

Савич Владлен, ст. гр. АД-51-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Савченко Ігор, ст. гр. АД-51-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Санін Віталій, ст. гр. АД-51-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

## **ГІБРИДНА СИЛОВА УСТАНОВКА НА БАЗІ ДВИГУНА СТІРЛІНГА**

### **Вступ**

Двигуни Стірлінга мають довгу історію. Машини кінця XVIII ст. можна вважати первістками теплових повітряних двигунів, але їх основний розвиток відноситься до початку XIX ст. Першим працюючим двигуном такого типу тепловий повітряний двигун відкритого циклу, побудований Георгом Кейлі в 1807 р. Приблизно в 1816 р. Робертом Стірлінгом, священником з Шотландії, був винайдений тепловий двигун. Пізніше шведський винахідник Джон Еріксон, який працював в Англії, сконструював регенеративний тепловий двигун відкритого циклу. Згодом протягом XIX ст. в Англії, Європі та США широко використовувалися тисячі подібних двигунів. Вони були надійними, досить ефективними та безпечними в порівнянні з сучасними ним паровими машинами.

Початок сучасного етапу досліджень по двигунах Стірлінга було покладено в лабораторіях фірми «Філіпс» в Ейндховені наприкінці 30-х років. Спочатку ці роботи були спрямовані на розробку двигунів для невеликих електрогенераторних установок, призначених для живлення радіоапаратури та іншого обладнання у віддалених районах.

### **Конструктивні особливості**

Машина, що працює за циклом Стірлінга, являє собою пристрій із замкнутим термодинамічним регенеративним циклом, в якому циклічні процеси стиснення та розширення здійснюються при різних рівнях температури, а управління потоком робочого тіла відбувається шляхом зміни його об'єму. На цьому принципі засноване перетворення теплоти в роботу і навпаки.

Існують машини, що працюють за відкритим регенеративним циклом, де управління потоком робочого тіла здійснюється за допомогою клапанів.

На основі конструкцій двигунів Стірлінга були розроблені та ефективні холодильні та кріогенні машини з широким діапазоном робочих температур. Вони вже знайшли широке застосування в багатьох галузях науки, техніки та на виробництві в установках для зрідження та реконденсації різних газів, для очищення інертних газів від домішок, у лабораторних експериментах, для зберігання речовин та матеріалів за низьких температур. Розроблені конструкції ряду машин характеризуються надійністю, термодинамічною ефективністю, відносно малими масою і габаритами, зручністю регулювання та можливістю автоматизації.

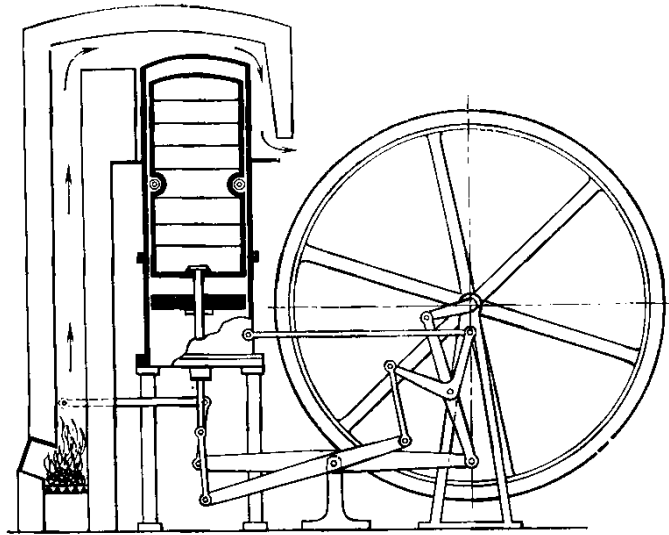


Рис. 1 – Схема першого двигуна Стірлінга

У двигунах можуть бути використані різні робочі тіла – повітря, водень, гелій,  $\text{CO}_2$ , хімічно активні гази та ін. Вони можуть працювати по замкнутому та відкритому термодинамічних циклах і відрізняються малим рівнем шуму, а при використанні вуглеводневих палив – низьким вмістом токсичних компонентів у вихлопних газах. Специфічною властивістю двигунів Стірлінга є їх здатність до тривалої автономної роботи в енергосистемах за відсутності атмосферного повітря – в умовах космосу або на підводних апаратах.

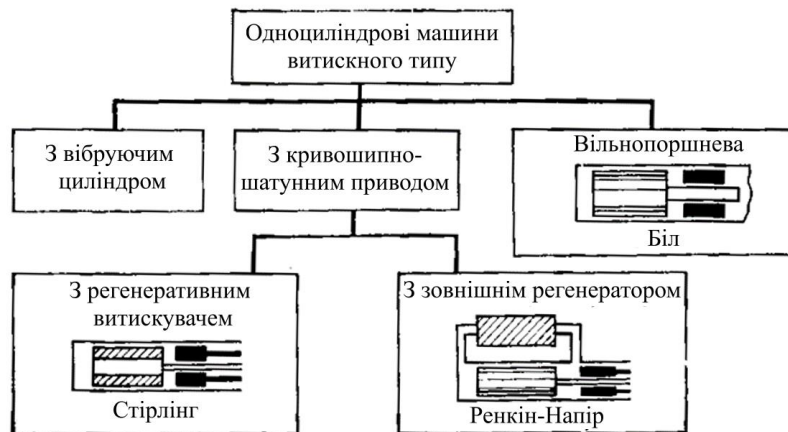


Рис. 2 – Варіанти компоновальних схем одноциліндрових двигунів витіснювального типу

Цільові випробування підтвердили позитивні якості двигунів, їх конкурентоспроможність у порівнянні з традиційними двигунами та іншими перетворювачами знергії. Було відзначено, що застосування двигунів Стірлінга доцільно в тих випадках, коли існуючі системи за окремими показниками не

цілком задовольняють вимогам, що пред'являються (наприклад, у шахтах, кар'єрах, у міському транспорті тощо) або взагалі не застосовні.

Здатність двигунів Стірлінга утилізувати непрямую теплоту промислових підприємств та інших об'єктів робить його застосування надзвичайно вигідним з погляду економії природного палива та розширення паливного балансу.

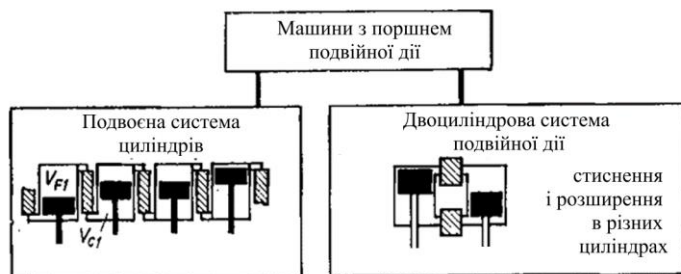


Рис. 3 – Варіанти схем компонування багатопоршневих машин подвійної дії

Прагнення реалізувати потенційні можливості цих двигунів викликало проведення інтенсивних науково-дослідних, конструкторських та експериментальних робіт у ряді закордонних фірм, найбільш відомі з яких Філіпс, Дженерал Моторс, Юнайтед Стірлінг, Форд, Вольво та ін. В результаті були створені і досліджені двигуни широкого діапазону потужностей для застосування в різних енергосистемах, на транспорті, для роботи в космосі, в підводних умовах, для військових та побутових цілей тощо.

Двигуни Стірлінга мають безліч різновидів. Діапазон їх потужності варіюється від кількох часток Вт до тисяч кВт в одному циліндрі. Вони можуть бути використані як приводні двигуни криогенних газових машин або теплових насосів. Як криогенні газові машини вони є кращими з точки зору габаритів і характеристик, ніж будь-які інші системи відкритого циклу.

При створенні гібридних силових установок (ГСУ), що мають у складі двигун Стірлінга та можуть працювати як стаціонарні чи транспортні силові установки, виникають труднощі з реалізацією надійної роботи при збереженні простоти конструкції і надійності. Нижче наведені такі моменти.

### Проблеми, що виникають при створенні ГСУ

Високотемпературні теплообмінники є, можливо, основною проблемою для двигунів. Окремі злементи такого теплообмінника повинні постійно працювати за максимальної температури циклу і для забезпечення високого значення ефективного ККД повинні використовуватися високотемпературні сплави або керамічні матеріали.

Для досягнення високої питомої потужності двигун повинен працювати за високого тиску робочого тіла, використовуючи для цього водень або гелій замість повітря. Однак при високих температурах і тисках більшість конструкційних матеріалів проникна для цих газів. Таким чином, у високотемпературних теплообмінниках є окремі вузли, що постійно працюють в умовах температур, близьких до граничних по конструкційній міцності

матеріалів, а також при високому тиску і пульсуючому потоці водню або гелію.

Іншою серйозною проблемою при створенні високопродуктивних машин Стірлінга є низькотемпературні теплообмінники для охолодження.

З усієї теплоти, що підводиться до двигуна при високій температурі, тільки частина перетворюється в роботу. Деяка частина неминуче втрачається з вихлопними газами, а інша частина відводиться в систему охолодження. На відміну від традиційних ДВЗ, де підвищення температури охолоджуючої рідини покращує ефективність двигуна, у двигуні Стірлінга будь-яке збільшення мінімальної температури робочого тіла веде до зниження питомої потужності та ефективного ККД. Таким чином, у порівнянні з дизелем, система охолодження двигуна Стірлінга повинна не тільки мати більш високий показник теплоти, що відводиться на одиницю потужності, але і повинна робити це більш ефективно з тим, щоб підтримувати температуру охолоджуючої рідини по-можливості близько до температури навколишнього середовища.

Важливою проблемою для двигунів Стірлінга є ущільнення у випадку, коли робоче тіло є відмінним від повітря. Витіки, навіть незначні, неприпустимі при тривалій роботі двигуна, виключаючи той випадок, коли у складі установки є ємність з робочим тілом під високим тиском.

Регулювання і контроль за роботою двигуна не є серйозною проблемою. У більшості випадків краще (і легше) регулювати електричні параметри системи, ніж параметри самого двигуна.

### **Сфери застосування**

Існує багато областей застосування таких силових установок. На даний час найбільш актуальним вважається застосування ГСУ у складі двигуна Стірлінга і електрогенераторів малої потужності від 5 Вт до 5 кВт, здатних працювати автономно протягом тривалого часу. Але особливий інтерес становить діапазон потужностей від 200 до 500 Вт. Такі електрогенератори потрібні для багатьох цілей, але в основному для постачання електроенергії як системи подвійного призначення, наприклад, для станцій посилення зв'язку. Вони можуть бути використані під водою як для цивільних, так і для військових цілей, в горах, малодоступних районах і в аварійних ситуаціях. У більшості сфер застосування головним критерієм є надійність, яку такі ГСУ можуть забезпечити.

Універсальні енергетичні системи являють собою механічні агрегати, які при достатній кількості палива, повітря і води, можуть забезпечити всі енергетичні потреби, включаючи кондиціонування повітря, вироблення електроенергії, отримання гарячої та холодної води. Для таких установок, що застосовуються у службових приміщеннях, мотелях, готелях, житлових будинках, складах та великих торгових центрах, зазвичай потрібен первинний двигун потужністю від 30 до 400 кВт.

Низка універсальних енергетичних систем вже діє. У більшості з них використовується або газоподібне, або рідке паливо. Механічна енергія витрачається для приводу електрогенератора та компресора парокомпресійного

рефрижератора. Електроенергія для цілей освітлення може бути отримана з високою частотою електричного струму, а для силового електрообладнання, роботи машин, кухонного обладнання та холодильного обладнання – з високою напругою. Теплота, що відводиться з вихлопними газами, може бути використана для опалення будівель, отримання пари низького тиску для побутових потреб і виробництва та гарячого водопостачання.

### Висновки

Універсальні енергетичні системи прагнуть створювати з окремих, вже готових, але не дуже добре підібраних для цих цілей агрегатів. Тому вартість систем висока, а результати часто незадовільні.

В даний час в універсальних енергетичних системах використовують газотурбінні або поршневі двигуни внутрішнього згорання. Газові турбіни відрізняються гарною надійністю, але мають дуже низьку ефективність, особливо при частковому навантаженні. Поршневі газові двигуни мають кращі характеристики, але недостатньо надійні з високими експлуатаційними витратами. З огляду на це може виявитися, що безшумні, ефективні двигуни Стірлінга, здатні працювати на будь-яких видах палива, знайдуть безпосереднє застосування в універсальних енергетичних системах. ГСУ може складатися з багатоциліндрової машини, що працює в залежності від необхідних умов в режимі двигуна або холодильної машини. Також може бути передбачено і єдиний електромеханічний блок, що дозволяє в залежності від вимог виконувати роль електрогенератора з підведенням тепла або холодильної машини з електроприводом.

Однак такі системи маловиправдані при наявності дешевих та надійних джерел електроенергії, але вони, можуть бути використані у віддалених районах та як системи забезпечення військових у польових умовах.

### Література

2. Двигун Стірлінга Електронний ресурс. Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D1%83%D0%BD\\_%D0%A1%D1%82%D1%96%D1%80%D0%BB%D1%96%D0%BD%D0%B3%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D1%83%D0%BD_%D0%A1%D1%82%D1%96%D1%80%D0%BB%D1%96%D0%BD%D0%B3%D0%B0) (дата останнього звернення 30.03.2026).
2. G.Walker (1973). Stirling-cycle machines. University of Calgary, Canada, Clarendon Press.Oxford.
3. Головка, В. М. Методика визначення потужності додаткового джерела енергії для гібридної сонячної установки на базі двигуна Стірлінга / В. М. Головка, Д. С. Делєв // Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: матеріали XXIII міжнародної науково-практичної конференції, [Київ], 19-20 травня 2022 р. / Інститут відновлюваної енергетики НАНУ. — Київ, 2022. — С. 152-154.
4. Nikitin, Ye. (2025). Combined energy production systems with Stirling engines: Analysis of global experience and local prospects. Technologies and Engineering, 26(3), 66-76. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2025.3.5>

5. Двигун Стирлінга Електронний ресурс. Режим доступу: [https://pidru4niki.com/72986/ekologiya/dvigun\\_stirlinga](https://pidru4niki.com/72986/ekologiya/dvigun_stirlinga) (дата останнього звернення 30.03.2026).

*Науковий консультант Нікітченко Ігор Миколайович, к.т.н., зав. каф. ДВЗ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.*

Костенко Юрій Олексійович, студент, ТП-51-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, [kuakost@gmail.com](mailto:kuakost@gmail.com)  
Соловійова Наталя Іванівна, студент, ТП-41-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, [ak82andrey@gmail.com](mailto:ak82andrey@gmail.com)

## **ФОРМУВАННЯ ПЕДАГОГІЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ У МЕНЕДЖЕРА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ**

В умовах посилення вимог до якості продукції та послуг, гармонізації стандартів з міжнародними нормами та постійного оновлення нормативної бази особливої значущості набуває не лише впровадження систем управління якістю (СУЯ), а й якісна підготовка фахівців, які здатні ефективно їх реалізовувати. Ключовою особою у цьому процесі виступає менеджер з якості. Його професійна компетентність багато в чому визначається рівнем його знань та здатністю передавати ці знання іншим учасникам виробничих та управлінських процесів.

Сучасний менеджер з якості – це не лише «знавець» (фахівець) нормативних вимог, методів контролю та оцінювання відповідності. В організації він є «внутрішнім провідником культури якості». Він виконує важливу навчальну та консультативну функцію. Саме через навчання персоналу, формування розуміння процесного підходу, ризик-орієнтованого мислення та принципів постійного покращення менеджер з якості забезпечує реальне, а не формальне функціонування СУЯ. Формування його компетентності є безперервним освітнім процесом. Цей процес складається, зокрема, і з розвитку педагогічних умінь. Здатність організовувати навчання співробітників, розробляти методичні матеріали, проводити внутрішні тренінги та аудити стає невід'ємною частиною професійного профілю менеджера з якості.

Таким чином, проблема формування компетентності менеджера з якості тісно пов'язана з питаннями його навчання та педагогічної діяльності, що робить цей напрям актуальним як у науковому, так і в прикладному аспектах.

Існуючі літературні джерела утворюють логічно пов'язаний масив досліджень, у якому компетентність в управлінні якістю розглядається з трьох різних ракурсів: концептуального, практико-діяльнісного та освітнього. Такий поділ дозволяє побачити еволюцію наукового розуміння: від визначення «що таке компетентність» через призму «як вона проявляється в роботі» до «як готують фахівців». Водночас, саме між цими групами і виникає наукова