДВЗ.

3 Поняття про робочий цикл ДВЗ.

Цикл ДВЗ вбирає в себе процеси підведення та відведення теплоти, здійснення роботи та зміну внутрішньої енергії. Під час цього робота отримується в розширювальній машині (циліндрі з поршнем).

Наведемо цикл сучасного ДВЗ в координатах P (тиск), V (об'єм) (рис. б).

Робочим циклом ДВЗ називається сукупність послідовних процесів, які періодично змінюються й супроводжуються зміною стану робочого тіла в циліндрі, в результаті чого отримується необхідна робота.

Таким чином, робочий цикл ДВЗ складається з окремих процесів (тактів) :

- впуск (наповнення циліндра свіжим зарядом) ;
- стиск ;
- згоряння ;
- розширення (робочий хід) ;
- випуск.

4 Основні показники робочого циклу і ДВЗ.

4.1 L_i , Дж - індикаторна робота, тобто робота, яка звершується у середині циліндра ДВЗ за цикл

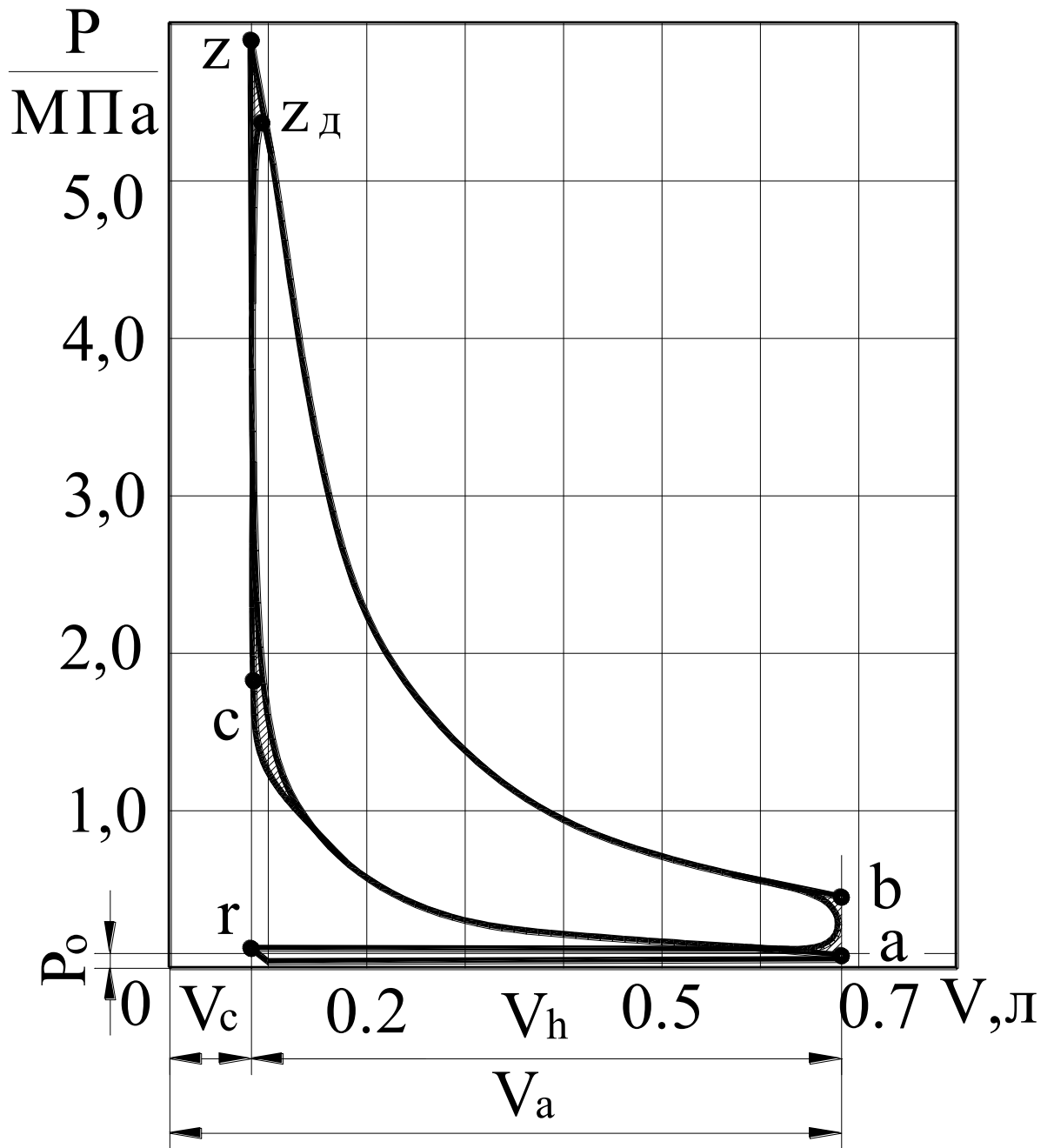


Рис. 6 - Робочий цикл бензинового ДВЗ :

$\overline{r-a}$ - процес впуску; $\overline{a-c}$ - процес стиску; $\overline{c-z}$ (z_d) - процес згоряння (z_d - кінець дійсного згоряння); $\overline{z-b}$ (z_d)-в - процес розширення; $\overline{b-r}$ - процес випуску; V_a - повний об'єм циліндра; V_c - об'єм камери згоряння; P_0 - атмосферний тиск.

4.2 P_i - питома індикаторна робота (тобто робота, яка перепадає на одиницю робочого об'єму) або середній індикаторний тиск (назва витіка з розмірності показника);

Чим більше значення P_i , тим, при інших однакових умовах ДВЗ виконує більшу роботу, тобто розвиває більшу потужність, N_i .

$$P_i = \frac{L_i}{V_h} \quad \left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}; \text{Па} \right] \quad (3)$$

4.3 N_i - індикаторна потужність;

$$N_i = \frac{P_i V_h \cdot i \cdot n}{120}, \text{ кВт} \quad (4)$$

де i - число циліндрів ;

n - частота обертання колінчатого валу , хв^{-1} ;

V_h - робочий об'єм циліндра, м^3 .

4.4 η_i - індикаторний ККД, показник ефективності робочого циклу:

$$\eta_i = \frac{Q_i}{Q} = \frac{L_i}{Q} \quad (5)$$

де Q - кількість теплоти, внесеної в циліндр з паливом за цикл, Дж;

Q_i - кількість теплоти, яка перетворилась в індикаторну роботу, Дж.

Величина η_i в ДВЗ складає 0,3 - 0,5, тобто в індикаторну роботу перетворюється не більш 50 % теплоти, що виділилась в циліндрі. В роботу ДВЗ перетворюються ще менша її кількість, бо існують механічні втрати двигуна (втрати на тертя, на привід допоміжних механізмів та на газообмін - впуск та випуск).

Тому показники ДВЗ, що позначаються відповідно : L_e , N_e , P_e , η_e , відрізняються від показників індикаторного циклу на величину механічного ККД , η_m .

$$\eta_m = 0,7 - 0,82$$

Завдання та запитання для самоконтролю

- 1 Які машини називаються двигунами ?
- 2 Які силові установки належать до теплових двигунів ?
- 3 Які теплові двигуни належать до ДВЗ ? Розшифруйте цю аббревіатуру.
- 4 Окресліть межі використання ДВЗ. Чим пояснюється таке широке їх застосування ?

5 Що таке теплота ? Поясніть історію зміни розуміння поняття "теплота".

6 Якими параметрами характеризується стан робочого тіла?

7 Що називають робочим циклом ДВЗ ? Тактом ? Перерахуйте такти, з яких складається робочий цикл чотиритактного ДВЗ.

8 Назвіть та дайте характеристику основним показникам робочого циклу ДВЗ.

9 Перерахуйте основні показники роботи ДВЗ. Чим вони відрізняються від показників робочого циклу (індикаторних показників)?

Лекція 3 ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ПАРОВИХ МАШИН

План

- 1 Основні джерела енергії до виникнення парових машин. Причини, які обумовили виникнення парових двигунів.
- 2 Перші парові пристрої (~ до 1700 р).
- 3 Від парових пристроїв до промислових парових машин (роботи Севері, Папена, Ньюкомена).
- 4 Парова машина І. Ползунова.
- 5 Універсальна парова машина Д. Уатта, та її модифікації.
- 6 Переваги та недоліки парових машин.

1 Основні джерела енергії до виникнення парових машин (до XVII століття). Причини, які обумовили виникнення парових двигунів.

В далекому минулому основним джерелом виконання різноманітних робіт була спочатку м'язова енергія людини, а потім приручених нею тварин. Це накладало відповідний відбиток на розвиток техніки, темпи (повільні) і навіть результати праці (архітектуру споруд та ін.). Тим паче необхідно констатувати, що в цей період було збудовано багато чудових споруд : храмів, пірамід, сфінксів та ін., які і в наш час прикрашають деякі країни Близького Сходу, Африки, Америки.

Поступово м'язова енергія доповнювалась і навіть частково замінювалась енергією води та вітру. Водяні двигуни та вітряки не тільки пережили тисячоріччя, широко використовані в мукомольній, суконній, гірничій справах, а й не втратили свого значення зараз. Ще приклад, металургійна промисловість Великобританії більш ніж 500 років розміщувалась тільки на берегах річок та водоспадів. Аналогічно металургія Уралу, Алтаю та ін. довгий час теж переважно розміщувались на берегах річок.

Для збільшення вироблюваної енергії водяні та вітрові колеса будувались в декілька рядів, збільшувався їх діаметр, що дозволяло довести потужність установки до 30 - 50 і більше кінських сил (к.с.) На озері Мен в Великобританії найбільша в світі водовідкачувальна установка мала колесо діаметром 22 м і розвивала потужність ~ 200 к.с.

2 Перші парові пристрої (~ до 1700 р).

З часом, у зв'язку з інтенсивним і різноманітним розвитком ремесел потреби в збільшенні вироблюваної енергії швидко зростали. За-довольнити їх вже не можна було шляхом простого підсумовування мускульної сили або розтягування строку виконання роботи у часі. Не вирішували задачу також вода і вітер, застосування яких були обмежені територіально і часом. Особливо терпіла від цього гірнича промисловість. Глибина шахт в XVI - XVII століттях почала перевищувати 100 м і всі зусилля людей і тварин, а там де можна - водяних та вітрових колес, не вирішували задачі відкачування

води з таких глибин. Це стало одним з спонукаючих мотивів для інтенсивних пошуків інших шляхів здобуття енергії.

Вчені та винахідники звернулися до застосування для завершення роботи теплоти, яка виділяється при згорянні палива [3-5].

Ще з стародавніх часів до нас дійшли рисунки окремих теплових агрегатів, які застосовувались, головним чином, у релігійних цілях (наприклад реактивна турбіна (рис. 7) та ін.).

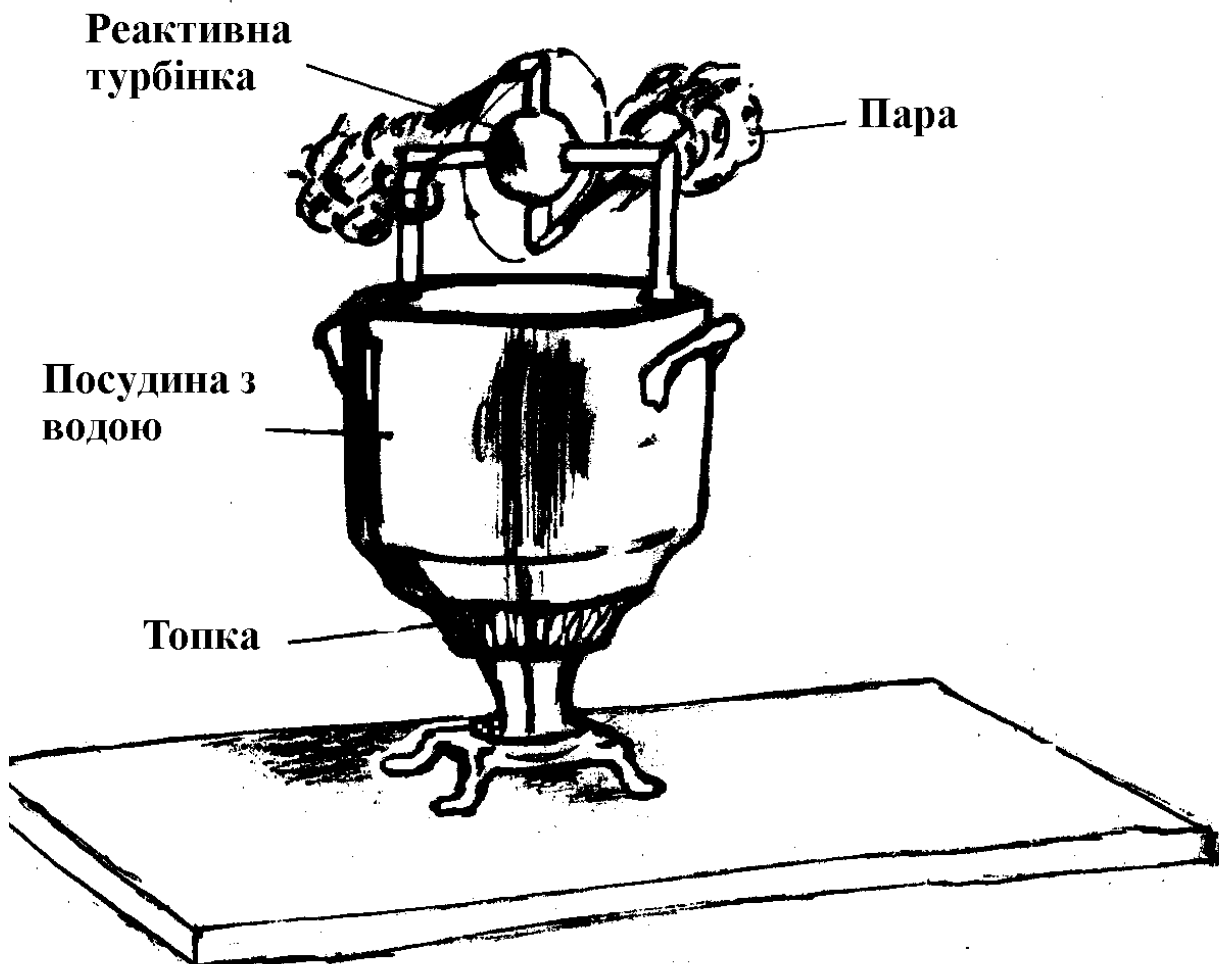


Рис. 7 - Реактивна турбіна

Обмеженість щодо практичного застосування їх майже до початку XVII століття пояснюється відсутністю попиту на них. Тому, коли на початку XVII століття постала потреба в машинах, які б дозволяли плавити метал, добувати вугілля, відкачувати воду з шахт та ін., були значно інтенсифіковані роботи з побудови теплових машин.

До нас не дійшли всі перипетії окремих етапів їх розробки, але й те, що відоме, дозволя скласти досить чітку картину початку розвитку теплових машин.

В 1615 р. французький "архітектор фонтанів" Соломон де Ко запропонував спосіб підймання води завдяки теплоті за допомогою порожнистої кулі зі встановленою в неї трубкою, через яку в кулю заливалась вода (рис. 8). Під кулею розводилось вогнище, тиск пари води підіймав остан

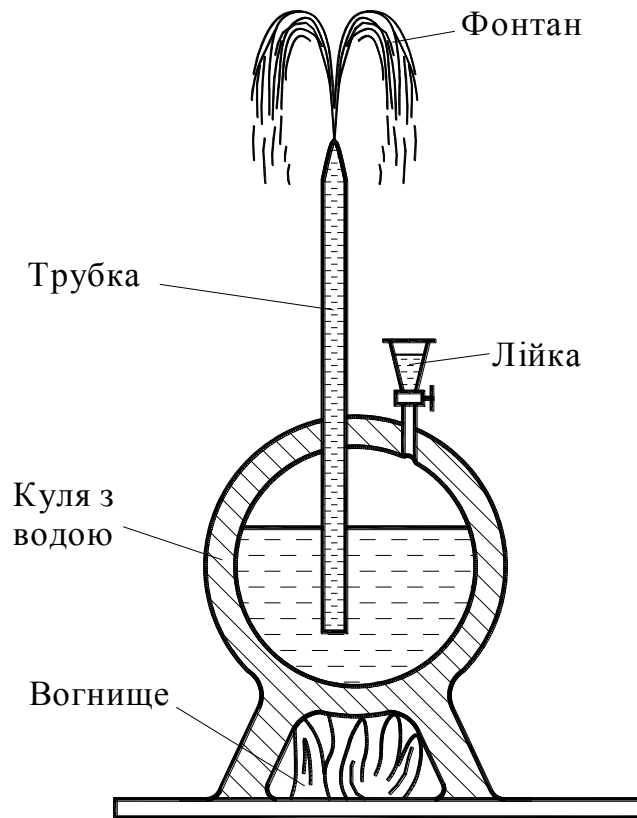


Рис. 8 - Паровий фонтан Соломона де Ко

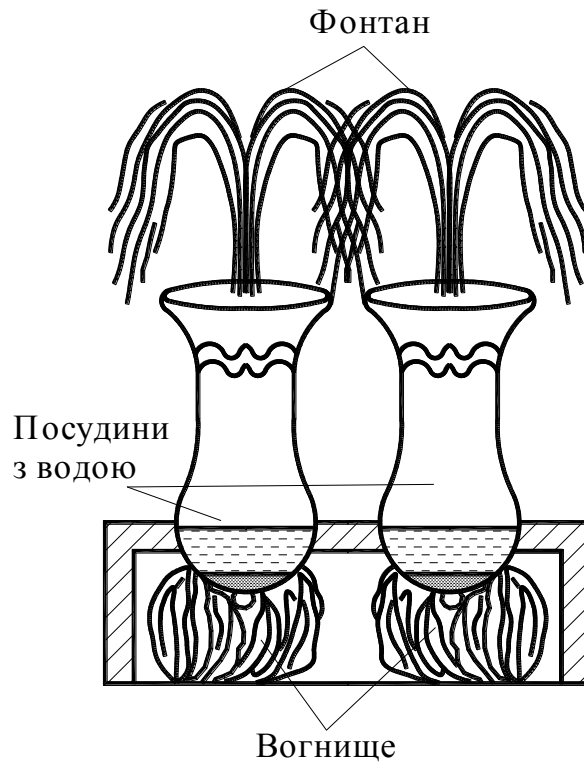


Рис. 9 - “Двогарматний насос” Сомерса
 ню на значну висоту. Однак, апарати де Ко не знайшли практичного засто-
 сування для відкачування води з шахт через те, що : по-перше, необхідно бу-

ло гріти воду в кулі, що не ефективно ; по-друге, по трубці фонтану піднімалась та розпоршувалась гаряча вода ; в-третє, для наступного циклу кулю треба було заповнювати новою порцією води, на що витрачалась робота і час.

Відомі також і інші аналогічні описаній пропозиції та конструкції, які не вирішували проблеми. Наприклад , "двогарматна" машина Е. Сомерсета (1661 р.), яка, за думкою автора, повинна була забезпечувати безперервну роботу (рис. 9).

Значним поштовхом для розвитку теплових машин, які в подальшому отримують назву "атмосферні", стали досліди бургомістра Магдебурга Отто фон Геріке. У 1654 р. він продемонстрував ефект атмосферного тиску. Зроблену ним "магдебурську кулю" (з двох півкуль), з якої було відкачане повітря, не могли роз'єднати 16 коней. Не менш наочним був експеримент з циліндром та поршнем. Коли з простору над і під циліндром було відкачано повітря, а потім простір над поршнем був з'єднаний з атмосферою, двадцять чоловіків були підняті вгору на платформі, яка з'єднувалась через блок з поршнем.

Ці та інші досліди наштовхнули вчених Ж. Готфельда та Х. Гюйгенса на розробку перших пристроїв, які нагадували ДВЗ (рис. 10).

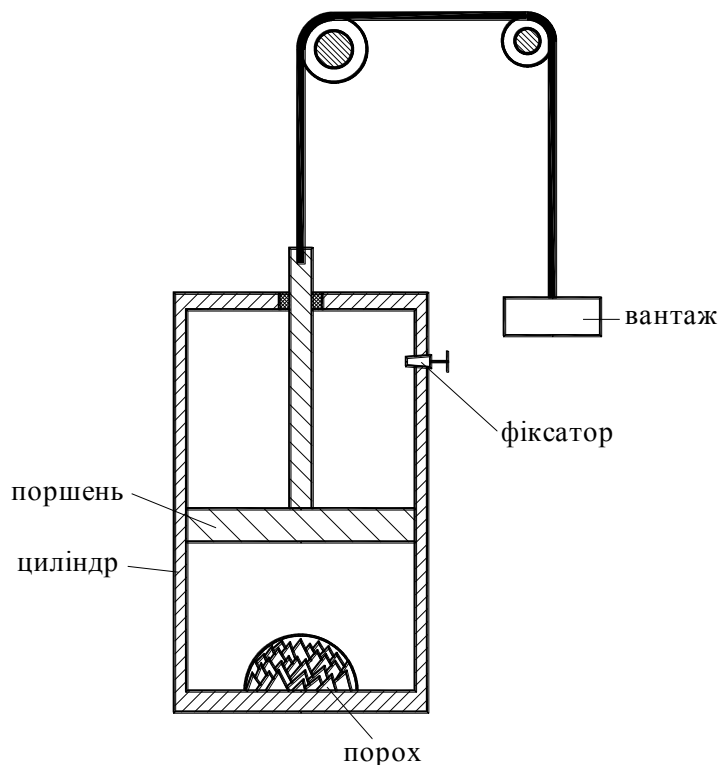


Рис. 10 - пороховий тепловий пристрій

В циліндрі під поршнем запалювався порох. Під дією тиску продуктів згоряння поршень підіймався. Його фіксували у верхньому положенні, а продукти згоряння охолоджували. Їх об'єм зменшувався і під поршнем виникало

розрідження. Під дією атмосферного тиску (звідси назва "атмосферна машина") поршень опускався до низу і здійснював роботу.

Цей принцип знайшов широке застосування в теплових машинах, включаючи перші ДВЗ.

Одночасно з пошуком конструктивних рішень, вчені намагались дати теоретичне пояснення цим роботам. Так, у 1683 р. англієць С. Морленд вперше чітко пояснив, що для піднімання води шляхом використання теплоти згоряння, воду (або частку її) спочатку треба перевести в пар. В 1690 р. француз Д. Папен показав, що для отримання в попередньому процесі роботи, крім випаровування води, необхідно здійснювати і конденсацію пару. Таким чином, він фактично описав замкнутий цикл парової машини.

Слід зауважити, що всі ці пристрої не могли скласти конкуренції в той час дешевій м'язовій енергії рабів, енергії водяних та вітрових колес.

З часом акценти змінювались Гірничу промисловість прагла більш ефективних та досконалих машин, які почали з'являтися на рубежі XVII та XVIII століть.

3 Від парових пристроїв до промислових парових машин (роботи Т. Севері, Д. Папена, Т. Ньюкомена)

Лікар, механік француз Д. Папен та англійський рудокоп (потім власник шахт) Т. Севері майже одночасно наполегливо розробляли конструкції теплових водовідкачувальних з шахт машин. Спочатку Д. Папен під впливом голландського вченого Х.Гюйгенса, у якого працював в лабораторії, за робоче тіло теплової машини обрав порох. Але він швидко зрозумів, що через незначну конденсацію порохових газів, отримати значну роботу в атмосферній машині не можна і перейшов до досліджень з водою, точніше з паром. Д. Папену вдалось забезпечити значне розрідження в циліндрі.

Його машина складалась з вертикального циліндра з поршнем, під яким містилась вода. Нагріваючи дно циліндра, воду переводили в пар, під тиском якого поршень переміщувався вгору, де і фіксувався упором. Потім циліндр охолоджували водою, пар конденсувався, упор виймався, і поршень під атмосферним тиском переміщувався вниз, звершуючи роботу. Машина мала здійснювати не більше одного робочого руху (циклу) за хвилину, а потужність її не перевищувала 1 к.с. при значних витратах палива.

Т. Севері у 1698 р. вперше відокремив у водовідкачувальному насосі робоче тіло (водяний пар) від води. Для цього в машині він запропонував окремий котел для випаровування води, а пар через кран перепускався до іншої посудини з водою, яку він і витискував вгору через напорну трубку (рис. 11).

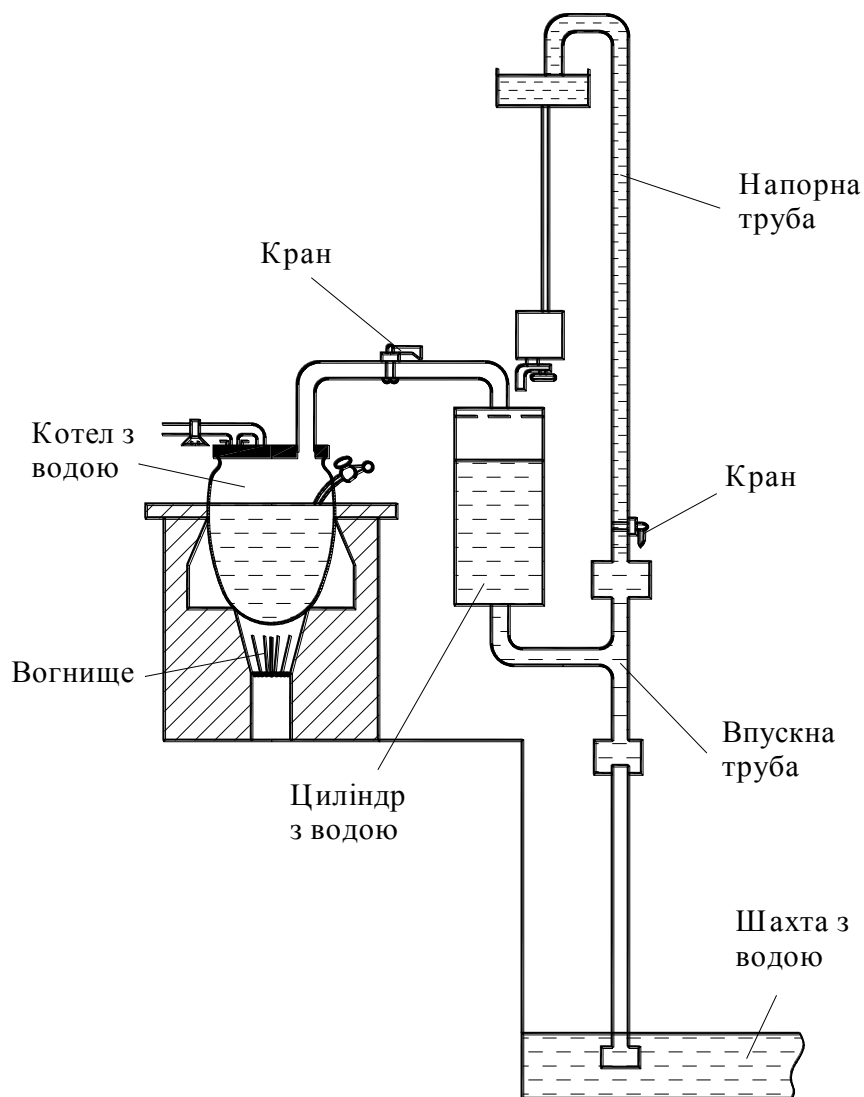


Рис. 11 - Паровий водовідкачувальний насос Севері

Коли вся вода витискувалась і в посудині залишався лише пар, вихід з напорної трубки перекривався краном, а посудина обливалася водою. Пар конденсувався, виникало розрідження і через впускну трубку до посудини засмоктувалась нова порція води. Цикл повторювався. Відносний автоматизм, швидкодія та циклічність роботи були значними перевагами машини Т. Севері. Вона користувалась попитом. Її головним недоліком було те, що висота підймання води не перевищувала 28 м. Т. Севері назвав свою машину "Друг рудокопа".

Подальше вдосконалення водяного насоса Т. Севері було здійснено французьким вченим Дезагуль за рахунок конденсації пару шляхом вприскування до посудини з ним води. Це значно збільшило частоту робочих ходів. Одну з таких машин виправ до Росії і установив в Літньому саду в Петербурзі Петро 1.

Наступний значний крок в удосконаленні водовідкачувальних теплових машин зробив у 1705 р. англійський винахідник (коваль за професією) Т. Ньюкомен. Він розділив функції насоса та двигуна. Привід насоса забезпечувався за допомогою коромисла, а конденсація пара - шляхом вприскування в циліндр з ним води з наступним повертанням конденсату в котел.

Подальше вдосконалення машини Т. Ньюкомена пов'язано з застосуванням :

- двох котлів (німецький інженер Леопольд);
- автоматичного паророзподілення (англійський інженер Бейтон, 1718 р.) та ін.

Вдосконалені машини Т. Ньюкомена (рис. 12) отримали значне розповсюдження і домінували як водовідкачувальні декілька десятків років (з 1705 до 1765 рр.).

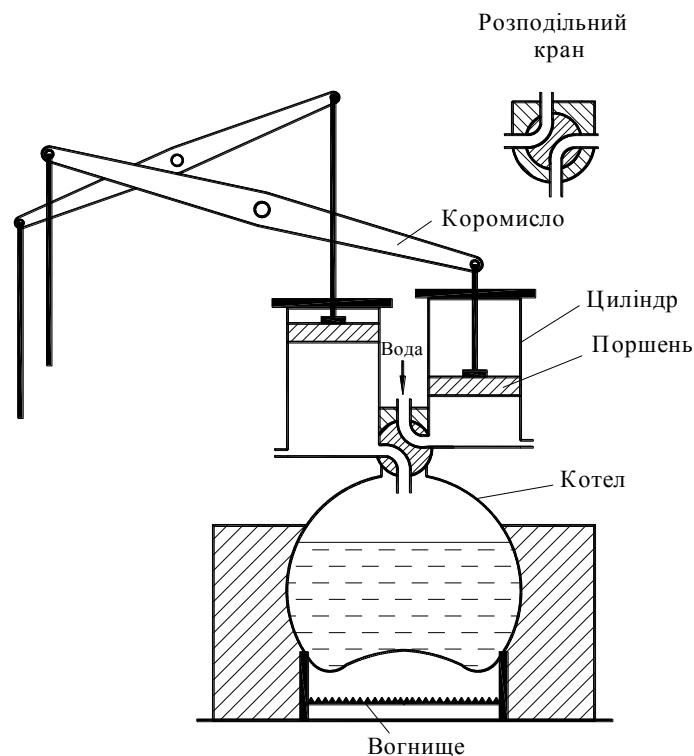


Рис. 12 - Водовідкачувальна машина Ньюкомена

Все-таки це була лише водовідкачувальна, а не універсальна машина, яка б задовольняла вимоги промисловості, що зростали.

4 Парова машина І. Ползунова.

Російський механік Воскресенських заводів на Алтаї одним із перших збагнув, що парова машина здатна приводити в рух не тільки водяні насоси, а й забезпечувати роботу інших пристроїв, наприклад, ковальських міхів, фабричних колес та ін. через допоміжний вал і шківи. В 1763 р. він розробив проект такої машини і подав його на затвердження начальнику гірничого округу на Алтаї (рис. 13) [7].

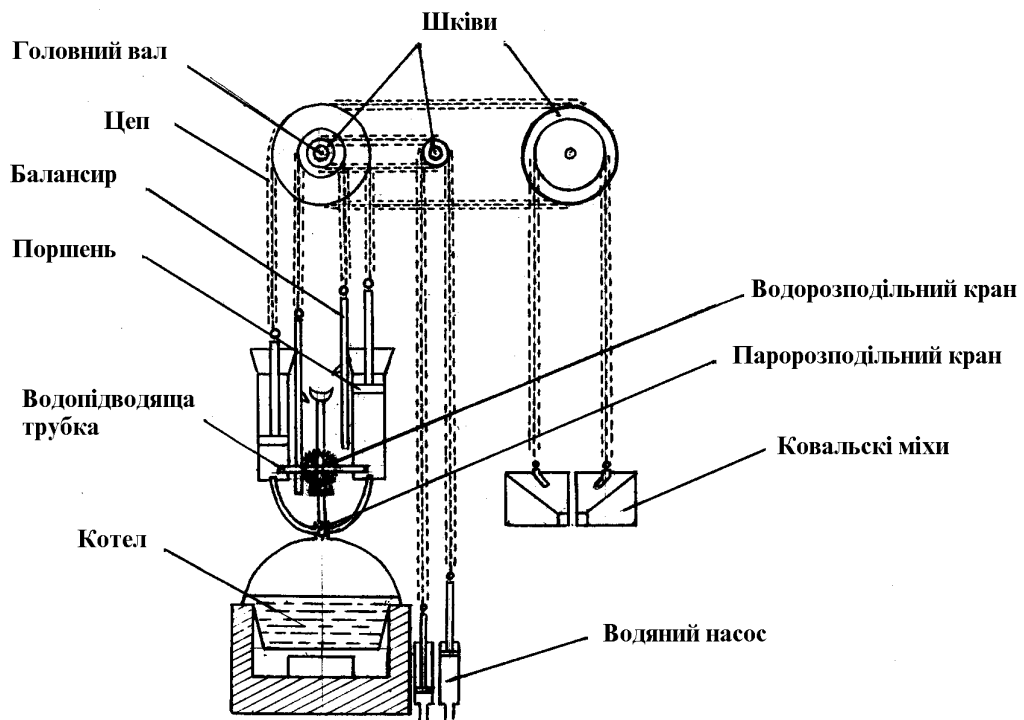


Рис. 13 - Парова машина Ползунова

Від атмосферної машини Т. Ньюкомена парова машина І. Ползунова відрізнялась істотними ознаками :

- двома поршнями, які рухались поперемінно;
- наявністю шківів, що оберталися;
- оригінальними системами паро - та водорозподілення.

Ползунов виконав досить надійні обчислення розробленої машини, розробив раціональні способи виготовлення її деталей і забезпечив її побудову у 1765 р. Машина працювала. На жаль : І. Ползунов невдовзі після цього помер від сухоти, а "безпритульну" машину демонтували у 1779 р.

5 Універсальна парова машина Д.Уатта та її модифікації.

Інакше склалась доля другого талановитого винахідника - англійця Д.Уатта, який у 1769 р. одержав патент на тепловий двигун, тобто на шість років пізніше проекту І. Ползунова.

Д. Уатт був досвідченим і енергійним винахідником. Працював механіком в Глазго. Він зміг критично проаналізувати досвід робіт Севері, Папена, Ньюкомена і визначити, що головною причиною низького ККД їх машин ($< 1\%$) є примусове охолодження циліндра з паром, шляхом обливання його водою. Він вирішує використати ідею Д. Папена і Т. Севері і винести процес конденсації пару за межі циліндра. Цей крок завершив формування робочого циклу парової машини.

Д.Уатт також зробив висновок, що для підвищення економічності парової машини циліндр повинен бути весь час гарячим, як і пар, що входить

до нього, а конденсація пару для створення необхідного вакууму, повинна відбуватись поза ним при температурі не вище, ніж 30 °С.

Революційним є також висновок Д. Уатта, що для збільшення потужності парової машини необхідно використовувати не атмосферний тиск, а тиск пару, що дозволяло досить простою зміною тиску пару регулювати потужність парової машини.

Парова машина Д. Уатта увібрала в себе майже всі досягнення у галузі, що мали місце в той час (рис. 14).

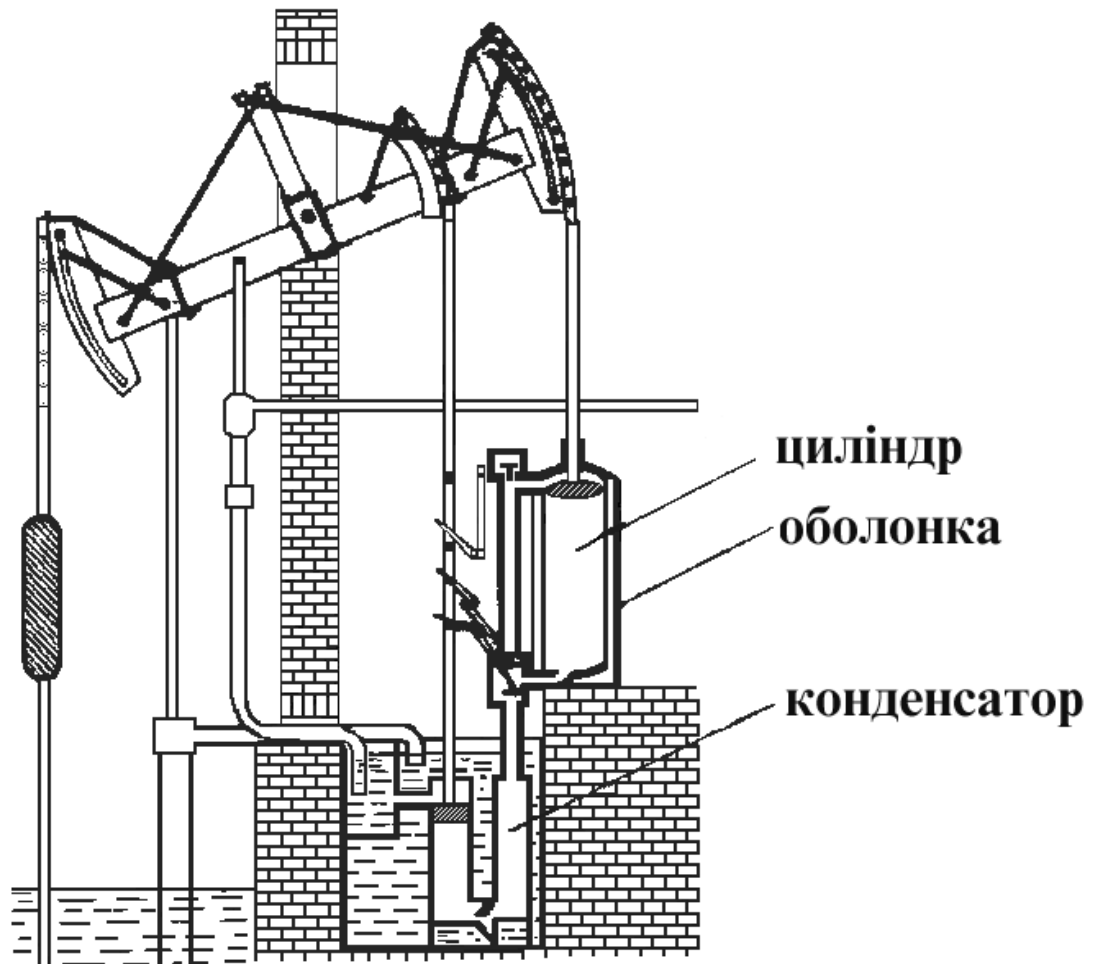


Рис. 14 Парова машина Уатта

Сам Д. Уатт був людиною ініціативною, цілеспрямованою, що проводила кропітку і жорстку патентну політику і переймала для вдосконалення парової машини все краще, що з'являлось. При цьому він вів жорстку боротьбу з конкурентами, нехтуючи іноді новими цінними винаходами. Так, він через суд не допустив використання у паровій машині пару високого тиску, запропонованого Д. Горнблоуером, що давало б значні переваги, підвищуючи ККД парової машини.

Д. Уатт вперше в світі запропонував сервісне обслуговування та ремонт теплових машин, які він виготовляв. Фактично парові машини Д. Уатта майже сто років були єдиними тепловими двигунами, які застосовувались в різних виробництвах, (гірничному, ткацькому, металургійному, ковальському та ін.) на транспорті і навіть в авіації.

6 Переваги та недоліки теплових машин.

Парова машина була першим тепловим двигуном, з порівняно високим ККД (до 4 %), досить мобільним і надійним. Особливо вона відповідала вимогам виробництв з безперервним виробничим процесом (гірнична, текстильна промисловість та ряд ін.).

Але вона мала і істотні недоліки :

- громіздкий котел (звідси незадовільні, особливо для транспортних засобів, масо-габаритні показники);
- значний час запуску (приведення до дії);
- недостатня економічність (низький ККД);
- неможливість забезпечення значного діапазону зміни навантаження (N_e) та ін.

Основні з цих недоліків були пов'язані з застосуванням як робочого тіла - пару, для отримання якого були потрібні значний час і витрата значної кількості палива. Для усунення перелічених недоліків необхідний був принципово новий двигун, який би був позбавлений значної частини їх. Таким двигуном став ДВЗ.

Завдання та запитання для самоконтролю.

1 Перерахуйте основні джерела енергії до появи теплових (парових) машин (\approx до XVIII століття).

2 Які причини обумовили появу теплових машин ?

3 Дайте характеристику першим тепловим іграшкам (роботи де Ко, Е. Сомереста ; та фон Геріке).

4 Дайте характеристику роботам Х. Гюйгенса, Д. Папена та Т. Севері над тепловими машинами.

5 Назвіть особливості парового насоса Т. Ньюкомена.

6 Дайте характеристику універсальній паровій машині І. Ползунова.

7 Оцініть значення робіт Д. Уатта з удосконалення парової машини.

Лекція 4 ІСТОРІЯ СТВОРЕННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ТА ЗОВНІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ. ПЕРШІ ПРОМИСЛОВІ ЗРАЗКИ ДВЗ

План

1 Потреба в досконалих теплових машинах.

2 Перші спроби розробки ДВЗ (роботи Гюйгенса, Готфельда, братів Ньєпсів, Еріксона та ін.).

3 Двигуни зовнішнього згоряння Р. Стірлінга.

4 Застосування світильного газу як моторного палива.

5 Перші конструкції ДВЗ (Брауна, Бернета, Барзанті та ін.).

6 Перші промислові двигуни Ж. Ленуара.

1 Потреба в досконалих теплових машинах.

На прикінці XVII століття парова машина стала єдиним універсальним тепловим двигуном. В той же час задовольнити велику кількість різних виробництв, які швидко розвивались та збільшувались, вона вже не могла. Потрібен був порівняно невеликий, мобільний, економічний двигун із значним діапазоном зміни потужності. Але навіть уявити собі такий двигун, який працював би за іншими, ніж парова машина, принципами, в той час було важко. Вважалось, що в будь якій тепловій машині робоче тіло повинне мати властивості пару, який потрапляє в циліндр для здійснення роботи, у вигляді однорідної маси з однаковими температурою та тиском. Ще з часів Х. Гюйгенса було відомо, що таким робочим тілом могли бути продукти згоряння (наприклад, порохові гази). При цьому наочними були деякі їх переваги, головна з яких та, що для отримання роботи більш доцільно користуватись теплотою палива, яке згоряє без-посередньо в циліндрі, ніж спалювати його для одержання пара, а потім вже використовувати теплоту останнього.

Раніше зазначалось, що протягом багатьох десятиріч (і навіть сторіч) робились численні спроби розробки теплових двигунів, які б працювали на газовій суміші (порохові гази, спирт та ін.), але успіху вони не мали. Це можна пояснити декількома обставинами. По-перше, не було гострого попиту на такі двигуни, по-друге, принцип роботи атмосферного двигуна передбачав значну зміну об'єму робочого тіла під час його конденсації (такі властивості найбільшою мірою були притаманні саме пару); по-третє, можливості металургії та технологічний рівень виробництва, для реалізації цих пропозицій, був занадто низьким.

Очевидно, що рішення цієї проблеми, насамперед, залежало від винаходу відповідного палива. Історія зберегла деякі з пошуків у цьому напрямку.

2 Перші спроби розробки ДВЗ (роботи Гюйгенса, Готфельда, братів Ньєпсів, Еріксона та ін.).

Одні з найперших спроб добитись успіху в заміні пару як робочого тіла в тепловій машині належали Ж. Готфельду (1670 р.) та Х. Гюйгенсу (1680 р.). Обидва розробили схеми атмосферних двигунів, у яких завдяки тиску порохових газів поршні підіймались вгору в циліндрі, де вони фіксувались.

Далі у Х. Гюйгенса - гази охолоджувались і конденсувались, а атмосферний тиск повертав поршень вниз (після того, як відводився упор), здійснюючи роботу.

В двигуні Ж. Готфельда - під дією розрідження підпоршневий простір заповнювався водою, яка конденсувала газ. Після конденсації поршень, що рухався вниз, витискував воду, здійснюючи роботу.

Ніодному з них не вдалося реалізувати свої винаходи, через низький рівень тодішньої техніки. Так Х. Гюйгенс не зміг зробити круглий поршень і ушільніти його в циліндрі (для цього він застосував глину, гіпс та ін.).

До наступних спроб в цьому напрямку, які зафіксовані документально, треба віднести роботи братів Ньєпсів (1800 р., тобто через 100 років після Х. Гюйгенса та Ж. Готфельда). Однією з спонукаючих для цих робіт причин було бажання знайти інше паливо для парових машин замість дефіцитного для Франції вугілля. В 1794 р. брати писали, що під час "пошуків сили, яка б змогла зрівнятися з силою парових машин, але не потребувала б ... стільки палива, ми припустили, що наші вимоги могло би задовольнити атмосферне повітря, яке розширювалось вогнем". Але як при цьому забезпечити однорідність складу робочого тіла і компенсувати відсутність конденсації? "Брати вважали, що для цього повітря в циліндрі треба "пронизати надто горючим, дрібним порошком, який необхідно розсіяти у всьому об'ємі. Він збудить значну енергію (щось подібне до вибуху). За такий порошок брати обрали лікоподій - насіння спорової рослини плавуна. Цей порошок тоді використовувався для ефектних спалахів під час театральних дій. Двигун вони назвали "піреолофор" від 3-х грецьких слів : "пір" - вогонь; "еол" - бог вітру; "фор" - виробляю. Брати намагались застосувати свій двигун на судах, (для підйому води) та на екіпажах, але для цього запропонованого палива було занадто мало. Вони пробували як паливо суміш кам'яного вугілля та смоли і навіть нафту, та конкурувати з паровою машиною їх двигуни, які слід віднести до перших зразків ДВЗ, не могли. Брати припинили свої дослідження з розробкою ДВЗ і захопились фотографією, завдяки якій стали відомими.

Історії "відомі" також роботи із заміною водяного пару повітрям у так званих "калорічних двигунах", які фактично були аналогами парових машин.

Швед С. Еріксон збудував і поставив свої двигуни (чотири) на пароплав. У цих двигунів (рис. 15), як і у паровій машині, під робочим

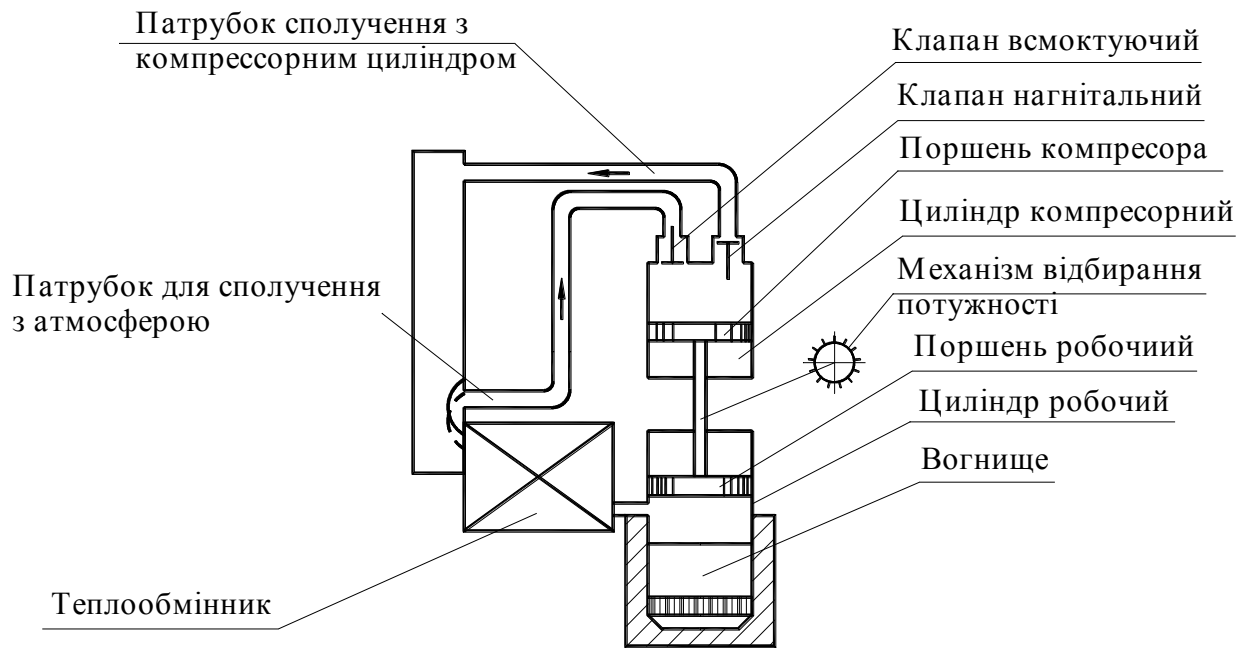


Рис. 15 - "Калоричний" двигун Еріксона

циліндром розміщувалось вогнище. Циліндр з'єднувався з теплообмінником, який по черзі міг сполучатися або з атмосферою, або з нагнітальним клапаном компресорного циліндра. Коли у топці розводився вогонь, повітря в робочому циліндрі нагрівалося і піднімало поршень, який передавав зусилля до механізму відбирання потужності та переміщував поршень компресора. Відпрацьоване гаряче повітря через теплообмінник (мідну стінку) видалялось в атмосферу. Потім в робочий циліндр через теплообмінник поступало повітря, стиснуте в компресорі. Механізм відбирання потужності повертав поршень до низу і цикл повторювався. Двигун Еріксона поступався по потужності, яку розвивав, і економічності паровим машинам. Тому розповсюдження не мав.

3 Двигун зовнішнього згоряння Р. Стірлінга.

Одночасно з роботами над ДВЗ проводились роботи і над двигунами зовнішнього згоряння, в яких пар замінювався повітрям [9-10]. Головна проблема при створенні таких двигунів була в тому, що великі складності виникали з одержанням стиснутого нагрітого повітря, яке б було здатне під час розширення віддавати більшу роботу ніж та, яка витрачена на його стиснення.

В 1816 р. пастор Р. Стірлінг, міністр у справах церков Шотландії, взяв патент на такий двигун. Перші двигуни за таким принципом були побудовані у 1818 р.. Вони приводили в дію водяні насоси, станки, повітрядувки та ін.

Через наявність нагрівача та теплообмінника двигуни були надто громіздкими та важкими. Щоб зменшити габарити та масу їх будували без теплообмінників, але через це вони ставали не конкурентоспроможними порівняно з паровими машинами, а потім з ДВЗ (через низькі ККД та потужність у зв'язку з обмеженням здійснюваних перепадів та, низькою якістю матеріалів). До цього двигуна повернулись лише через 100 років (1938 р. фірма "Філіпс").

Головні його переваги : робота на будь - якому паливі, плавне збільшення тиску, відсутність шуму, вібрацій, клапанів системи газорозподілення та системи живлення та ін.

Кінематичні схеми цих двигунів можуть бути різними. Принципова наведена на рис. 16.

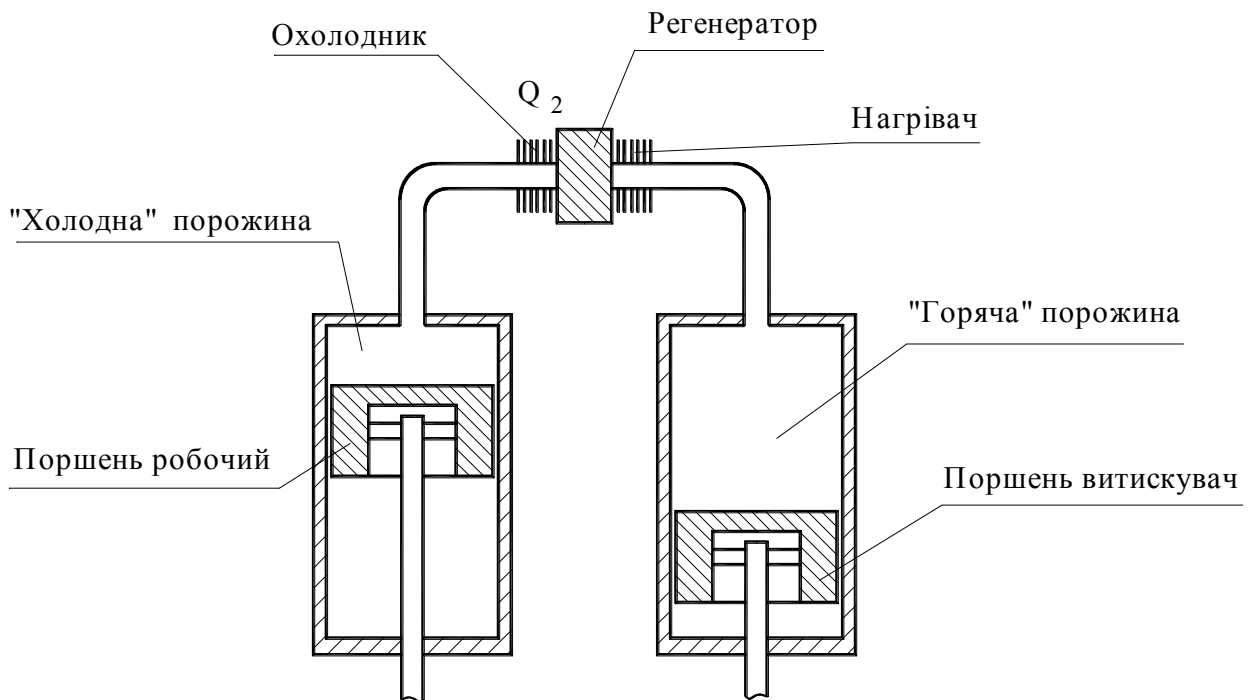


Рис 16. - Принципова схема двигуна Стірлінга

В циліндрі (або циліндрах) є два поршні (робочий та поршень-витискувач) та дві порожнини - "гаряча" та "холодна". Вони з'єднуються перепускною магістраллю, в якій розміщені теплообмінник, регенератор та нагрівач. Поршні рухаються в циліндрах поперемінно завдяки складному привідному механізму. Їх мертві точки - зміщені. Поршень - витискувач - переміщує робоче тіло із "гарячої" порожнини в "холодну" і навпаки.

Робочий цикл здійснюється за два такти. Він починається із ізотермічного ($T = \text{const}$) стиску за рахунок відведення теплоти в теплообмінник. Після цього - під час переміщення стиснутого повітря через підігрівач відбувається ізохорне ($V = \text{const}$) відведення теплоти. Потім настає ізотермічне розширення, під час якого здійснюється робота. Завершується цикл - ізохорним охолодженням.

Регенератор, повертає теплоту відпрацьованного робочого тіла цьому ж робочому тілу перед нагріванням, що збільшує ККД (це найважливіша особливість) цього двигуна.

В сучасних двигунах повітря замінено гелієм або воднем. Їх ККД досягає 40 %.

4 Застосування світильного газу як моторного палива.

Історія найчастіше не залишає повної картини здійснення того чи іншого винаходу. Так було і з тепловими двигунами. Через це помилки повторюються знову і знову, забираючи багато марної праці, часу і коштів. Ось чому так необхідно зберегти для історії навіть тенденції та окремі відомості про ті чи інші винаходи, що збереглися.

Відносно палива для ДВЗ

Вже йшла мова про застосування лікоподія братами Ньепсами.

Ще в 1794 р. винахідник Р. Стріт запропонував атмосферний двигун, який працював на спирту. Спирт наливався на дно циліндра, випаровувався і зміщувався з повітрям. Після згоряння суміші, пари її піднімали поршень і здійснювали роботу.

У 1820 р. англієць С. Сесиль запропонував використовувати як паливо у двигунах водень, а у 1841 р. Р. Джонстон - суміш водню з киснем. Але через дорожнечу водню, складність його отримання та зберігання - такі двигуни не знайшли застосування.

Прогрес в розробці працездатного ДВЗ був пов'язаний з відкриттям нового газового палива - світильного газу. Його відкрив француз Ф. Лебон у 1799 р. Назва газу пов'язана з його властивістю давати яскраве полум'я, яким спочатку освітлювали вулиці, домівки та ін. Відкриттю його сприяв випадок. Ф. Лебон кинув у посуд з вузьким горлом тирсу, яка загорілась в просторі з обмеженою кількістю кисню. З'явився густий дим, а потім виникло яскраве полум'я. Ф. Лебон зрозумів, що при високій температурі без доступу повітря, дерево обвуглюється, виділяючи однорідну газову масу, яка подібна парі, але горить. Ідея Ф. Лебона спочатку не була належно оцінена, головним чином, через тріумф парових машин. Але час двигунів, що працюють на продуктах згоряння, наближався

5 Перші конструкції ДВЗ (Брауна, Барнета, Барзанті та ін.).

У 1823 р. англієць С. Браун побудував атмосферний двигун на світільному газі. Його особливості : циліндр мав водяну оболонку охолодження. Отже після випуску продуктів згоряння залишок газів в циліндрі охолоджувався, чим забезпечувалось розрідження. Запалювалась суміш при верхньому крайньому положенні поршня (у ВМТ) відкритим полум'ям.

Двигуни з подібними конструктивними особливостями були побудовані також В. Райтом (1833 р., Англія), В. Барнетом (1838 р., Англія). В 1842

р. С. Дрейк реалізував калільне запалювання від чугунної трубки, яка подавалась в циліндр в середині ходу впуску.

Іскрове запалювання суміші світільного газу з повітрям здійснили у 1857 р. Барзанті та Матеуки. Вони також застосували конструкцію вільного поршня, який після досягнення верхнього положення з'єднувався через рейку з валом машини, приводячи його під тиском атмосфери в рух. На валу було закріплено два маховики.

Всі ці та інші конструкції не змогли конкурувати з паровою машиною і поступилися їй. Але завершувалось накопичення окремих розробок, пристроїв, які, якщо їх об'єднати, могли дати змогу побудувати принципово відмінний від парової машини тепловий двигун.

6 Перші промислові двигуни Ж. Ленуара.

Перший атмосферний ДВЗ, який знайшов промислове застосування, побудував французький механік Ж. Ленуар. Він пройшов добру школу на різних підприємствах з ремонту парових машин. Це був дотепний та енергійний механік. Його двигун був побудований на базі парової машини подвійної дії, яка була дообладнана для конденсації продуктів згоряння водяним охолодженням. Саме завдяки застосуванню охолодження вдалось забезпечити роботу деталей ДВЗ при значних температурах.

На алтар подолання цієї проблеми були покладнені перші два двигуни (в одному заклинило, а у другому - покорило поршень). Тільки третій, після застосування охолодження і змащення, запрацював (рис. 17).

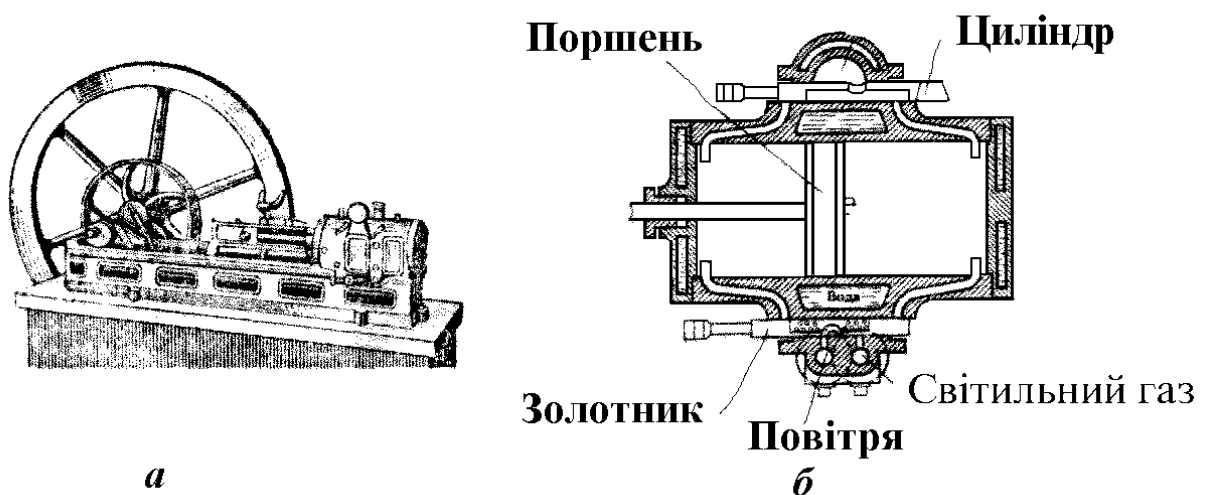


Рис. 17 - Двигун Ленуара
а) зовнішній вигляд; б) переріз

Розподіл робочого тіла здійснювався золотниковим пристроєм, який був зв'язаний з валом машини, а запалювання суміші на половині ходу впуску -

іскрою від батареї. Суміш, яка згоряла, мала тиск на поршень 0,4 - 0,5 МПа, здійснюючи роботу. Машина працювала за двотактним циклом.

Параметри двигуна : $D/S = 120/100$ мм; $n = 102 - 140$ хв⁻¹ ; $N_e \approx 0,5$ кВт; ККД $\approx 0,5$ %; $V_r \approx 3$ м³ на 1 кВт. За значну витрату газу його називали "поглинач газу".

За короткий період показники цього двигуна були значно поліпшені : $N_e \approx 12$ кВт; ККД $\approx 4 - 5$ %.

Не зважаючи на значні недоліки, двигуни Ленуара використовувались порівняно довго - приблизно 10 років.

Запитання та завдання для самоконтролю

1 Назвіть основні причини, які обумовили активізацію робіт над двигунами для заміни парової машини.

2 Розкажіть про роботи Ж. Готфеля та Х. Гюйгенса над атмосферними двигунами, в яких як робоче тіло використовувались порохові гази. В чому причина їх невдач ?

3 Опишіть роботи братів Ньепсів.

4 Дайте характеристику винаходу Р. Стірлінга. Поясніть принципи роботи його двигуна

5 Дайте оцінку світільному газу як моторному паливу. В чому полягають особливості роботи перших двигунів на світільному газі ?

6 В чому є заслуга Ж. Ленуара ? Дайте характеристику розробленого ним двигуна.

Лекція 5 ЕТАПИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ДВЗ З ПРИМУСОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ

План

1 Діяльність М. Отто та Е. Лангена по вдосконаленню газових двотактних ДВЗ.

2 Перший чотиритактний двигун М. Отто та Е. Лангена. Переваги та недоліки цих двигунів.

3 Заміна світильного газу в ДВЗ новими видами палива.

4 Двигун Костовича.

5 Роботи Г. Даймлера та В. Майбаха.

6 Шляхи подальшого удосконалення бензинових ДВЗ.

1 Діяльність М. Отто та Е. Лангена по вдосконаленню газових двотактних ДВЗ

Отто займався комерційною діяльністю в Кельні, але він був і добрим механіком. Тому коли М. Отто ознайомився з двигуном Ленуара, то побачив не тільки його переваги, але і недоліки і зробив спроби усунути останні. Проте через відсутність спеціальної технічної освіти і досвіду конструювання машин, це йому спочатку не вдавалось. Тоді М. Отто у 1864 р. залучив до сумісної роботи молодого талановитого конструктора Е. Лангена, і разом вони розробили і побудували атмосферний двигун, в якому був використаний механізм приводу рейки поршнем, запропонований раніше Барзанті, але з оригінальним приводом механізму передачі руху.

ДВЗ мав вид, наведений на рис. 18, і працював так.

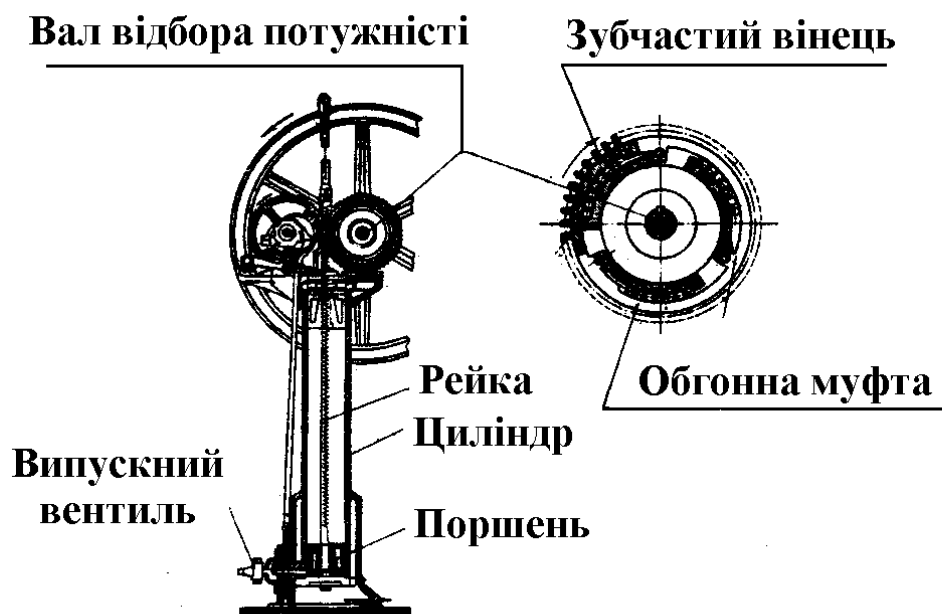


Рис. 18 - Атмосферний двигун Отто - Лангена

За рахунок обертання вала поршень підіймався в циліндрі на 1/10 ходу, в результаті чого під ним створювалось розрідження, і в циліндр засмоктува-

лась суміш, яка запалювалась через трубку відкритим полум'ям. Після вибуху тиск під поршнем зростав до 0,4 МПа і поршень переміщувався вгору. В верхній частині циліндра механізм роз'єднував рейку і вал, і поршень закінчував свій рух під дією сили інерції, створюючи в циліндрі розрідження. Таким чином, Отто і Ланген для створення необхідного розрідження, обходились без охолодження циліндра, підбираючи для цього масу поршня. Робочий хід здійснювався за рахунок атмосферного тиску. В останній частині ходу вниз поршень за рахунок своєї маси витискував відпрацьовані гази у відкритий випускний вентиль. ККД цього двигуна був у 4 - 5 разів вищий, ніж у двигуна Ленуара та у парових машин (здійснювалось повне розширення продуктів згоряння). У зв'язку з цим атмосферні двигуни Отто - Лангена, які вироблялись на "Газомоторній фабриці Отто - Дейца" (зверніть увагу на останнє слово - прізвище) одержали значне застосування і розповсюдження - їх було виготовлено більше 5 тис. штук, загальною потужністю приблизно 5 тис. кВт.

Це були одні з останніх атмосферних ДВЗ. Вони мали й значні недоліки : створювали великий шум, значні вібрації, були занадто високими (до 3,5 м) та важкими, мали порівняно невелику потужність : близько 1,5 кВт. На всесвітній виставці ДВЗ в Парижі (у 1978 р) було представлено декілька модифікацій двигуна Отто і Лангена.

2 Перший чотиритактний двигун М. Отто та Е.Лангена. Переваги та недоліки цих двигунів.

М. Отто бачив недоліки свого атмосферного двигуна, його безперспективність в майбутньому, і працював з Лангеном над втіленням нових принципів в його роботу і конструкцію. Так вони першими втілили в життя, запропонований у 1877 р. французьким інженером Бо-де-Роша, процес стиску горючої суміші, здійснивши, фактично, чотиритактний цикл. Ними також був застосований відомий раніше кривошипно - шатунний механізм та ряд ін. Роботу в цьому ДВЗ здійснювали продукти згоряння, а двигун працював на світильному газі стійко, плавно виробляв порівняно високу потужність (15 - 20 кВт), мав високий ККД до 15 %; був компактним (рис. 19). Пріоритет М. Отто у винаході чотиритактного циклу зус-трічав постійні заперечення у колег, що навіть призвело у 1884 р. до анулювання його патенту на пріоритетне використання цього циклу, зберігши за ним пріоритет лише на конкретну конструкцію. Констатуємо все ж таки, що М. Отто і Е. Ланген першими побудували двигун, в якому реалізували чотиритактний цикл, що і зараз переважно здійснюється у багатьох транспортних ДВЗ.

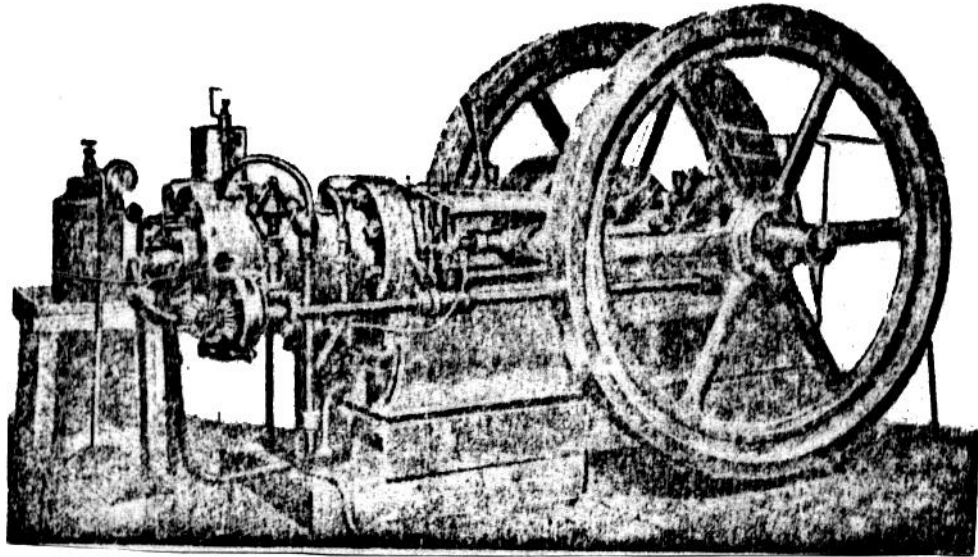


Рис. 19 - Чотиритактний двигун Отто - Лангена

Головний недолік двигуна Отто та Лангена був той, що він працював на порівняно дорогому і дефіцитному світільному газі (заводів, які виробляли цей газ, було порівняно мало).

3 Заміна світільного газу в ДВЗ новими видами палива.

Наполегливі вимоги споживачів ДВЗ звільнити ці двигуни від прив'язки до місць, де розташовувались заводи, що виробляли світільний газ, стимулювали пошуки альтернативних палив.

На початку 80-х років XIX століття був побудований перший газогенератор, який дав можливість отримувати горючий газ з вугілля при високому ККД установки. В кінці XIX століття в ДВЗ, які працювали на генераторному газі, отримували потужність до 500 к.с. в 2-х циліндрах.

Відомі в цей час також спроби використання в ДВЗ доменних газів, які були значно дешевше попередніх і вироблялись в доменних печах в значній кількості. Газові ДВЗ, які працювали на доменному газі, не зважаючи на його порівняно низьку теплотворність (3770 кДж/нм^3), швидко знайшли широке застосування на доменних підприємствах. "Газомоторна фабрика Отто - Дейца" наприкінці XIX століття почала виробляти 2-х та 4-х циліндрові газові ДВЗ потужністю 1000 - 1500 кВт. Це були машини з горизонтальним розташуванням циліндра.

В цей же час відомі спроби використовувати в ДВЗ рідке паливо... Перші поклади нафти були відкриті у 1870 - 1880 рр. Так ще в 1873 р. американець Д. Брайтон намагався використовувати як паливо в ДВЗ гас. Для його надійного запалювання і ефективного згоряння були розроблені спеціальні калильні (калоризаторні) головки - масивні кулі, які приєднувались до камери згоряння. Гас або нафта, вприскувались на них і таким чином запалювались приблизно у ВМТ. Перед пуском ДВЗ калоризатор розпікався паяльною лам-

пою або іншим способом. В Росії ці ДВЗ називались "нафтовками", а виробляв їх в Росії завод братів Бромбель в Москві (потім з-д "Червоний пролетарій").

Гас погано випаровувався і був замінений Бромбелями бензином, який подавався розробленим ними випарним карбюратором. Таким чином, перші бензинові двигуни з'явилися приблизно у 1884 - 1885 рр.

4 Двигун Г. Костовича.

Перший бензиновий двигун, який відповідав вимогам до транспортного ДВЗ, був побудований в Росії в 1884 р. моряком російського флоту Г. Костовичем для дирижабля. Розроблений ним проект дирижабля з детальними кресленнями, який приводився в рух бензиновим чотиритактним двигуном, був схвалений у 1879 р. російським товариством повітроплавателів (м. Петербург) і одержав позитивні відгуки Д. І. Менделєєва, адмірала М. М. Соквітніна та ін.

Двигун мав 8 циліндрів з $D/S = 120 \times 240$ мм, які були розташовані горизонтально. Поршні, що рухались протилежно, з'єднувались з одним колінчатим валом через тяги та коромисла (рис. 20). Маховик мав діаметр

близько 1400 мм з ободом із латуні залитим свинцем. При $n = 300 \text{ хв}^{-1}$ двигун повинен був розвивати потужність близько 45 кВт. Випробування двигуна було здійснено у 1885 р., що дає йому пріоритет перед іншими бензиновими двигунами в Росії. Проект польоту на дирижаблі не був реалізований через нестачу коштів, а потім і через таємничу пожежу. Двигун зберігся і міститься у Політехнічному музеї в м. Москві.

5 Роботи Г. Даймлера та В. Майбаха.

Приблизно в ті ж роки, що і Г. Костович, з невеликим відставанням над розробкою бензинових транспортних двигунів почали працювати німецькі інженери Г. Даймлер та В. Майбах, яким приписують пріоритет у цьому. Мета - застосування ДВЗ на транспортних засобах.

Г. Даймлер розумів, що двигун для автомобіля повинен бути максимально легким і не мати газогенератора. Спочатку він хотів залучити до своїх робіт М. Отто, але справи з виробництвом газових двигунів у того йшли добре, і він відмовився. Тоді Г. Даймлер об'єднався з В. Майбахом (обидва працювали на "Газовій фабриці Отто - Дейца"). Вони купили невелику майстерню біля м. Штудгарта, і почали самостійні роботи над ДВЗ для автомобіля. Їм вдалось фантастично полегшити двигун і підвищити оберти колінчатого валу більш як в 5 разів. Це був перший "чисто" автомобільний двигун ($V_d \approx 250 \text{ см}^3$; $N_e \approx 0,4 \text{ кВт}$ при $n \approx 900 \text{ хв}^{-1}$), який вони встановили на екіпаж - перший автомобіль.

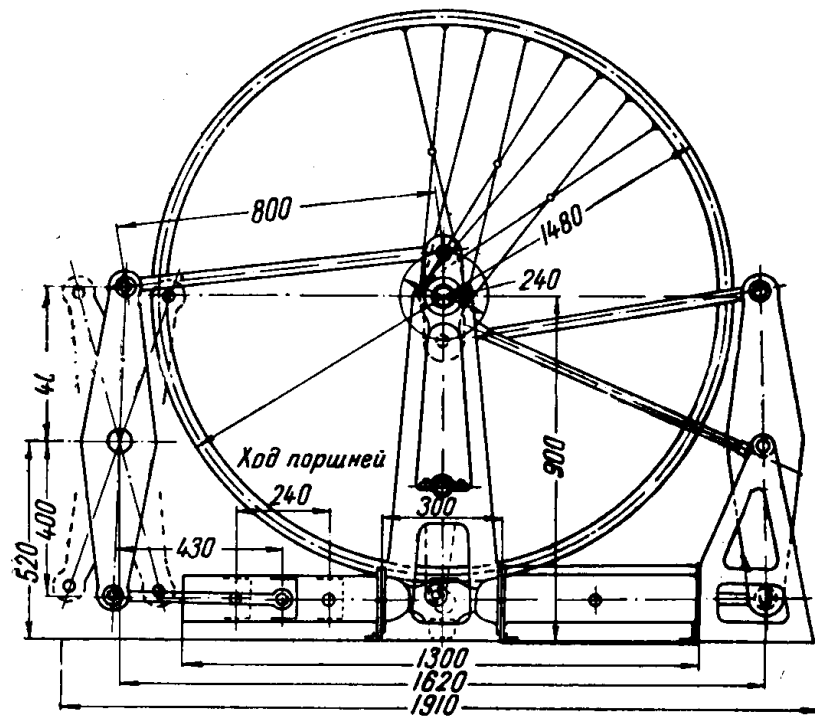


Рис. 6.

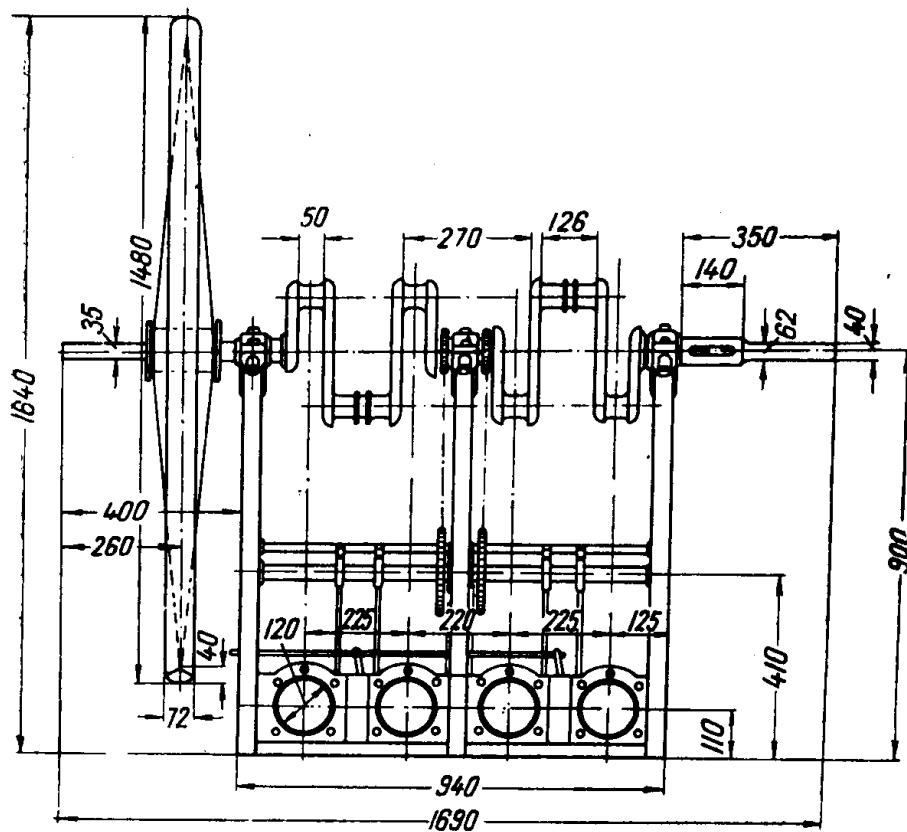


Рис. 20 - Креслення двигуна Костовича

6 Шляхи подальшого удосконалення бензинових ДВЗ.

Значний ефект застосування бензинових двигунів на транспортних засобах (автомобілях), широкий попит на них викликали інтенсифікацію цих робіт.

Спочатку дотримувались принципу "чим більше, тим краще". Керуючись ним, почали збільшувати робочий об'єм циліндрів, який був доведений до 8 - 10 л. Одночасно збільшували діаметр, масу поршнів, та інших деталей КШМ, що приводило до значного зростання сил інерції і поломок ДВЗ. Цей шлях розвитку був тупиковим. У сучасних бензинових ДВЗ для автомобілів діаметр циліндра, як правило, обмежується 100 мм.

В тупик з тих же причин в той час завело і надмірне підвищення n , xv^{-1} . Тому максимальне значення n не перевищувало 2000 xv^{-1} .

Число циліндрів, і поступово збільшувалось для підвищення N_e , але не перевищувало, як правило, 4.

Ці напрямки збільшення N_e тягли за собою і зміни механізмів і систем ДВЗ.

Система живлення. Наступний значний крок в успішному подальшому розвитку бензинових ДВЗ був пов'язаний з винаходом угорців Д. Банкіта Я. Чонкі у 1893 р. карбюратора для розпилювання палива (прототипа сучасному). Д. Банкі розробив також метод розрахунку найпростішого карбюратора, а також запропонував подачу води в паливо - повітряну суміш для підвищення ступеня стиску без виникнення детонаційного згоряння.

Система охолодження поступово перетворювалась у закриту з примусовою циркуляцією охолоджуючої рідини.

Система мащення пройшла шлях від змащення розбризкуванням до комбінованої, з багатоступінчастим очищенням мастил.

Механізм газорозподілу. На перших ДВЗ застосовувались спочатку газорозподільні повзуни, а потім автоматичні підпружинені клапани. Вони працювали ненадійно, негативно впливаючи на показники двигуна. Тому поступово перейшли до спеціального механізму газорозподілу.

Таким чином, після багатьох років вдосконалення сучасний автомобільний ДВЗ істотно відрізняється від перших зразків.

Завдання та питання для самоконтролю

1 Назвіть основні досягнення в двигунобудуванні, пов'язані з М. Отто та Е. Лангеном.

2 Хто і коли теоретично обґрунтував переваги чотиритактного робочого циклу ДВЗ ?

3 Хто побудував перший чотиритактний двигун ?

4 Перерахуйте основні переваги та недоліки перших чотиритактних двигунів.

5 Які альтернативні світильному газу палива намагались застосувати в той час ? Чому вони не отримали широкого застосування ?

6 Дайте характеристику першому в Росії бензиновому двигуну Г. Костовича ?

7 Назвіть досягнення в двигунобудуванні Г. Даймлера та В. Майбаха.

8 Вкажіть основні напрямки вдосконалення бензинових двигунів на початку ХХ століття.

Лекція 6 ІСТОРІЯ СТВОРЕННЯ ДВЗ З САМОЗАЙМАННЯМ ВІД СТИСКУ (ДИЗЕЛІВ)

План

- 1 Р. Дізель і його діяльність.
- 2 Передумови та етапи розвитку дизелебудування в Росії.
- 3 Розвиток світового транспортного дизелебудування.

1 Р. Дізель і його діяльність.

Р. Дізелю належить один з найвидатніших винаходів в галузі теплового двигунобудування. ДВЗ, які отримати прізвисько - дизелі, зараз, майже через 150 років, займають провідне місце як силові агрегати транспортних засобів, джерела енергії в багатьох галузях господарства, і їх питома вага не зменшується.

Життя Р. Дізеля - приклад самовідданого і успішного служіння реалізації однієї ідеї - розробці принципово нового теплового двигуна з самозайманням робочої суміші. Р. Дізель народився в 1858 р. в Парижі. В 1878 р. успішно закінчив технічну школу в Мюнхені (Германія) і почав свою трудову діяльність спочатку на заводі теплових двигунів братів Зульцер в Швейцарії, а потім на заводі холодильних машин в Парижі. Скрізь проявив себе здібним, творчим спеціалістом. Весь свій вільний час Р. Дізель присвячував активній творчій праці над розробкою принципово нового ДВЗ з самозайманням суміші, робочий цикл якого відповідав би циклу С. Карно, що мав найвищий ККД. Цей задум виник в нього ще на студентській лаві в м. Мюнхені на лекціях з теплотехніки проф. К. Лінде. Він прагнув побудувати тепловий двигун, який працював би за таким принципом [10]. В циліндр засмоктувалось повітря, яке потім адіабатно стискувалось, від чого його температура значно підвищувалась. В це нагріте робоче тіло поступово подавалось паливо, суміш якого з повітрям самозаймалась і згоряла при приблизно постійній температурі. Розширення продуктів згоряння передбачалось адіабатним, а випуск продуктів згоряння при постійному об'ємі (ізохорно). Такий цикл був би значно наближеним до циклу С. Карно. Його ККД Р. Дізель оцінював у 0,7 (!). Проект і розрахунки Р. Дізеля вражали, і на провідних двигунобудівних підприємствах того часу (Заводах Аусбургсько у, Круппа, Нюрбергському, "Газовій фабриці Отто - Дейтца) у 1897 р. було побудовано три дослідних двигуна Р. Дізеля, з яких розпочався справжній переворот у двигунобудуванні.

Перший двигун не мав оболонки охолодження і призначався для роботи на вугільному пилу (кам'яне вугілля основний вид палива в Германії). Спроба була невдалою, двигун не працював. Вугільний пил замінили спочатку світильним газом, а потім нафтою. Другий двигун запрацював на холостому ході (рис. 21). Це вже була перемога. Третій вже мав оболонку охолодження (відхід від адіабатних стиску та розширення і від ізотермічного згоряння), а подача та розпилювання палива (гасу)

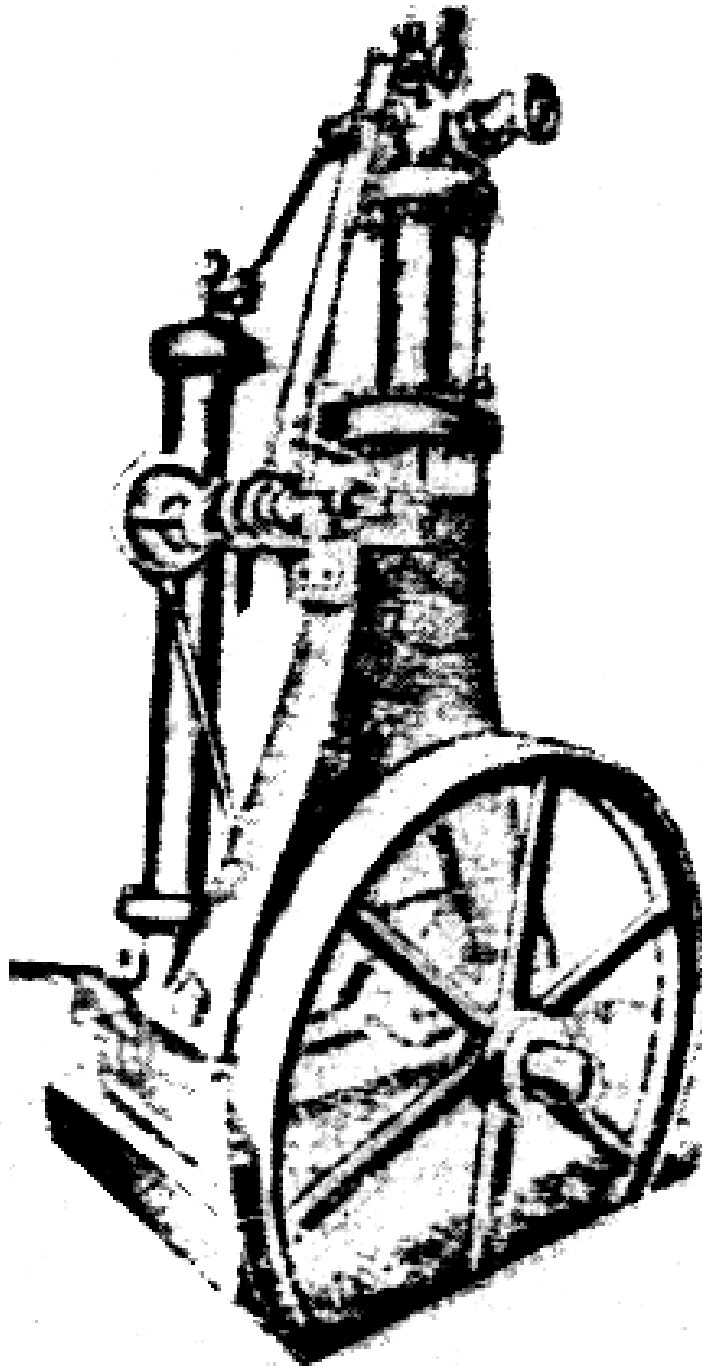


Рис. 21 - Дизель (1897 р)

здійснювались завдяки компресору. Після дворічних робіт з доведення двигун почав працювати під навантаженням з ККД приблизно 36 %, тобто більше, ніж в 2 рази економічніше, ніж двигун з примусовим запалюванням М. Отто. Це була остаточна перемога. Двигун отримав назву - дизель, за прізвищем винахідника.

Р. Дизель легко погоджувався на пропозиції різних фірм на побудову, випробування та вдосконалення двигунів за його патентом. На початку 1889 р. дизелі проходили випробування на "Газовій фабриці Отто - Дейтц", заводах братів Зульцер, МАН та ін. В Росії патент на дизель купив Е. Нобель і його

го виробництво розпочалось на заводі Нобеля в Петербурзі (зараз завод " Російський дизель ") (рис. 22). Дизелі завойовували світ і по

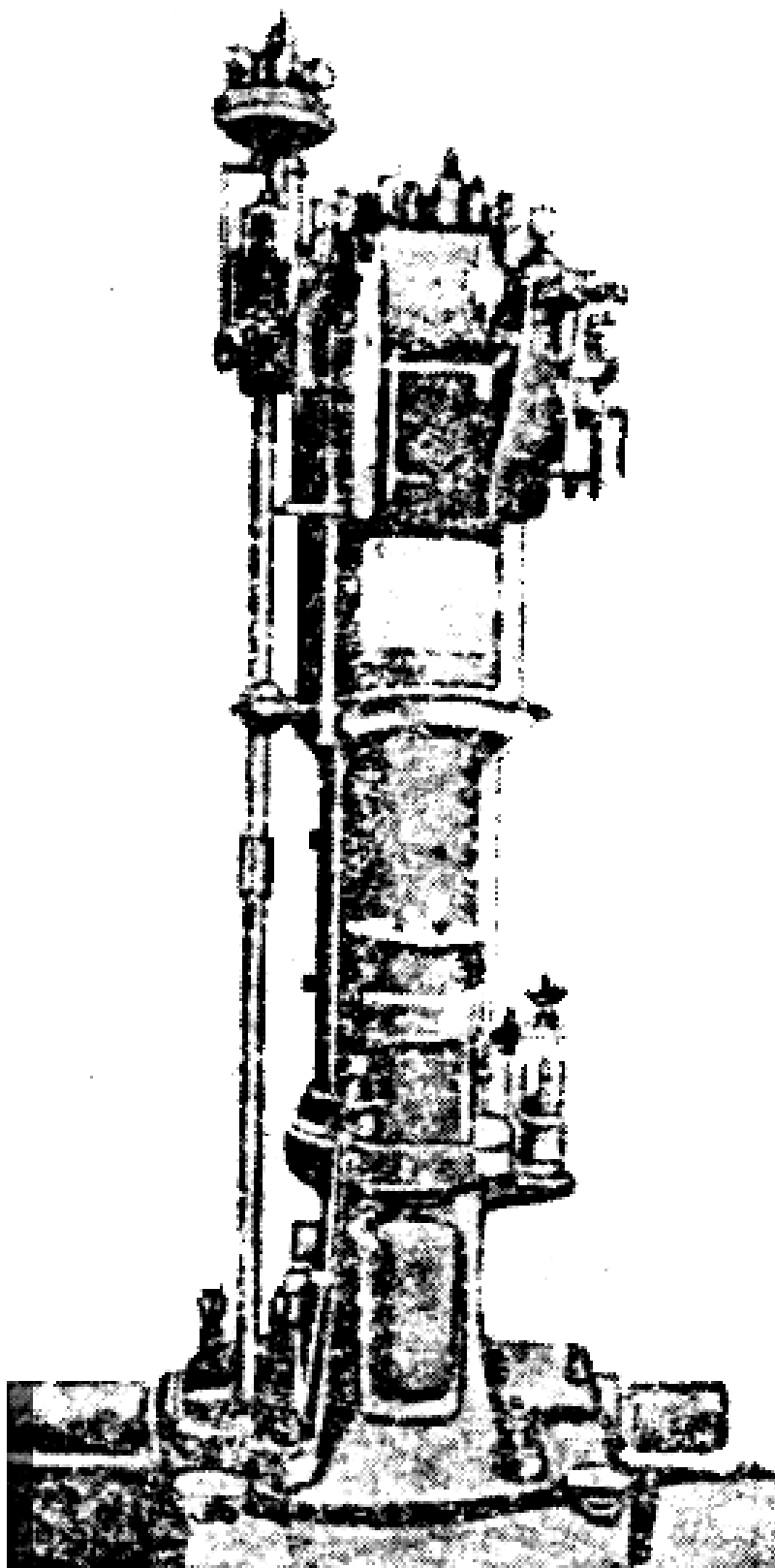


Рис. 22 - "Російський дизель" заводу Нобеля (1901 р)

ступово вдосконалювались, змінювались. Через деякий час дизелі мало чим нагадували двигун, який заявив у своєму патенті Р. Дізель, що дало привід для численних нападок на нього, часто необгрунтованих, але які вимагали постійного активного захисту, боротьби за свій винахід. Все це приводило до того, що Р. Дізель все частіше перебував у пригніченому стані, в нього з'явилися головні болі; життя втратило привабливість і перспективу подальшої творчості. У 1913 р. під час рейсу з Голландії до Англії на теплоході, який був обладнаний дизелем, Р. Дізель незрозуміло як зник (можливо самогубство).

З позицій сучасності очевидна видатна роль Р. Дізеля у розробці принципно нового ДВЗ, що носить його прізвище і переможно кроку світом.

2 Передумови та стан розвитку дизелебудування в Росії.

Після успішних доробок та вдосконалення дизеля, перш за все, на заводах Круппа, МАН та братів Зульцер (Германія) і успішного експонування його зразків на Всесвітній виставці в Парижі в 1900 р., почався бурхливий розвиток дизелебудування і застосування дизелів в різних галузях господарства: промисловість, транспорт, енергетика, авіація та ін.

Детальний аналіз передумов розробки дизеля, значення і місце Р. Дізеля у роботах з цього напрямку висвітлив наш співвітчизник, сучасник Р. Дізеля проф. Г. Трінклер [12]. Він один з перших визначив, що можна значно спростити дизель за рахунок застосування в ньому безкомпресорного вприскування палива. На практичну реалізацію цього задуму було витрачено більше п'яти років. Роботи, які почалися в 1901 р. на заводі Нобеля в Петербурзі, були завершені ним у 1905 р. у м. Штудгарті (Германія). Коли першу індикаторну діаграму дизеля зняв проф. Р. Мойер (фірма МАН), стало очевидним, що в дизелі фактично здійснена робота за новим термодинамічним циклом - циклом із змішеним підведенням теплоти. В 1909 р. подібний швидкохідний двигун для міноносця побудував француз Саботе. Цей міноносець став відомий у всьому світі, тому іноді цикл цього ДВЗ називають циклом Саботе. Але це несправедливо, бо Г. Трінклер зробив це на п'ять років раніше.

Вже перші дизелі, що вироблялись на заводі Нобеля, відрізнялись від попередника і дуже швидко одержали назву "російські дизелі". Так в Росії були побудовані перші в світі: чотиритактні тронкові дизелі (1902 р.), двотактні тронкові дизелі (1903 р.); реверсивні дизелі (1907 - 1908 рр.); судова установка з електропередачею (нафтоналивне судно "Вандал" - 1903 р.); дизель - генератор (1904 р.) та ін.

За допомогою заводу Нобеля було розпочато виготовлення дизелів на заводах Коломенському (1903 р.), Ризькому (1907 р.), Миколаєвському (1909 р.), Сорновському (1911 р.), Харківському (1913 р.).

Електричні станції, обладнані дизелями, були збудовані в багатьох місцях Росії. В 1913 р. їх загальна потужність досягла 60.000 кВт.

Подальший бурхливий розвиток дизелебудуванню в Росії забезпечили, по-перше, вимоги господарства, по-друге, значні поклади нафти - палива для ДВЗ, по-третє, розробка теорії робочого циклу ДВЗ (проф. В. І. Гриневецьким - 1907 р.) і вдосконалення її (проф. Е. К. Мазінгом, акад. Б. С. Стєчкіним, проф. Н. Р. Бріллінгом та ін.); в-четвертих, планова підготовка фахівців з вищою освітою в цій галузі (МВТУ, ХПІ, МАІ та ін.)

3 Розвиток світового транспортного дизелебудування.

Застосування в дизелях як палива продуктів переробки нафти дозволило не тільки значно поліпшити їх техніко - економічні показники, але і значно покращити масо - габаритні показники, що зробило можливим і привабливим застосування їх на транспортних засобах.

Про застосування їх на судах розповідалось вище. Пізніше, приблизно з кінця 90-х років ХІХ століття, почалось активне використання їх на автомобільному транспорті, бо вони мали низку переваг в порівнянні з двигунами з примусовим запалюванням, а, головне, майже на 30 % кращу середньоексплуатаційну економічність.

В країнах світу (Германія, Франція, Швеція) доля вантажівок, обладнаних дизелями, перевищує 60 - 70 % і продовжує збільшуватись. Розширюється використання дизелів і на легкових автомобілях.

Дизелізація автомобільного транспорту - це світовий напрямок в автомобілебудуванні.

Запитання та завдання для самоконтролю

- 1 З яким винаходом в двигунобудуванні пов'язане прізвище Р. Дізеля ?
- 2 Чим відрізняється дизель від інших типів ДВЗ ?
- 3 Який ДВЗ побудував Р. Дізель ?
- 4 Яке вдосконалення в дизелі пов'язане з прізвищем Г. Трінклера ?
- 5 Які передумови сприяли розповсюдженню дизелів в Росії ?
- 6 Чим пояснити значне застосування дизелів на автомобільному транспорті ?
- 7 Назвіть термодинамічні процеси, з яких складається цикл із змішеним підведенням теплоти у безкомпресорному дизелі (цикл Трінклера).

Лекція 7 ЕТАПИ РОЗВИТКУ ТЕОРІЇ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ

План

- 1 Передумови розробки теорії теплових двигунів.
- 2 Теорія робочого циклу ДВЗ В. І. Гриневецького та її розвиток Е. К. Мазінгом, М. Р. Бріллінгом, Б. С. Стєчкіним та ін.
- 3 Сучасний стан розвитку теорії ДВЗ.

1 Передумови розробки теорії теплових двигунів.

Вже з самого початку розробки теплових двигунів виникла необхідність осмислити явища, процеси, які відбуваються в них. Без цього, тільки шляхом інтуїтивного пошуку найбільш досконалих конструктивних рішень, важко було забезпечити подальший більш - менш ефективний розвиток досить складних теплових машин, в яких під час роботи здійснювались різні перетворення стану робочого тіла. Треба було зрозуміти, як теплота, що виділяється при згорянні тих чи інших палив, може бути перетворена в роботу, яка замінить м'язова, - водяну, повітряну енергію. Особливо це стосується питань, пов'язаних з пошуком підвищення ефективності перетворення теплоти в механічну або іншу корисну роботу, тобто до питань збільшення ККД теплових машин.

Ці питання не давали спокою людському розуму майже з перших етапів розвитку теплових машин. Так в 1683 р. англієць С. Морленд видав твір, в якому вперше була викладена думка, що для підймання води за рахунок використання теплоти, яка виділяється при згорянні палива, перш за все, необхідно перевести воду в пар. Ця очевидна зараз думка, була, по-перше, далеко не такою наочною винахідникам машин в ті часи, а по-друге, вона дозволяла вибрати найбільш ефективні шляхи для розробки теплових машин. С. Морленд в своєму творі навіть спробував підрахувати найбільшу висоту, на яку можна підняти воду із шахти, якщо машина має конкретні значення діаметра циліндра (D) і ходу поршня (S). Зрозуміло, що при відсутності фізичних і термодинамічних характеристик для води і пару, ці розрахунки були досить приблизними.

Наступний історичний крок в питанні поглиблення розуміння теплових явищ зробив через 15 років (у 1698 р.) француз Д. Папен, який зрозумів, що для здійснення роботи, крім переведення води у пар, необхідний ще й процес конденсації пару, тобто він фактично вперше описав замкнутий цикл парової машини. Це відіграло значну роль в справі подальшого вдосконалення парових машин, особливо Т. Ньюкоменом, Д. Уаттом та ін. Останній у 1765 р. (через 60 років) запропонував і відокремив в своїй машині конденсатор від робочого циліндра і ввів саму назву - конденсатор.

Наступні кроки були пов'язані з накопиченням та систематизацією фактів перетворення одного виду енергії в другий. При цьому виникла необхідність у введенні універсальної одиниці виконуваної роботи в одиницю часу, тобто потужності. Таку одиницю, "кінську силу", що дорівнювала 33.000 футів за хвилину або 76 кгм/с, запропонував у 1784 р. Д. Уатт.

Однак цього було замало для визначення ефективності парових машин, їх ККД. Потрібен був механічний еквівалент теплоти, тобто кількість роботи (в кгм), необхідної для отримання одиниці (ккал) теплоти. Він був підрахований Р. Майером багато років пізніше (в 1840 р.) і дорівнював 370 кгм/ккал (уточнене значення 427 кгм/ккал).

Особливо значний внесок в початок розробки теорії теплових машин зробив у 1824 р. 28 річний С. Карно у книзі "Роздуми про рухаючу силу вогню і про машини, які здатні розвивати цю силу".

С. Карно вперше виклав другий закон термодинаміки, напрямок і межі реалізації термодинамічних процесів. Його висновки : по-перше, для звершення роботи необхідна не тільки теплота, але й холод ; по-друге, сила, яка здатна здійснювати рух, виникає тільки там, де є різниця температур,- фактично й відповідали змісту другого закону термодинаміки. Він також проаналізував можливість перетворення теплоти в роботу в самому загальному вигляді - незалежно від робочого тіла і конструкції теплової машини. Це були видатні, прозорливі рішення !

Крім того, С. Карно також ввів поняття оборотного і необоротного циклів, обґрунтував необхідність наявності в будь-якій тепловій машині 4-х елементів (нагрівача, охолодника та пристроїв для стиску та розширення газів), розробив оборотний цикл, який має найбільший термічний ККД (2 адіабати та 2 ізотерми). Цей цикл і зараз є еталонним, який дозволяє оцінювати ступінь вдосконаленості інших циклів і носить назву "цикла Карно".

В 1834 р. Б. Клапейрон, розвиваючи ідеї С. Карно, вперше запропонував графічну інтерпретацію термодинамічних процесів і циклів. Він же вивів рівняння стану для ідеального газу.

У 1842 - 1847 рр. Р. Майером і Г. Гемгольцем був сформульований перший закон термодинаміки, а В. Томсоном і Р. Клазіусом був теоритично обґрунтований другий закон термодинаміки. Разом з розробками С. Карно ці роботи заклали основи теорії теплових машин.

2 Теорія робочого циклу ДВЗ В. І. Гриневецького та її розвиток Е. К. Мазінгом, М. Р. Брілінгом, Б. С. Стечкиним та ін.

Ідеальний цикл С. Карно, який забезпечує найбільший термічний ККД, неможливо та й недоцільно реалізовувати на практиці. Останнє тому, що робота звершується при цьому дуже незначна. Тому технічна думка працювала в напрямку створення комбінації термодинамічних процесів, при якій були б значні і ККД, і робота. Як такі ідеальні цикли, що відповідають цим умовам, були запропоновані три із згорянням при :

- $V = \text{const}$ (цикл Отто);
- $P = \text{const}$ (цикл Дизеля);
- частково при V і $P = \text{const}$ (цикл Трінклера).

Детально вони будуть викладатись в курсі термодинаміки.

Реальні цикли, що відбуваються в теплових машинах, значно відрізняються від ідеальних. Для того, щоб ще на стадії проектування оцінити показ-

ники роботи майбутньої теплової машини, моделюють процеси, які відбуваються в ній, за допомогою як термодинамічних співвідношень, так і спеціальних розрахункових моделей.

Перший тепловий розрахунок ДВЗ був розроблений видатним російським вченим випускником, конструктором, викладачем, професором, а потім ректором Імперського технічного училища (потім МВТУ)) В. І. Гриневецьким у 1907 р. в праці "Тепловий розрахунок робочого процесу ДВЗ", яка була написана як доповнення до книги Гюльднера "Газові нефтяні та інші двигуни внутрішнього згоряння".

З ім'ям проф. В. І. Гриневецького справедливо пов'язують початок планомирного дослідження ДВЗ. Але він був, перш за все, видатним теплотехніком. Саме теоретичні дослідження теплових машин - головна мета його життя. Він першим розробив у 1905 р. теплову схему розрахунку котла; у 1906 р. теорію економіки робочого процесу парової машини; у 1907 р. теорію робочого циклу ДВЗ.

Як конструктор у 1906 р. В. І. Гриневецький розробив двотактний ДВЗ подвійної дії для тепловоза, який був побудований через три роки і успішно пройшов випробування.

Помер В. І. Гриневецький у 1919 р. під час епідемії холери.

Теорію робочого циклу ДВЗ, розроблену В. І. Гриневецьким, розвинули та вдосконалили його послідовники та учні, перш за все, професори МВТУ Е. К. Мазінг та М. Р. Бріллінг.

Е. К. Мазінг - керував дослідженням промислових ДВЗ, розробляв газові ДВЗ та газогенератори до них. В теорії В. І. Гриневецького він удосконалив (з метою уточнення) розрахунок процесу впуску.

М. Р. Бріллінг - на базі методу В. І. Гриневецького, розробив теорію автомобільного карбюраторного ДВЗ. Під його керівництвом були також спроектовані перші вітчизняні автомобільні дизелі.

Крім названих вчених, значний внесок в теорію ДВЗ та його агрегатів і систем внесли : академіки Іноземцев М. М., Стечкін Б. М., Кноре Г. Ф., Зельдович Б. Е., Орлін А. С., Чебишев М. П., професори Глаголев М. М., Ховах М. С., Ленін І. М., Вібе І. І., Астахов І. В., Лишевський А. С., Сімсон А. Е. та ін.

3 Сучасний стан розвитку теорії ДВЗ.

Теоретичний метод проф. Гриневецького В. І. базується на досить істотних припущеннях, які приводять до значних відхилень від реальних процесів в ДВЗ. Так, наприклад, процес згоряння в ньому замінюється теплопідведенням при різних умовах, а процеси впуску і випуску - моделюються як ізобарні (при постійному тиску) та інше.

Все це приводить до значних кількісних розбіжностей в отримуваних результатах.

Значним кроком вперед в моделюванні робочого циклу ДВЗ був метод, розроблений професором ХПІ (ХДПУ) Глаголевим М. М. у 50-х роках, який

базується на диференціальних рівняннях другого порядку в частних похідних. Над варіаціями цього методу працювали також проф. Ленін І. М., Ховах М. С. та інші.

Загальним значним недоліком у перелічних методах була заміна реального процесу згоряння - підведенням теплоти. Це обмежувало можливості направлено впливу на процеси сумішоутворення і згоряння, які значною мірою визначають показники (екологічні, потужності та токсичні) роботи двигуна, в напрямку їх оптимізації.

Математичним моделюванням цих процесів і явищ займалось і займаються багато вчених і дослідників : професори Вібе І. І., Майер Я. М., Свірідов Ю. Б., Разлейцев М. Ф., Іванченко М. М. та інші.

Для прикладу лише вкажу, що розрахункова модель робочого циклу дизеля, розроблена на кафедрі ДВЗ ХДАДТУ під керівництвом проф. Тимченка І. І. та Маца З. З., вбира в себе досить складні розрахункові моделі :

- заряду, що рухається в камері згоряння (КЗ);
- паливного факела, що вприскується в циліндр;
- взаємодії факела з повітрям;
- нагрівання та випаровування рідкого палива;
- перемішування пару з повітрям, розповсюдження суміші та по об'єму

КЗ;

- утворення токсичних речовин в КЗ, та інше.

Існують і інші види розрахункових моделей як в нашій країні, так і за її межами. Ці роботи продовжуються. Закликаю і Вас взяти посильну участь в їх розробці та впровадженні.

Завдання та запитання для самоконтролю

1 Назвіть основні теоретичні відкриття, які передували розробці теорії теплових двигунів.

2 Перерахуйте основні внески С. Карно в розробку теорії теплових машин.

3 Хто вперше розробив теорію робочого циклу ДВЗ ? В якому році ?

4 Перерахуйте основні внески проф. Гриневецького В. І. в теорію і практику двигунобудування.

5 Назвіть прізвища вчених і визначте їх внесок в подальший розвиток теорії робочого циклу ДВЗ.

6 Що являє собою сучасна модель робочого циклу ДВЗ ?

Лекція 8 НАДДУВ - ЕФЕКТИВНИЙ СПОСІБ ПОЛІПШЕННЯ ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ КОМБІНОВАНОГО ДВЗ

План

- 1 Поняття комбінованого ДВЗ.
- 2 Вплив наддуву на потужність, економічність та токсичність ДВЗ.
- 3 Короткий історичний нарис розвитку турбобудування.
- 4 Історія розвитку турбокомпресорів.
- 5 Агрегати наддуву сучасних ДВЗ (стан та перспективи).

1 Поняття комбінованого ДВЗ.

Значним недоліком поршневих ДВЗ є існування кривошипно - шатунного механізму, який ускладнює конструкцію і обмежує можливість підвищення частоти обертання з метою поліпшення техніко - економічних показників.

Зменшити вплив цього недоліку і значно поліпшити показники силової установки можливо застосуванням, так званих, комбінованих двигунів.

Комбінованим називається двигун, який складається з поршневого ДВЗ, компресійних та розширювальних машин (або пристроїв), а також пристроїв для підведення та відведення теплоти, які об'єднані між собою газовим зв'язком.

Ефективна робота в таких силових установках передається споживачу валом ДВЗ (найчастіше), валом розширювальної машини або обома валами одночасно.

Кількість компресійних та розширювальних машин, їх типи та конструкція, зв'язок з поршневим ДВЗ та між собою визначаються призначенням комбінованої силової установки, її конструктивною схемою та вимогами експлуатації.

Найбільш компактні та економічні комбіновані турбопоршневі двигуни, в яких продовження розширення відпрацьованих в ДВЗ газів і стиск свіжого заряду здійснюється в турбомашині, які мають з ДВЗ газовий зв'язок, а віддача потужності споживачу відбувається через вал ДВЗ.

Приклад такого комбінованого дизеля наведений на рис. 23. Він складається з поршневого ДВЗ, 1 газової турбіни, 2 та компресора, 3. Випускні гази з ДВЗ, що мають високі температуру та тиск, віддають свою енергію лопаткам колеса газової турбіни, яка приводить в дію компресор. Компресор засмоктує повітря із атмосфери і під певним тиском нагнітає його в циліндри поршневого ДВЗ.

Збільшення наповнення циліндрів двигуна повітрям шляхом підвищення тиску під час впуску називається наддувом. При наддуві підвищується густина повітря, а відповідно і масова кількість свіжого заряду, який потрапляє в циліндр під час впуску.

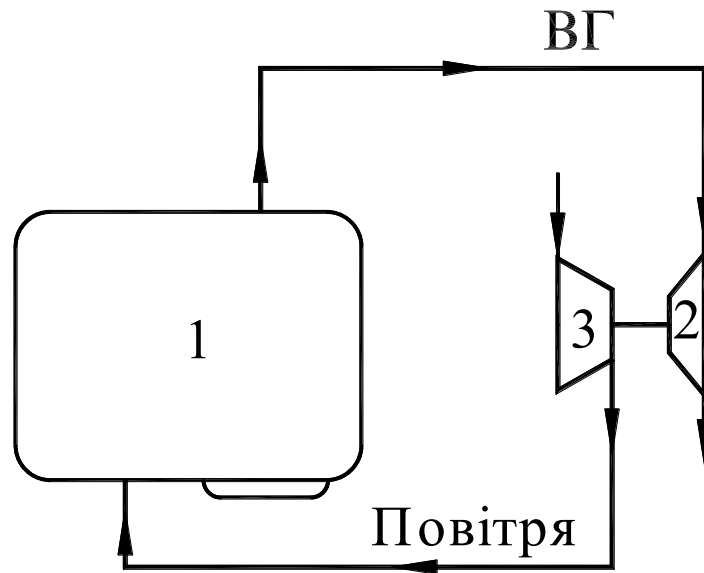


Рис. 23 - Схема комбінованого дизеля
 ДВЗ- поршневий ДВЗ;
 Т - газова турбіна;
 К - компресор.

2 Вплив наддуву на потужність, економічність та токсичність ДВЗ.

Як відомо з курсу хімії, для згоряння 1 кг рідкого або 1 м³ газового палива необхідна відповідна кількість повітря, яка залежить від елементарного складу палива.

Так, розрахунки свідчать, що для згоряння 1 кг бензину (який складається з вуглецю, С та водню, Н) необхідно приблизно 15 кг повітря, а для згоряння 1 кг природного газу (приблизно 70 % якого складає метан, СН₄) необхідно 9,35 кг повітря.

Відповідно в циліндрі, в якому вміщується 1 кг повітря, теоретично можна спалити $G_{\text{пал}}$ кг (або м³) палива, тобто :

$$G_{\text{пал}} = \frac{1}{\alpha l_0} ,$$

де l - дійсна кількість повітря, в кг, що поступила в циліндр, віднесена до 1 кг палива;

l_0 - теоретична кількість повітря, в кг, необхідна для згоряння 1 кг палива за стехіометричними реакціями;

α - коефіцієнт надлишку повітря.

Тоді потужність, яка отримується при цьому, дорівнює

$$N_e = \frac{G_{\text{пал}}}{g_e} \cdot \frac{120ni}{\tau} = A G_{\text{пал}} \eta_e n , \text{ кВт},$$

де A - коефіцієнт, $A = \frac{120ni}{\tau}$;

g_e - питома витрата палива, г/кВт год ;

η_e - ефективний ККД ;

n - частота обертання колінчастого вала, хв⁻¹ ;

i - число циліндрів двигуна ;

τ - індекс тактності двигуна (для чотиритактного ДВЗ $\tau = 4$).

З зазначеного вище витікає, що потужність двигуна, N_e при відомих

η_e , l_0 , α повністю визначається величиною l , яка залежить від :

$$l = f(\eta_v, V_h, \rho_{\text{пов}}) ;$$

де η_v - коефіцієнт наповнення ;

V_h - робочий об'єм циліндра, м³ ;

$\rho_{\text{пов}}$ - густина повітря, кг/м³ .

Таким чином, для конкретного двигуна з визначеними конструкцією і режимами роботи головним шляхом підвищення N_e є збільшення густини повітря, $\rho_{\text{пов}}$, тобто збільшення P_k та зменшення T_k , тобто застосування наддуву та охолодження повітря після компресора.

Отже наддув полягає в тому, що в циліндр подається повітря (ди-зель) або паливо - повітряна суміш (бензиновий ДВЗ) під тиском $P_k > P_0$ та при температурі $T_k = T_0 + \Delta$.

Завдяки цьому можна спалити в тому ж об'ємі більше палива і одержати більшу потужність (до 50 %) при тій же або навіть меншій питомій витраті палива, g_e . Вплив наддуву на токсичність відпрацьованих газів дуже складний.

Наддув знайшов застосування ще на ранніх стадіях вдосконалення ДВЗ, особливо при їх використанні для літальних апаратів, при підйманні яких вгору, зменшувалась густина повітря.

Сприяло цьому те, що паралельно з розвитком ДВЗ швидко розвивалась галузь ще одного виду безпоршневих теплових машин - парових і газових турбін - турбобудування.

3 Короткий історичний нарис розвитку турбобудування.

Вперше ідея реактивної парової турбіни для приводу сепаратора виникла у шведського вченого і винахідника Карла Густавсона Лавалля, патент на яку він отримав у 1883 р.

В 1889 р. ним була запатентована турбіна з розширюваним соплом, яке знайшло широке застосування і відоме, як "сопло Лавалля". Внесок К. Лавалля у створення і вдосконалення турбін важко переоцінити. Головна його заслуга полягає в тому, що він зміг не тільки сконструювати основні елементи турбіни, але й об'єднати їх в одній машині - турбіні і довести до працездатного зразка.

Подальший розвиток турбобудування пов'язаний з ім'ям Ч. Парсона - розробника багатоступеневої парової турбіни. В цій турбіні струм пару

поділяється на декілька часток, які послідовно спрацьовують на окремих ступенях турбіни. Кожна ступінь складається з сопел (або соплового апарата) і робочого колеса, які закріплені на одному валі. Така конструкція дозволила вирішити головну задачу, над якою без успіху працював К. Лаваль : зменшити максимальну колову швидкість вала турбіни при одночасному спрацюванні значної енергії пара з високими значеннями параметрів **P** та **T**, що забезпечувало високі ККД та потужність установки.

Ч. Парсон, який заслужено вважається видатним інженером в історії розвитку парових турбін, виявився скептиком щодо застосування газових турбін (ГТ). Це пояснюється значною складністю на шляху їх розробки і побудови, бо не зважаючи на значну схожість парових і газових турбін, в них є і багато різного, перш за все, у конструкції нагрівачів (громіздкий у парових турбін і відносно невеликий легкий апарат у вигляді камери згоряння (КЗ) - у газових) ; охолоджувачів (громіздкі градирні або ставки - у парових турбіні відсутність спеціальних охолоджувачів - у газових). Крім того, перед тим, як направити повітря в камеру згоряння ГТ, його треба стиснути, на що витрачається значна потужність (приблизно 50 % від тієї, що розвива ГТ), що зменшує корисну роботу ГТ і її ККД.

Для підвищення ефективності газотурбінної установки необхідно значно збільшити початкову температуру газу (порівняно з температурою пара) і забезпечити високий ККД компресора, для чого необхідно застосовувати жаростійкі матеріали і оптимізувати його конструкцію з позицій аеродинаміки. Ч. Парсон не бачив тоді можливості для подолання цих та інших перешкод.

Поступово газова турбіна пробивала собі дорогу. Слід відмітити конструкції газотурбінних двигунів шведа Барбера (1791 р.), француза Брессона (1837 р.), німця Штольца (1872 р.) та ін. Однак, ККД всіх цих машин був низьким. Так було майже до 40-х років нинішнього століття, коли були виготовлені і застосовані в ГТ жаростійкі сплави, завдяки чому вдалось підвищити температуру перед ГТ до 800 °С і більше і підняти ККД багатоступеневих осьових компресорів до величини 85 % і більше. ГТД зайняли провідне місце в реактивній авіації.

4 Історія розвитку турбокомпресорів.

На відміну від ГТД, які лише поступово завойовували позиції як силові агрегати, аналогічні їм агрегати для наддуву ДВЗ отримали швидке впровадження. Пріоритет тут належить швейцарському інженеру А. Бюхі (1905 р.), який запропонував не витрачати енергію ДВЗ для приводу компресора, а замінити її енергією ГТ, яка працює на відпрацьованих газах (ВГ) двигуна. Патент, який був виданий А. Бюхі, передбачав підключення випускних каналів ДВЗ до багатоступеневої осьової турбіни, яка була з'єднана з колінчастим валом. До нього приєднувався і компресор. Тобто турбіна і компресор не були об'єднані в один агрегат.

Ідеї А. Бюхі спочатку не знаходили практичного застосування через складність конструктивних рішень і недостатню ефективність агрегатів.

В 1910 р. французьким конструктором А. Рато був запропонований агрегат, який об'єднував турбіну і компресор, - турбокомпресор (ТКР). ТКР був автономним від ДВЗ. Перший ТКР був побудований фірмою "Дженерал електрик" у 1911 р. і встановлений на авіаційний двигун "Ліберті" в США. Авіатори зразу відчували його корисність і взяли на озброєння ДВЗ.

А. Бюхі продовжував працювати над ТКР, займаючись детальними дослідженнями їхньої сумісної роботи з ДВЗ. Так йому належить пріоритет (він отримав у 1915 р. патент) на розробку ТКР з імпульсною газовою турбіною (на відміну від ізобарної), яка потенційно може забезпечувати більшу роботу ВГ., використовуючи для цього коливальні процеси у розділених випускних трубопроводах. Конструктивно ця система більш складна, але має і переваги, тому зараз, як рівноправні, для наддуву ДВЗ застосовуються обидві системи.

5 Агрегати наддуву сучасних ДВЗ (стан і перспективи).

Останнім часом турбонаддув все ширше застосовується і на транспортних ДВЗ з примусовим запалюванням. Це стало можливим, в першу чергу, завдяки широкому впровадженню впрыску бензину.

Виробництво турбокомпресорів виділилось в окрему галузь. В Україні виробництво ТКР для транспортних ДВЗ здійснювалось на Дергачівському турбокомпресорному заводі, який розробив і випускав гаму турбокомпресорів (ТКР - 7, ТКР - 11 та ін., рис. 24) для вітчизняних автотракторних дизелів. Виробляє ТКР і ХЗТРМ ім. Малишева для дизелів, розроблених на заводі.

В Україні всі можливості для забезпечення турбокомпресорами вітчизняних ДВЗ.

Кафедрою ДВЗ ХДАДТУ ведуться роботи і над іншим видом агрегату для наддуву - хвильовим обмінником тиску (ХОТ).

Основні переваги цієї системи, що носить також назву "Компрекс", пов'язані з принциповою можливістю забезпечити пристосованість двигуна до споживача, необхідну зміну крутного моменту, поліпшення роботи ДВЗ на несталіх і перехідних режимах, а також зменшення токсичності відпрацьованих газів. Ці переваги особливо важливі для транспортних ДВЗ.

Схема ХОТ наведена на рис. 25. Принцип його роботи ґрунтується на газодинамічному ефекті взаємодії відпрацьованих газів з повітрям у каналах 3, ротора 2, що обертається. Ротор розташований в корпусі 1, до якого через вікна 4 та 6 підводяться, і від якого через вікна 5 та 7 відводять-

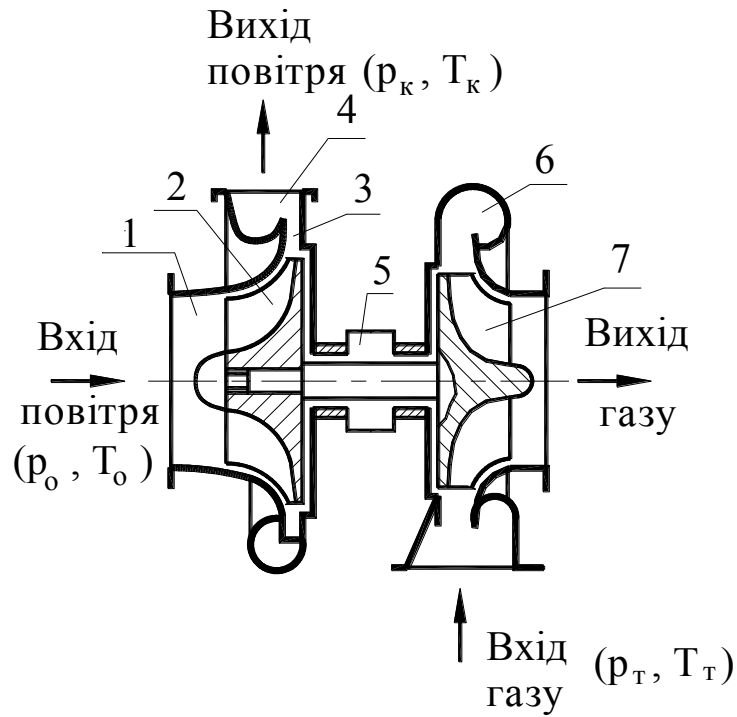
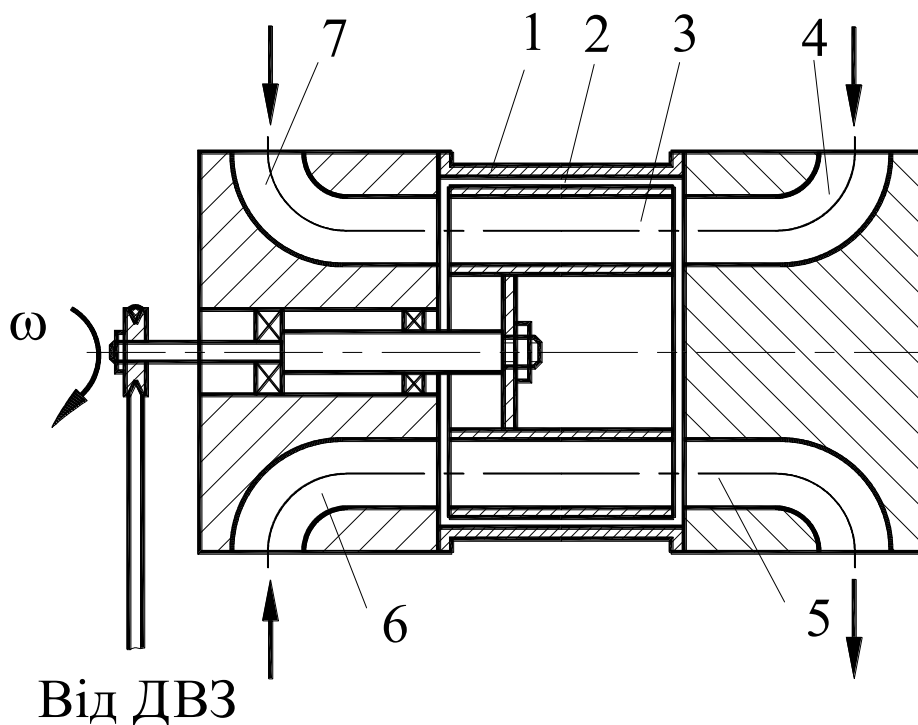


Рис. 24 - Схема турбокомпресора серії ТКР :

1 - впускний патрубок компресора; 2 - колесо компресора; 3 - дифузор;
 4 - збірник повітря; 5 - вал турбокомпресора; 6 - впускний патрубок турбіни;
 7 - колесо турбіни.



Від ДВЗ

Рис. 25 - Схема хвильового обмінника тиску :

1 - корпус; 2 - ротор; 3 - повздовжні канали; 4,5 - канали підводу та відводу відпрацьованих газів; 6,7 - канали підводу та відводу повітря для наддуву.

ться відповідно відпрацьовані газу та повітря. Ротор приводиться в дію від колінчатого вала, наприклад, пасовою передачею.

ХОТ ще не одержали широкого застосування, головним чином через складну технологію виготовлення ротора, (він вбирає в себе 70 - 80 каналів), більшу вартість та більші габаритні розміри порівняно з турбокомпресором.

Завдання та запитання для самоконтролю.

- 1 Який ДВЗ називається комбінованим ?
- 2 Назвіть переваги комбінованого ДВЗ.
- 3 З якою метою здійснюється наддув в ДВЗ ?
- 4 Поясніть суть наддуву в ДВЗ.
- 5 Назвіть і дайте характеристику основних етапів розвитку турбобудування .
- 6 Який внесок в розробку турбокомпресорів зробив А.Бюхі ?
- 7 Опишіть конструкцію сучасного ТКР.
- 8 На якому принципі базується робота ХОТ ?

Лекція 9 ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ДВЗ НЕТРАДИЦІЙНИХ СХЕМ

План

- 1 Роторно - поршневі ДВЗ.
- 2 Газотурбінні ДВЗ.
- 3 Двигуни з поршнями, що вільно рухаються : безшатунні, аксіальні ДВЗ, та інші.

В попередніх лекціях зазначалось, що ДВЗ, крім переваг, мають і істотні недоліки. Тому інженерна думка постійно працювала в напрямку удосконалення і розробки нових силових установок, які б були позбавлені в тій чи іншій мірі недоліків поршневих ДВЗ [8,9,13-15].

Аналізуючи такі альтернативні розробки, звернемо увагу на найбільш перспективні з них.

1 Роторно - поршневі ДВЗ.

Ідея роторно - поршневого двигуна, в якому ротор, виконуючи функції поршня, здійснює обертальний або обертально - поступовий рух відносно корпусу, відома давно [9,15]. Такий двигун було розроблено в першій половині 50-х років ХХ століття інженером Ф. Ванкелем (Германія), а практичні роботи по його доведенню виконані фірмою НСУ.

Будова та принцип роботи двигуна розглянемо на рис. 3. В нерухомому корпусі 3, що має профіль епітрохоїди, разом з ексцентриковим валом 1, обертається ротор 2. Він обертається також відносно своєї осі, внаслідок внутрішнього зчеплення з нерухомою шестернею. При цьому вершини ротора рухаються по траєкторії, близькій до епітрохоїди. При обертанні ротора між його поверхнями, корпусом та торцевими кришками утворюються три замкнуті порожнини, об'єм яких змінюється від мінімального до максимального і, навпаки. Така зміна і використовується для організації робочого процесу чотиритактного циклу в кожному з відсіків ротора. При цьому процеси циклу для кожного відсіка здійснюються в однаковому положенні по відношенню до корпусу. Це дозволяє, поставивши одну свічку 4 та зробивши в корпусі впускні та випускні вікна, отримати чотиротактний цикл для кожної з трьох сторін ротора. На рис. 3 показано проходження робочого циклу двигуна.

Детально робота роторно - поршневого двигуна описана в багатьох книгах, тому докладно розглянемо лише перспективи використання цих двигунів на транспорті. Роторно - поршневі двигуни, в порівнянні з поршневими двигунами традиційних схем мають ряд переваг : менша металомісткість; менша на 35 ... 40 % кількість деталей; краща зрівноваженість, що дає можливість розвивати більш високу частоту обертання; більш низький рівень шуму. Однак цим двигунам властиві і недоліки, що роблять сумнівною перспективу широкого використання їх на автомобільному транспорті. Основним з них є більша експлуатаційна витрата палива. Поряд з цим в зв'язку з більшим відношенням поверхні камери згоряння до об'єму в роторно - пор-

шневих двигунах має місце підвищений викид вуглеводів, в тому числі і канцерогенних. Тому ці двигуни, як правило, використовуються з термічним або каталітичним нейтралізаторами.

Поряд з цими недоліками в роторно - поршневих двигунах важко здійснити дизельний цикл внаслідок низького геометричного ступеня стиску.

Розроблені деякі заходи щодо зменшення згаданих недоліків роторно-поршневих двигунів. Для підвищення економічності використовується розшарування палива в суміші. При цьому застосовується впорскування бензину електромагнітними форсунками з електронним управлінням. Застосування розшарування заряду дозволяє на деяких режимах підвищити економічність на 8 ...13 %.

Однак в експлуатаційних умовах роторно - поршневі двигуни поступаються перед поршневими бензиновими двигунами, а тим більше перед дизелями. Тому спеціалісти вважають роторно - поршневі двигуни перспективними лише для мотоциклів, катерів, мотонарт.

2 Газотурбінні двигуни.

Ідея створення газової турбіни виникла значно раніше ідей створення поршневих двигунів внутрішнього згоряння і була висловлена ще в працях Леонардо да Вінчі в 1500 р., але перша в світі паро - газова турбіна була створена тільки в кінці XIX століття інженером російського флоту П. Кузьмінським. Після цього були окремі спроби створення і використання газотурбінних двигунів (ГТД), але особливо інтенсивно роботи щодо їх доведення почали проводитись в 50-х роках нинішнього століття, коли за порівняно малий проміжок часу ГТД замінили поршневі ДВЗ практично в усіх областях авіації.

Створення досконалих авіаційних ГТД сприяло розгортанню робіт з створення ГТД для автомобільного, залізничного та морського видів транспорту [6,9].

Схема транспортного ГТД показана на рис. 26. Повітря з навколишнього середовища по забірним трубам надходить на лопатки компресора 2, де стискується і через дифузор 3 подається в теплообмінник 4. Там повітря підігрівається теплом відпрацьованих газів і подається в камеру згоряння 7, де в нього впорскується за допомогою форсунок 5 і 6 паливо. Внаслідок згоряння температура і внутрішня енергія робочого тіла підвищуються. В такому стані робоче тіло через направляючий апарат 8 потрапляє на лопатки турбіни 9 і розширюється, виконуючи роботу. Відпрацьовані гази викидаються в оточуюче середовище. Від турбіни здійснюється привід компресора (вал 10) і через редуктор 12, коробку передач здійснюється привід рушія транспортної машини.

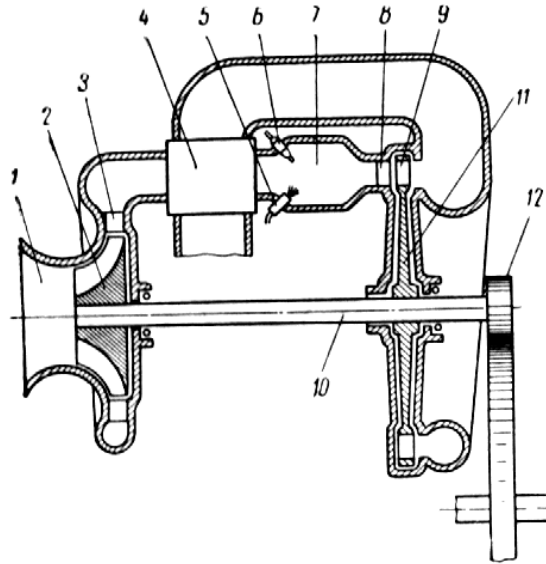


Рис. 26 - Схема транспортного ГТД.

Підвищений інтерес до ГТД пояснюється рядом переваг в порівнянні з поршнеvim ДВЗ. До таких переваг належать : менші питома маса, габаритні розміри, краща залежність крутного моменту від частоти обертання, більш легкий запуск в холодну пору, менші вимоги до використовуваних палив, можливість отримання в одному агрегаті великих потужностей в результаті роботи на високих частотах обертання.

Недоліками ГТД, що перешкоджають широкому їх використанню на автомобілях, є недостатня паливна економічність, особливо на часткових навантажувальних режимах, незадовільна прийомистість, висока вартість виготовлення. Основна причина погіршення економічності ГТД, в порівнянні з поршневими двигунами, нижча температура згорання. Підвищити температуру неможливо через недостатню термостійкість деталей камери згорання, направляючого апарату та турбінного колеса ГТД. Тому одним з основних напрямків поліпшення економічності сучасних ГТД є використання кераміки для покриття або виготовлення деталей камери згорання, направляючого апарату та колеса турбіни.

ГТД має значно меншу токсичність (в 3 - 8 разів) порівняно з ДВЗ.

З Двигуни з поршнями, що вільно рухаються : безшатунні, аксіальні ДВЗ та інші.

Ці двигуни можна віднести до "упертих" старих ідей, на яких багато років "ставився хрест", але до яких регулярно і обґрунтовано поверталась інженерна думка [9; 13; 14].

Розрахунки свідчать, що переваги їх перед поршневими ДВЗ при дотепному вирішенню виникаючих проблем можуть бути значними - від 30 до 50 %. Майже 100 років вчені, конструктори, винахідники працюють над цими двигунами, однак до наших днів основні проблеми залишаються невирішеними.

Двигуни з поршнями, що вільно рухаються. Їх особливість - наявність поршнів, які не зв'язані з кривошипно - шатунним механізмом і рухаються тільки за рахунок перемінних сил тиску газів в різних порожнинах, які утворені торцями поршнів і стінками циліндрів.

Як елемент силової установки, ці двигуни застосовуються для отримання енергії продуктів згоряння палива (ВРГГ), що передається силової газовій турбіні, з вала якої потужність потрапляє до споживача (рис. 27).

Основними перевагами ВРГГ є порівняно невелика маса установки, добра зрівноваженість, добра для транспортного засобу характеристика крутного моменту, що передається, можливість роботи на різних паливах.

До недоліків слід віднести підвищену витрату палива і значні габарити установки.

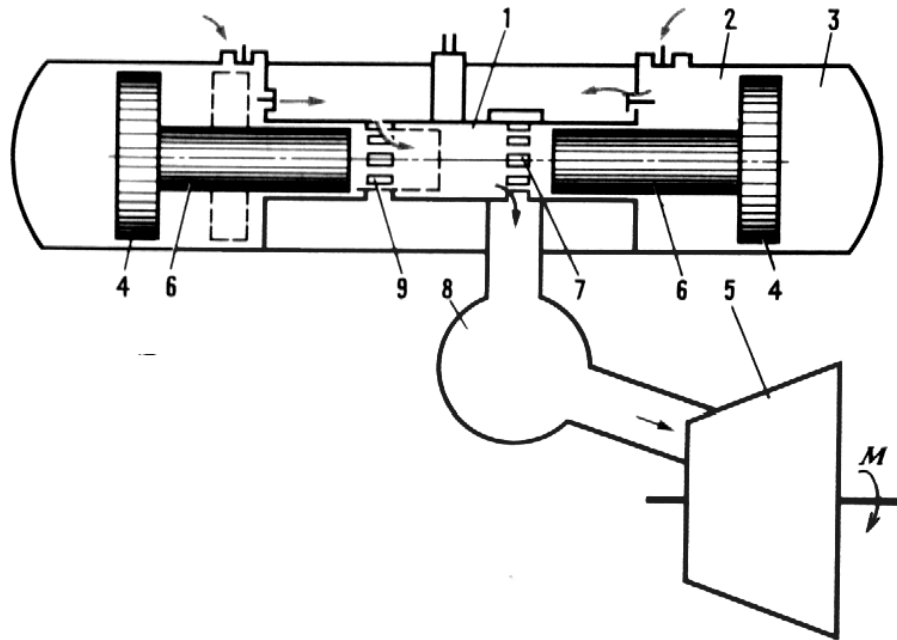


Рис. 27 - Двигун з поршнями, що вільно рухаються
1 - Робоча полость; 2 - компресорна полость; 3 - буферна полость;
4 - поршень компресора; 5 - турбіна; 6 - поршень двигуна; 7 - випускні вікна;
8 - ресивер перед турбіною; 9 - впускні вікна.

Безшатунні ДВЗ (двигуни Баландіна). Цей двигун має також довгу і не досить сприятливу історію. Відсутність шатунів відкриває можливість конструктивно просто організувати двосторонній робочий цикл в циліндрах і тим самим краще використати їх об'єм (рис. 28). Це дозволяє значно збільшити літрову та габаритну потужності, знизити питому масу ДВЗ. В цих двигунах майже відсутнє тертя поршня об циліндр, що збільшує механічний ККД установки, надійність роботи циліндро - поршневої групи, дозволяє значно збільшити частоту обертання колінчастого вала.

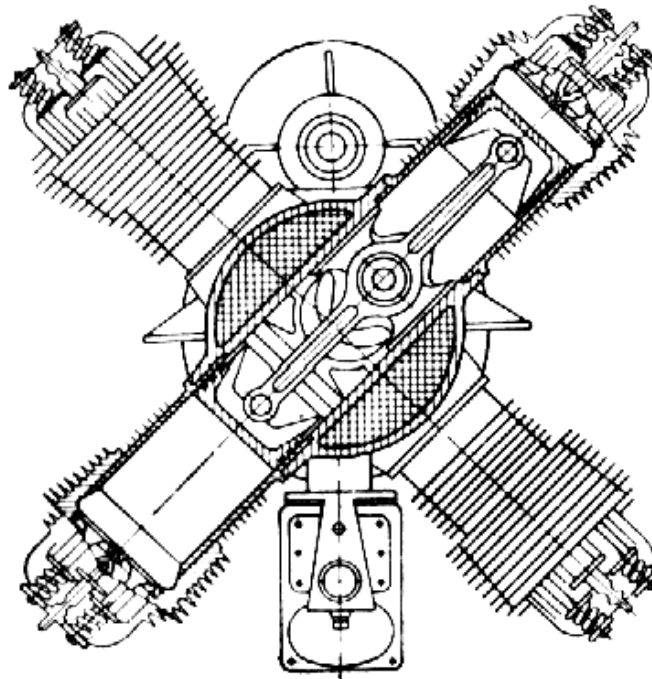


Рис. 28 - Безшатульний ДВЗ

До недоліків цих двигунів слід віднести складність компоновки (принцип секційності) більшу термічну напруженість, а відповідно меншу надійність роботи деталей, що утворюють камеру згоряння, більшу складність експлуатації.

Аксіальні ДВЗ. Основна ідея, закладена в ці ДВЗ - регулювання потужності зміною хода поршня, тобто зміною робочого об'єму. Це повинно привести до поліпшення індикаторного та механічного ККД.

Основні проблеми, пов'язані зі складністю конструктивних рішень.

Можна продовжувати перелік двигунів нетрадиційних схем Але основна мета цієї лекції звернути увагу студентів на перспективи можливого подальшого розвитку ДВЗ, невичерпаність проблем в цій галузі, значної можливості прикласти свій розум, знання та вміння.

Завдання та запитання для самоконтролю

- 1 Будова та принцип роботи роторно - поршневих ДВЗ ? Їх переваги та недоліки ?
- 2 Опишіть роботу газотурбінного ДВЗ.
- 3 Які перспективи застосування і де мають ДВЗ з поршнями, що вільно рухаються ?
- 4 Які ідеї закладені в безшатунні та аксіальні ДВЗ ?

Лекція 10 Заключна (СУЧАСНИЙ СТАН ДВИГУНОБУДУВАННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ЙОГО ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ)

План.

- 1 Сучасні тенденції в двигунобудуванні.
- 2 Автотракторні ДВЗ - стан і перспективи розвитку в Україні.

- 1 Сучасні тенденції двигунобудування.

В попередніх лекціях викладена історія розвитку теплових двигунів: від ідеї через їх створення - до наших днів. Більш як за півтора століття років ДВЗ зазнали істотних змін, які торкнулись всіх систем, механізмів, вузлів та деталей ДВЗ, показників їх роботи. Від перших громіздких, малопотужних та малоекономічних ДВЗ Ленуара до сучасних двигунів лежить шлях, повний напруженої творчої праці великих колективів вчених, винахідників, виробників (конструкторів, технологів, складальників, дослідників, випробувачів та ін.). Цей шлях розвитку та вдосконалення ДВЗ продовжується в наш час і буде продовжуватись в майбутньому.

Двигунобудування в більшості технічно розвинених країн світу перетворилось в провідну галузь господарства, яка вібрала в себе все передове та прогресивне, що є в науці та техніці. Так, конгрес США визначив двигунобудування як одну з 4-х галузей, що будуть пріоритетно фінансуватись в ХХІ столітті, і на базі якої будуть розвиватись інші. При цьому для більш повного задоволення конкретних вимог споживачів, кращого врахування специфічних особливостей двигунів різних типів і різного призначення двигунобудівні підприємства спеціалізуються на виготовленні та вдосконаленні окремих видів ДВЗ : транспортних (автомобільних, судових, тепловозних, авіаційних), стаціонарних, малопотужних для побутової техніки та ін. Така спеціалізація дозволяє врахувати цілий ряд специфічних вимог, які висуває та чи інша галузь господарства, те чи інше виробництво, або додаткові вимоги, які пов'язані з ресурсом роботи ДВЗ, використанням того чи іншого виду палива, умовами експлуатації та ін.

Сучасний ДВЗ будь-якого призначення являє собою складну, високонапружену машину, яка складається з великої кількості окремих пристроїв, вузлів, деталей, які самі собою складають окремі галузі промисловості. Тому при розробці сучасних ДВЗ проявляється тенденція поглиблення спеціалізації з окремих їх елементів : паливна апаратура, агрегати наддуву, поршні, поршневі кільця та ін., що дозволяє значно підвищити їх якість, а в результаті, якість всієї силової установки.

Накопичений досвід проектування та виробництва ДВЗ різних типів і різного призначення, застосування САПР при їх проектуванні та високий рівень досягнутих технологій при їх виробництві з урахуванням широкої уніфікації відпрацьованих вузлів та деталей, широке впровадження передових методів випробувань і перевірки їх експлуатаційних якостей дозволили не тільки розробити велику гаму високоякісних і економічних ДВЗ, а і значно скоротити цикл від початку їх розробки до постановки на виробництво.

Так європейський цикл оновлення автомобільних ДВЗ не перевищує п'яти років, а японський - трьох і, навіть, щодо окремих фірм - двох років.

Виробництво ДВЗ організовано в великій кількості країн на всіх континентах світу. Тому в даній лекції мова йде лише про загальні тенденції. Що ж до тенденцій у виробництві ДВЗ конкретного призначення, то їх доцільніше аналізувати на прикладі декількох або, навіть, однієї країни.

Для спеціальності 7.090210, ДВЗ нашого університету найбільший інтерес представляють автотракторні двигуни, які є основними в автомобільно - дорожньому комплексі. При цьому найбільш питома вага припадає на автомобільні двигуни. Тому саме стан і перспективи розвитку в Україні переважно останніх будуть проаналізовані нижче.

2 Автотракторні ДВЗ - стан і перспективи розвитку в Україні.

В світі працює значна кількість автотракторних ДВЗ, загальна потужність яких майже в 5 разів перевищує потужність всіх теплових, гідравлічних та атомних електростанцій разом взятих. І цей процес подальшого зростання кількості автотракторних ДВЗ триває.

Тільки автомобілів (а значить і автомобільних двигунів) експлуатується в світі більше 550 млн, і попит на них не зменшується.

Незважаючи на те, що Україна не належить до найбільш автомобілізованих країн світу (на 1000 мешканців в ній припадає лише 69 - 70 автомобілів - 56 місце серед 110 країн, які їх виробляють; для порівняння в Германії - 486, Франції - 442, Італії - 410 автомобілів на 1000 мешканців), більш ніж 60 % пасажирів і більше половини вантажів (в світі ці цифри відповідно 70 та 85 %) перевозяться автотранспортними засобами. При цьому потреба в них з кожним роком зростає.

Прогнози та досвід розвитку інших країн світу дозволяють передбачити в найближчі роки бурхливу автомобілізацію України і, відповідно, всього автомобільно - дорожнього комплексу.

Цим процесом треба керувати - не стримувати його, що неможливо, а обирати та ефективно реалізовувати державну стратегію розвитку автомобілебудування та транспортно - дорожнього комплексу України.

В державних програмах України Харків посідає головне місце як центр автотракторного двигунобудування.

Дійсно, такі підприємства, що виробляють ДВЗ як АТ "Серп і молот", АТ ХЗТД, завод ім. Малишева, АТ ХЗТСШ, АТ ХТЗ, АТ ЧЗПА та їх суміжники - здатні забезпечити автомобільний транспорт і сільськогосподарчу техніку України силовими агрегатами, перш за все, дизелями.

Це важливо не тільки виходячи з світового загального напрямку - дизелізації автомобільного транспорту, але і з практично вичерпаних можливостей подальшого збільшення випуску карбюраторних двигунів Мелітопольським заводом.

Харківські заводи здатні задовольнити вимоги в дизелях не тільки всіх класів вантажних, але і визначених до виробництва в Україні легкових авто-

мобілів, тракторів та комбайнів. Для цього необхідно здійснити ряд послідовних дій :

- 1) адаптувати дизелі, що випускаються серійно для тракторів, комбайнів, оборонної техніки, також до застосування на автомобілях;
- 2) поетапно модернізувати базові моделі дизелів з метою забезпечення перспективних вимог щодо потужності, економічності, екологічної чистоти і тим самим забезпечити їх конкурентноздатність;
- 3) розробити дизелі, які б ефективно працювали на альтернативних паливах;
- 4) розробити та впровадити в виробництво нові перспективні конструкції автотракторних двигунів та ін.

Україна має всі можливості будувати автотракторні дизелі, які не будуть поступатися щодо якості, надійності, потужності, економічності та екологічних показників кращим світовим зразкам.

Автомобільна промисловість України повинна стати однією з галузей, яка інтенсивно розвивається та дає прибуток господарству.

В Україні автомобільний транспорт потребує більш як 30 % усього рідкого палива. Витрати на перевезення автомобілями зростають із року в рік. Статистика свідчить, що на виготовлення ДВЗ витрачається лише до 10 % від загальних 100 % витрат на підтримку його у робочому стані за весь термін роботи (17 % - щоденний огляд, 30 % - технічне обслуговування, 43 % - ремонт). Ці цифри різні для дизелів та бензинових ДВЗ. Дизели-зація дає загальну економію тільки на паливі від 12 до 18 %.

Ці та деякі інші проблеми дозволяють визначити доцільні подальші напрямки розвитку автомобільного двигунобудування в Україні.

1) Перш за все, необхідно остаточно на державному рівні визначитись з раціональними структурами легкового, вантажного та автобусного парків в Україні. Без цього не можна кваліфіковано будувати технічну політику в двигунобудуванні.

2) По - друге, необхідно на державному рівні визначитись з перспективами постачання моторного палива в Україну за його видами (рідке, газове та ін.), бо свого вистачає на 10 - 15 %. В залежності від цього будувати перспективну програму двигунобудування.

3) По-третє, на державному рівні треба визначити (в залежності від фінансових можливостей) поетапне підвищення технічного рівня автомобілів, автобусів, орієнтуючись на їх конкурентноспроможність. В залежності від цього здійснювати політику двигунобудування.

4) По-четверте, необхідно здійснити корінну зміну у питаннях технічного обслуговування автомобілів та автобусів.

Ці та інші проблеми, а також їх рішення належить здійснювати Вам, випускникам нашого університету.

Хай щастить Вам у цій цікавій і корисній для країни роботі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Холодов А. М. История науки и техники автодорожного транспорта, Харьков, 1994. - 113 с.
- 2 Вернадский В. И. Избранные труды по истории науки. - М. : Наука, 1981. - 281 с.
- 3 Боголюбов А. М. История механики машин. - Киев : Наукова думка, 1964. - 460 с.
- 4 Кузнецов Б. В. Развитие тепловых двигателей. Госэнергоиздат, Москва - Ленинград, 1953. - 287 с.
- 5 Моравский А. В., Файн М. А. Огонь в упряжке или как изобретают тепловые двигатели. - М. : Знание, 1990. - 192 с.
- 6 Нигматулин И. Н., Шляхин П. Н., Цепев В. А. Тепловые двигатели. М. : Высшая школа, - 1974. - 375 с.
- 7 Конфедератов И. Я. Иван Иванович Ползунов. Госэнергоиздат, 1951. - 18 с.
- 8 Двигатели внутреннего сгорания : Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. Учебник /Под ред. А. С. Орлин, М. Г. Круглова. 3-е изд., М. : Машиностроение, 1980. - 288 с.
- 9 Тимченко І. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Е., Муждобаєв М. Р. Автомобільні двигуни /за ред. І. І. Тимченка. -Х. : Основа, 1995. - 464 с.
- 10 Кукис В. С. Двигатели Стирлинга. Учебное пособие. Челябинск, 1991. - 72 с.
- 11 Гумилевский Л. И. Рудольф Дизель. Его жизнь и деятельность. Библиографический очерк, М. : 1934. - 65 с.
- 12 Г. Тринклер Двигателестроение за столетия. Очерки современника 2-е изд., Л. : Речной транспорт, 1958. - 167 с.
- 13 Кошкин В. К, Левин Б. Р., Кутырин И. И. и др. Двигатели со свободно движущимися поршнями в теплосиловых установках. М. : Машгиз, 1957. - 227 с.
- 14 Баландин С. С. Бесплатунные поршневые двигатели внутреннего сгорания. М. : Машиностроение, 1968. - 151 с.
- 15 Бениович В. С., Аназиди Г. Д., Бойко А. М. Рото - поршневые двигатели. М. : Машиностроение, 1968. - 151 с.